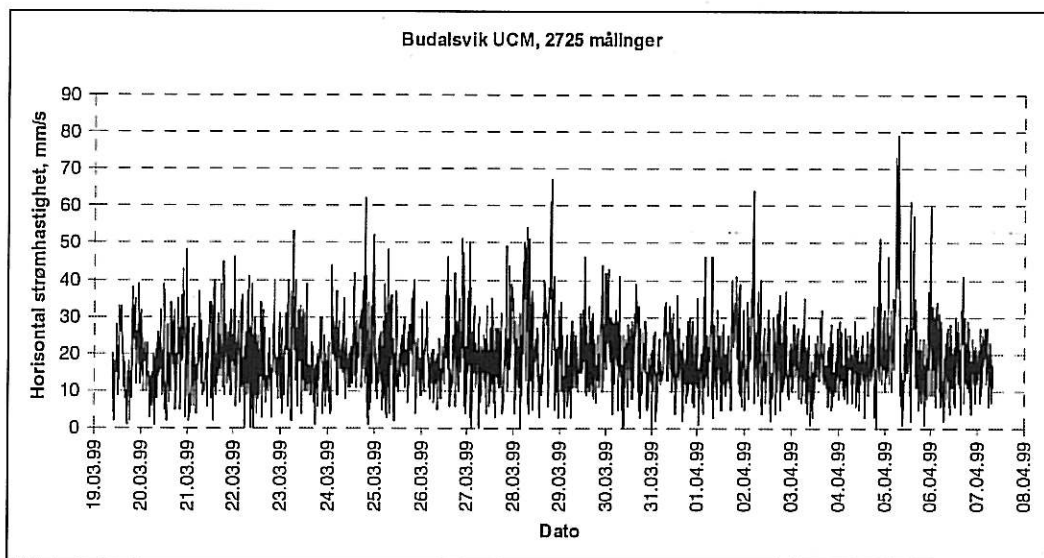


RAPPORT LNR 4042-99

Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet

Undersøkelse av strømforhold
i Budalsvika, Vollesfjorden og
Grunnevika, Flekkefjord
kommune



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S


9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet. Undersøkelse av strømforhold i Budalsvika, Vollesfjord og Grunnevik, Flekkefjord kommune	Løpenr. (for bestilling) 4042-99	Dato 14.5 1999
	Prosjektnr. Underrn. 99038	Sider Pris 34
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Viking Cable A.S., Postboks 5192 Majorstua, 0302 Oslo.	Oppdragsreferanse CV/99/10018
--	----------------------------------

Sammendrag Målinger av vannstrøm i Budalsvika, Vollesfjord og Grunnevik i tidsrommet 17.3-22.4 1999 viste at Budalsvika hadde de klart høyeste strømhastighetene og den beste vannfornyelsen. Det er også overveiende sannsynlig at strømhastigheten i Budalsvika er høyere enn i bassengvannet innenfor terskelen til Breivika. Beregninger viser at nedstrøms anlegget vil klorkonsentrasjonen innen en avstand på 35-40 m avta til grenseverdien på 0.01 mg/l. Dette gjelder for sentrum av skyen med klor, dvs. for en vannmasse med tykkelse omkring 2 m og i det dypet der elektrodeanlegget blir plassert.
--

Fire norske emneord 1. Kabelanlegg 2. Elektroder 3. Vannutskifting 4. Klor	Fire engelske emneord 1. Cables 2. Electrodes 3. Water exchange 4. Chlorine
--	---


Prosjektleder


Forsknings sjef

Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet

**Undersøkelse av strømforhold i Budalsvika,
Vollesfjord og Grunnevika, Flekkefjord kommune**

Forord

Gjennom kabelprosjektene Viking Cable og EuroKabel planlegger STATNETT å etablere høyspent likestrøm kabelforbindelser fra Norge til Tyskland. I den anledning har Norges Vassdrags- og Energidirektorat gitt STATNETT konsesjon for et elektrodeanlegg i Breivika i Hidrasundet, Flekkefjord kommune, men saken er anket til Olje- og Energidepartementet som har bedt om en vurdering av alternative lokaliteter i området.

Viking Cable har bedt NIVA gjennomføre en undersøkelse av vannstrømforholdene i Vollesfjord og Grunnevika i Flekkefjord, basert på det foreliggende materiale om topografi og vannutskiftning, kombinert med bruk av teoretiske modeller og data fra tidligere rapporter fra NIVA. Blant annet fordi man nå planlegger å bruke titan som elektrodemateriale, vil utskillelsen av klor være vesentlig lavere enn tidligere beregnet for grafitelektroder. For de nye lokalitetene er det derfor også gjort beregninger av klorkonsentrasjoner omkring anlegget i de begrensede driftsperiodene som man forventer.

Ved NIVA har Arne Veidel, Tom Chr. Mortensen, Morten Willbergh, Erik Bjerknæs, Frank Kjellberg, Terje Hopen og Jarle Molvær arbeidet på prosjektet, med sistnevnte som prosjektleder. Fisker Arthur Dypvik, Andabeløy, har på en utmerket måte ført båten og bidratt med praktisk hjelp under feltarbeidet. Kirsten Faugstad har vært saksbehandler og kontaktperson hos Viking Cable.

Oslo, 14.5 1999

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	6
1.1 Bakgrunn og problemstilling	6
1.2 Formål	6
2. Metodikk og data	8
2.1 Metodikk	8
2.1.1 Strømmålinger	8
2.1.2 Beregning av klorkonsentrasjoner	13
2.2 Data	13
2.2.1 Elektrodeanlegget	13
2.2.2 Vind	14
3. Resultater og vurderinger	18
3.1 Strømforhold	18
3.1.1 Budalsvika	18
3.1.2 Vollesfjord	23
3.1.3 Grunnevika	27
3.2 Beregnet klorkonsentrasjon ved anlegget	31
3.3 Sammenligninger med Breivika	32
4. Oppsummering	33
5. Litteratur	33
Vedlegg A. Strømmålinger i Budalsvika	34

Sammendrag

Som en del av grunnlaget for Statnetts vurdering av lokalisering av et elektrodeanlegg for kabelforbindelser mellom Norge og Tyskland, er det utført undersøkelser av strømforholdene i Budalsvika, Vollesfjord og Grunnevik, Flekkefjord kommune. Undersøkelsene ble gjennomført i tidsrommet 19.3-22.4 1999 med sikte på en innbyrdes sammenligning mellom de tre lokalitetene samt en sammenligning med tidligere målinger i Breivika ved Hidrasundet. Vurderingene gjelder for et titananlegg med 20 elektrode-elementer som står vertikalt på bunnen.

Målingene av vannstrøm i Budalsvika, Vollesfjorden og Grunnevik i tidsrommet 17.3-22.4 1999 viste følgende hovedtrekk:

- 1. I alle tre vannforekomstene var det relativt svak vannstrøm, noe som ikke er overraskende tatt i betraktning at lokalitetene ligger relativt skjermet inne i et fjordområde og at tidevannsvariasjonene er svært små på denne delen av kysten. For Budalsvika var imidlertid strømshastigheten betydelig større enn for de to andre lokalitetene, og må fra denne synsvinkelen betegnes som den mest egnede vannforekomsten.*
- 2. I måleperioden var det relativt lite vind. Som gjennomsnitt for mars 1999 og for den delen av april da målingene foregikk var vindhastigheten meget nær månedsgjennomsnittet for 30-årsperioden 1961-90. Det var altså relativt "normale" vindforhold.*
- 3. Sammenlignet med Breivika var strømshastigheten i Budalsvika noe større og vannutskiftningen bedre. Om denne forskjellen gjelder generelt eller om den delvis skyldes at man sammenligner målinger som er gjort til ulike tidsrom og med ulike typer instrumenter, kan ikke avgjøres helt sikkert. Man sammenligner imidlertid målinger som er utført til samme tid på året.*
- 4. Den viktigste årsaken til ulik strømshastighet er sannsynligvis forskjellig topografi. Breivika er vesentlig mer innelukket enn Budalsvika. Tar man topografien i betraktning bør man kunne være rimelig sikker på at under terskeldypet (ca. 30 m) i Breivika er vannstrømmen svakere enn i Budalsvika.*

De gangene elektrodeanlegget er i drift vil det bli produsert klor. Med de samme forutsetninger mht. produksjon og nedbrytning av klor som er benyttet i tidligere vurderinger, finner man for et titananlegg at

- 5. Nedstrøms anlegget vil klorkonsentrasjonen innen en avstand på 35-40 m avta til grenseverdien på 0.01 mg/l . Dette gjelder for sentrum av skyen med klor, dvs. for en vannmasse med tykkelse omkring 2 m og i det dypet der elektrodeanlegget blir plassert.*
- 6. I hovedsak gjelder disse beregningene også for Breivika.*

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og problem stilling

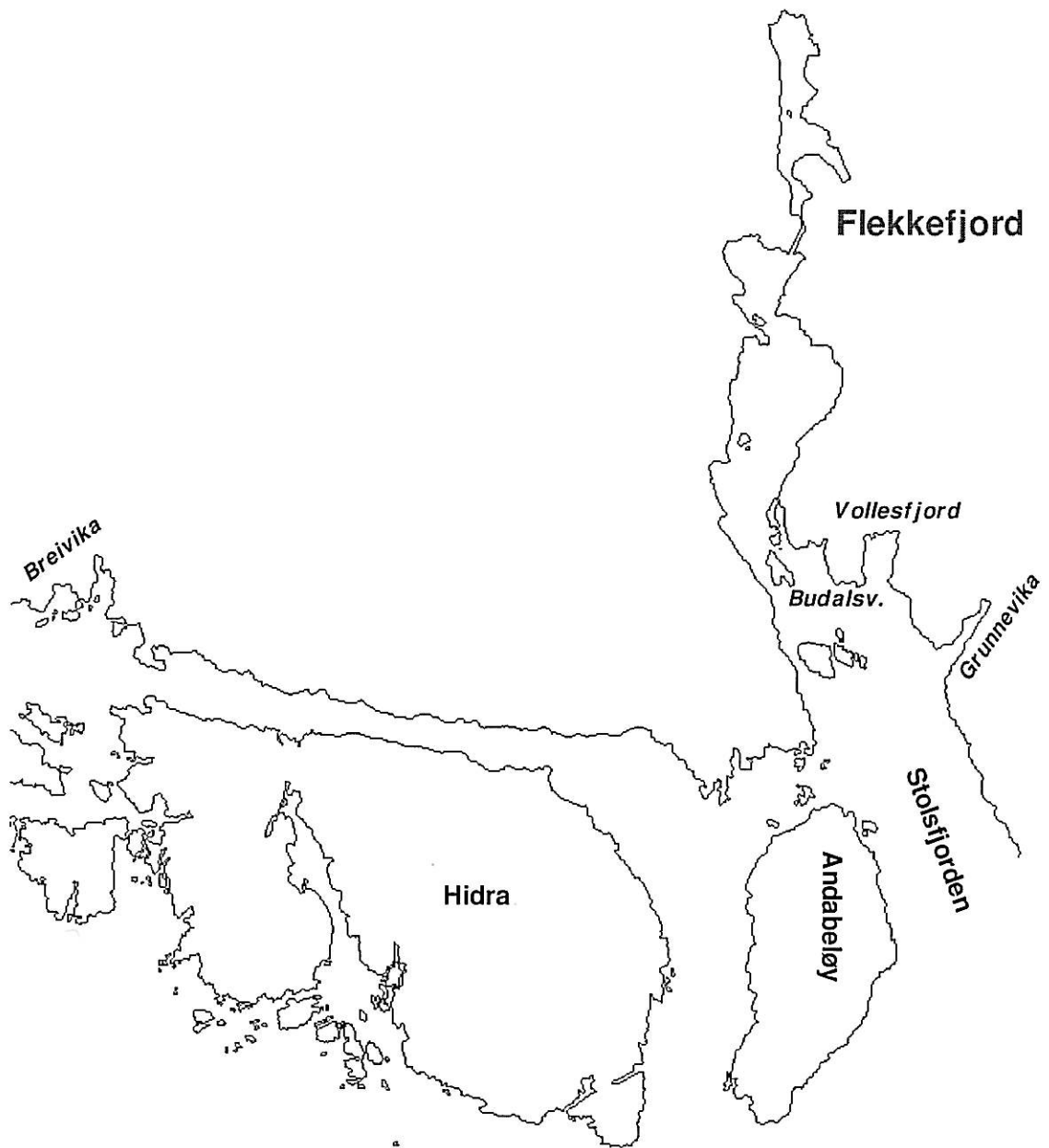
Kabelprosjektene Viking Cable og EuroKabel planlegger å etablere to nye kabelforbindelser fra Norge til Tyskland. Disse vil bli drevet som en bipolar, dvs at det normalt ikke vil gå returstrøm i elektrodeanlegget. Elektrodeanlegget på norsk side er planlagt i Breivika ved Hidrasundet. Konesjonen for denne lokaliseringen er påklaget til Olje- og Energidepartementet (OED). OED har bedt konsesjonær Statnett om en vurdering av alternative lokaliseringer ved Stolsfjorden sør for Flekkefjord.

Vinteren 1999 utførte NIVA en teoretisk vurdering av vannutskiftningen i Vollesfjord og Grunnevik i Stolsfjordens indre del (Figur 1), og beregnet også forventet klorkonsentrasjon i sjøvannet ved et elektrodeanlegg (Molvær, 1999). Beregningene bygget på nye forutsetninger om elektrodemateriale og plassering i vannsøylen i forhold til tidligere beregninger for et anlegg ved Breivika (Golmen og Nygaard, 1996). Vurderingene av Vollesfjord og Grunnevik viste at områdene kunne være aktuelle for lokalisering av et elektrodeanlegg, men mye avhenger av de rådende strømforholdene. Viking Cable har derfor bedt NIVA utføre målinger av strømhastighet og strømretning i disse to områdene, samt i Budalsvika.

1.2 Formål

Formålet med denne utredningen er å

- Gjennomføre målinger for å beskrive strømhastigheter i Budalsvika, Vollesfjord og Grunnevik, Flekkefjord kommune
- Sammenligne resultatene for de tre lokalitetene
- Beregne forventede klorkonsentrasjoner omkring et elektrodeanlegg
- Sammenligne resultatene med tidligere målinger av vannstrøm og beregninger av klorkonsentrasjon for Breivika i Hidrasundet.



Figur 1. Kart over Flekkefjordområdet, med Breivika, Budalsvika, Vollesfjord og Grunnevik.

2. Metodikk og data

2.1 Metodikk

2.1.1 Strømmålinger

Målingene ble utført med

- Simtronix UCM-40 akustiske vannstrømmålere (Figur 2)
- Aanderaa Instruments RCM-7 vannstrømmålere (Figur 2)

som for begge instrumenttypers vedkommende monteres i en rigg med undervannsbøye (Figur 3).

UCM-40 måler tiden for en ultrasonisk lydbølge som beveger seg mellom to sensorer. Den måler både horisontal og vertikal strømhastighet samt temperatur og saltholdighet. Strømmens retning beregnes ved dekomponering av hastigheten av x-y komponentene. Måleren har internt minne til å logge data. Den har meget lav deteksjonsgrense og er derfor spesielt egnet for registrering av lave hastigheter.

Aanderaa Instruments RCM-7 registrerer strømfarten (strømstyrken) mekanisk ved hjelp av en rotor på toppen av instrumentet. Rotoromdreiningene registreres av loggeenheten i instrumentet ved hjelp av en magnet montert på rotoren. Strømretningen registreres ved hjelp av roret og et innebygget kompass som avleses elektronisk. Målerne registrerer også sjøvannets temperatur og salinitet, og har internt minne til å logge data. Farten vektormidles over måleintervallet ved å registrere fart og strømretning flere ganger i et måleintervall. Temperaturen og saliniteten som også måles, er øyeblikksverdier målt på slutten av måleintervallet. Måleintervallet ble satt til 10 minutt på alle instrumentene.

Tabell 1 sammenfatter de viktigste spesifikasjonene.

Tabell 1. Målenøyaktighet for vannstrømmålerne

Instrument	Vannstrøm	Temperatur	Konduktivitet	Retning
RCM-7	±1 cm/s	±0.05°C	±0.1 mmho/cm	7.5°
UCM-40	±1 mm/s	±0.1 °C	±0.06 mmho/cm	±1°

Man ser at de akustiske målerne er vesentlig mer følsomme ved lave strømhastigheter enn den mekaniske RCM-7. Dette gjelder også for retnings-bestemmelse.

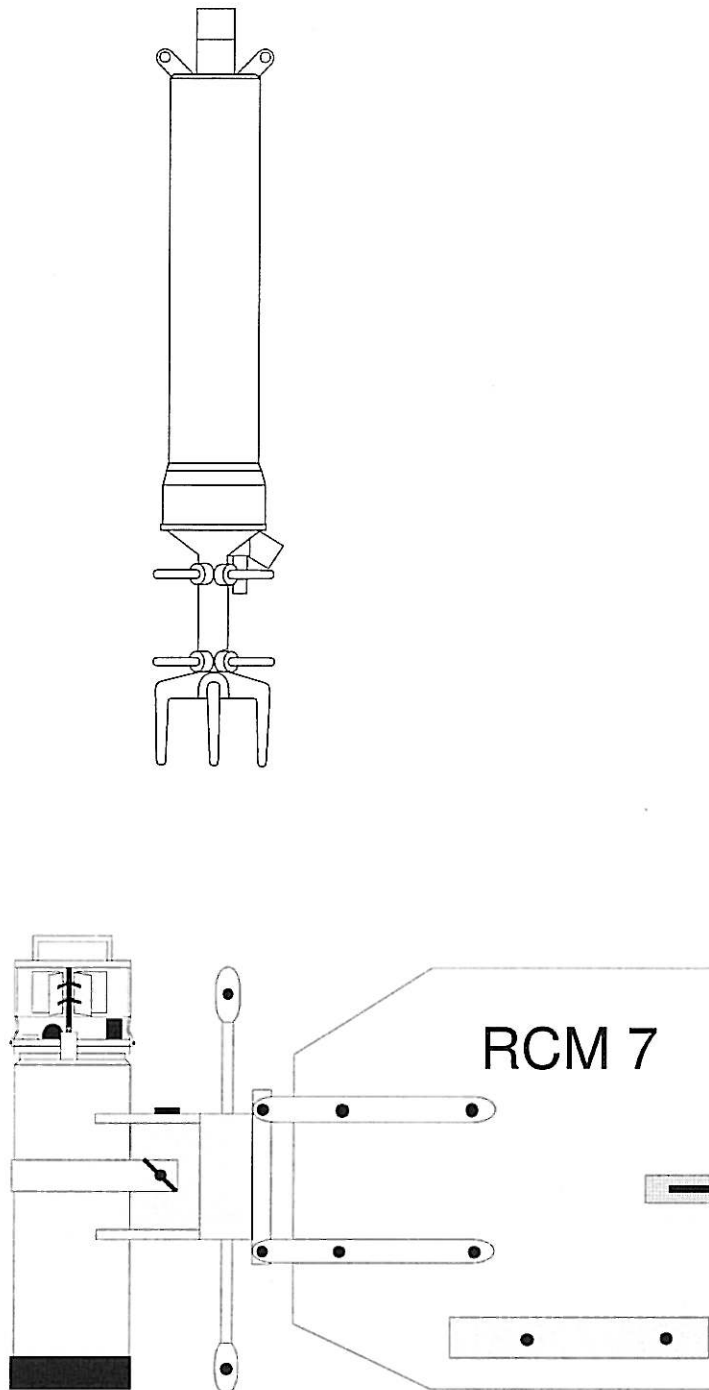
Strømmålingene begynte 2.3 1999. I Vollesfjord (bunn dyp 50 m) og Grunnevik (30 m dyp) ble en UCM-måler plassert 4 m over bunnen, mens en RCM-7 måler ble plassert 4 m over bunnen i Budalsvika (40 m dyp), se Figur 4 og Figur 3.

Den 17.3. 1999 ble strømmålerne kontrollert og dataene avlest. Det viste seg at de akustiske strømmålerne ikke inneholdt data, og etter kontakter med produsenten av instrumentene ble det klart at de ikke hadde startet pga. en til da ukjent svakhet i setup-programmet for målerne. Den 19.3.99 ble de satt ut igjen, og etter avtale med Viking Cable ble de akustisk strømmålerne denne gangen plassert i Budalsvika og Vollesfjord. På disse to lokalitetene ble også en RCM-7 som "backup" plassert 1 m over den akustiske måleren. I Grunnevik satte man ut en RCM-7.

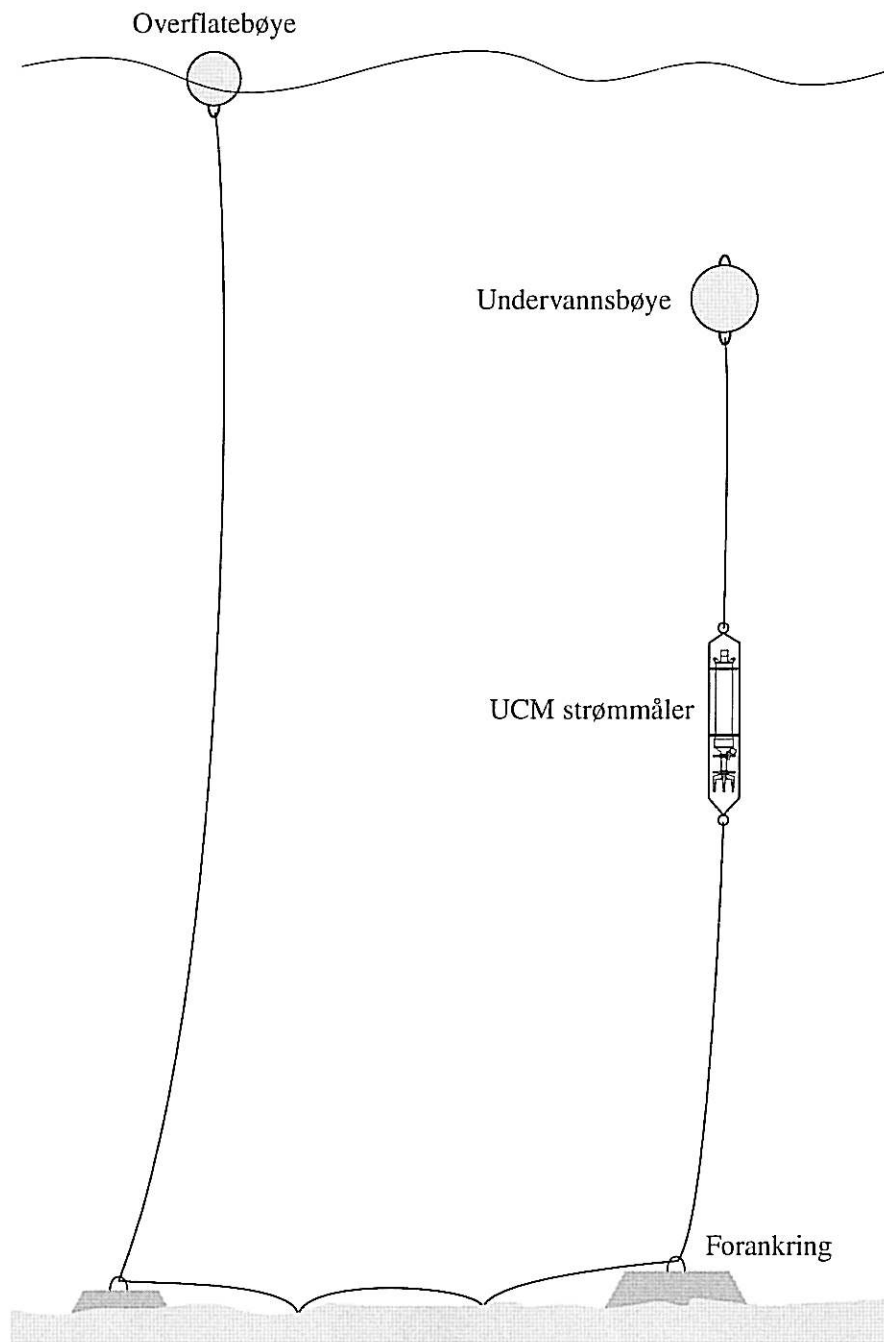
Den 7.4 1999 ble strømmålerne på nytt kontrollert og dataene avlest. Målingene ble avsluttet den 22.4 1999. Det viste seg at den akustiske strømmåleren i Vollesfjord av ukjent grunn¹ ikke hadde registrert den horisontale strømkomponenten, og for den siste 14-dagers perioden anvendes derfor resultatene fra den mekaniske måleren av type RCM-7 som var plassert 5 m over bunnen.

I det etterfølgende gjennomgås resultatene fra tidsrommet 17.3-22.4 1999. For perioder med data fra akustiske målere blir ikke dataene fra "de mekaniske reservemålerne" omtalt.

¹ I ettertid er feilen funnet. Den skyldes en overledning fra batteripakken til metallhuset, som igjen har kontakt med jord i måleren.



Figur 2. Skisse av strømmålere.
Øverst: UCM-40 akustisk strømmåler
Nederst: Aanderaa Instruments RCM-7 strømmåler.



Figur 3. Skisse av rigg for oppankring av strømmålere.

2.1.2 Beregning av klorkonsentrasjoner

Modellen PLUMES (Baumgartner et al., 1994) som det amerikanske miljøvernmyndigheten (EPA) anbefaler er brukt for å beregne klorkonsentrasjonen nedstrøms elektrodeanlegget ved varierende strømhastigheter. Programmet er i utgangspunktet laget for å beregne konsentrasjoner basert på konsentrasjoner i avløpsvann og sjøvann, samt data om sjøvannets vertikale sjiktning, strømhastighet og turbulente blanding. Av mangel på konkrete data om størrelsen av den turbulente blandingen (diffusjonen) i området anvender vi $0.0003 \text{ cm}^2/\text{s}$, som er noe mindre enn EPAs anbefalte koeffisient for kystfarvann ($0.000453 \text{ cm}^2/\text{s}$).

PLUMES beregner konsentrasjonen nedstrøms en eller mange røråpninger (diffusor). Vi har derfor regnet om det rektangulære gjennomstrømningsarealet på 15 m^2 (se kap. 2.2.1) til et sirkulært areal med diameter 4.4 m. Tyve slike elementer med innbyrdes avstand på ca. 5 m kan dermed simuleres som en diffusor med 20 hull, der avstanden mellom hullenes sentrum er ca. 10 m.

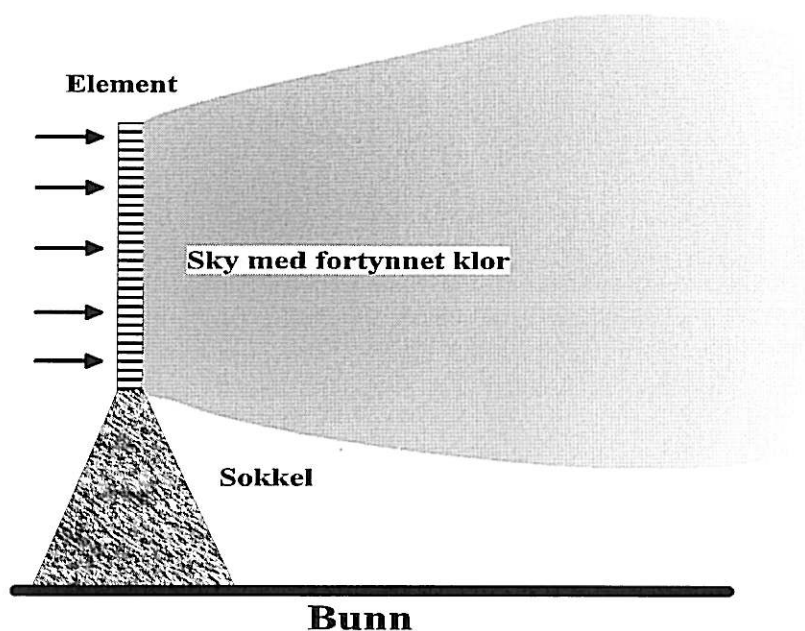
For å beskrive den vertikale sjiktningen til modellen har vi brukt målinger fra 0-50 m dyp fra 16.7 1986 for stasjonen utenfor Grunnevik (se Molvær, 1999). For beregningene er forutsatt at selve elektrodeelementene står i 30 m dyp.

2.2 Data

2.2.1 Elektrodeanlegget

Etter opplysninger fra Viking Cable kan anlegget beskrives som følger: Elektrodeareal mot sjøvann planlegges til 400 m^2 , fordelt på ca. 20 elektrodeenheter. Disse vil bli passert på en måte som sikrer mest mulig jevn fordeling av elektrisk strøm mellom enhetene, og best mulig gjennomstrømning av vann i elementstrukturen. I lengderetningen vil enhetene bli jevnt fordelt over ca. 200 m. Man tenker seg derfor en vertikal oppstilling av elektrodene, med et elektrodeelement på ca. $4 \times 5 \text{ m}$ på toppen av et fundament. Metallarealet av selve titannettet dekker ca. 25% av arealet som vannet møter. Hvert element får dermed et gjennomstrømningsareal på ca. 15 m^2 . Figur 5 viser en prinsippskisse av et elektrodeelement, sett fra siden.

Ved normal drift vil det være tilnærmet null strøm over elektrodeanlegget, og med dannelse av mindre enn 10 kg klor i løpet av et år. Ved driftsstans vil elektrodeanlegget i perioder fungere som anode, og Viking Cable har oppgitt 206 mg/s som typisk produksjon av klor når anlegget fungerer som anode. I de videre beregningene brukes dette tallet. I samsvar med Golmen og Nygaard (1996) er det brukt en halveringstid på 20 minutter for klor i sjøvann.



Figur 5. Skjematisk bilde med gjennomstrømning av et elektrodeelement og avtakende konsentrasjoner av klor nedstrøms elementet.

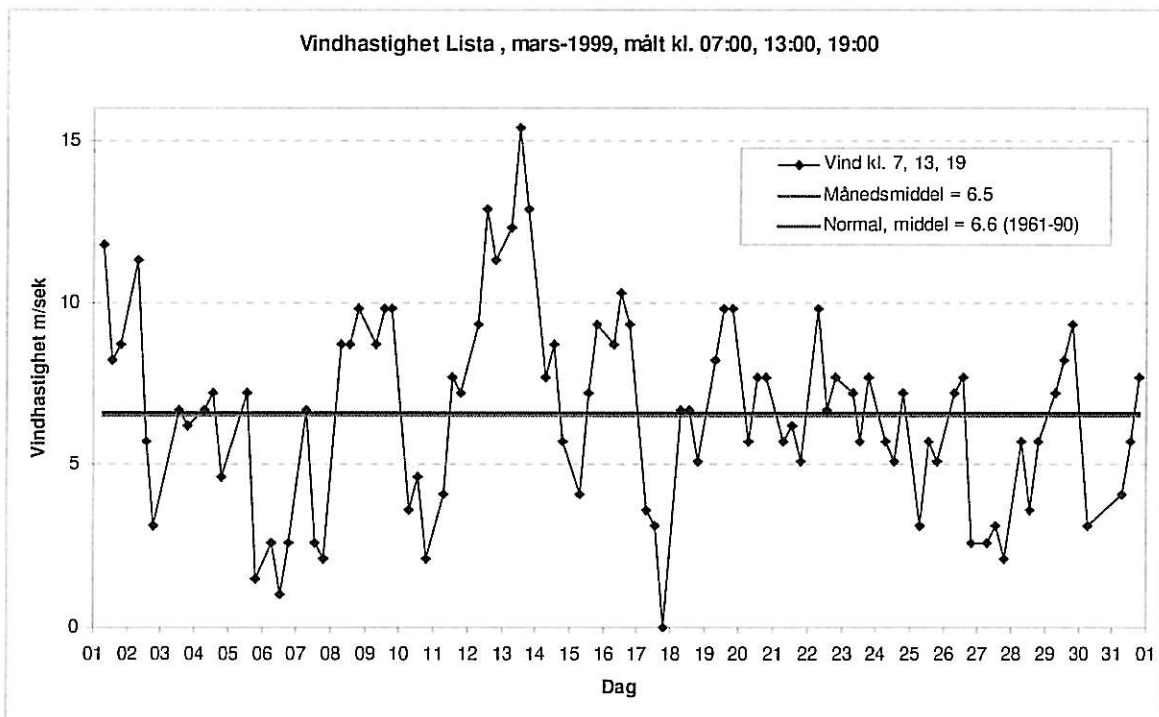
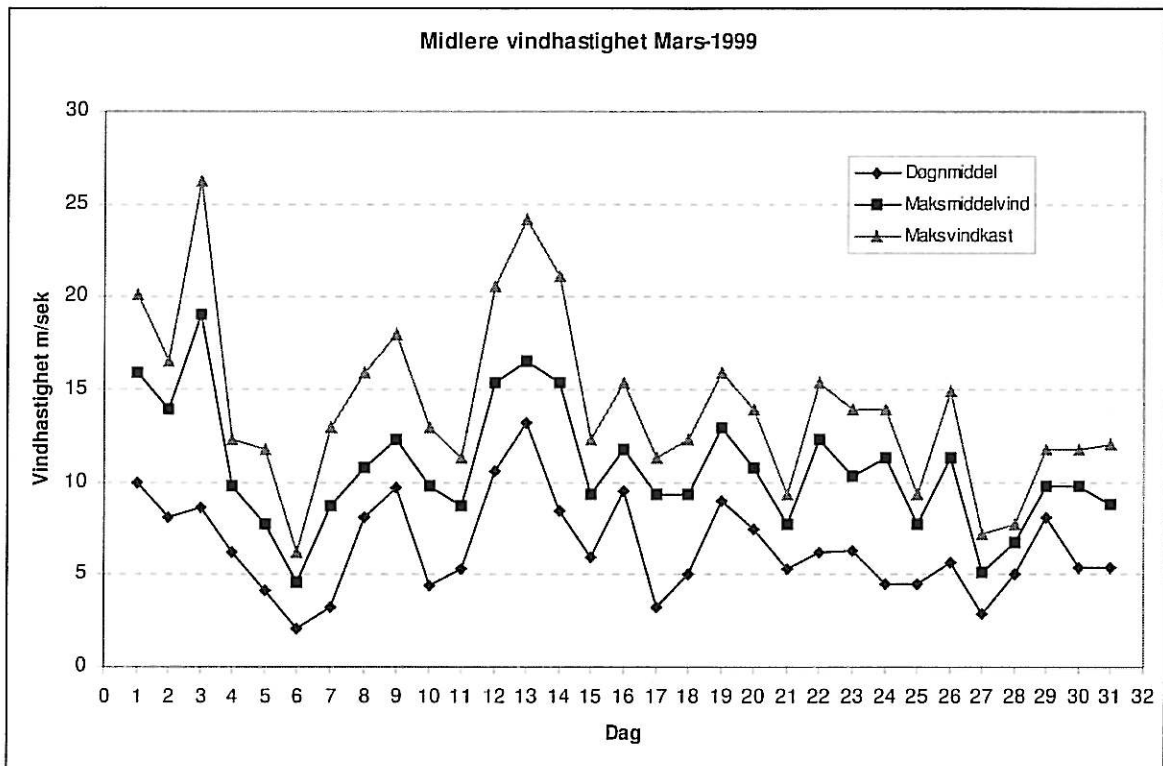
2.2.2 Vind

I Flekkefjordområdet vil vannutskiftningen under 20-30 m dyp hovedsakelig være bestemt av

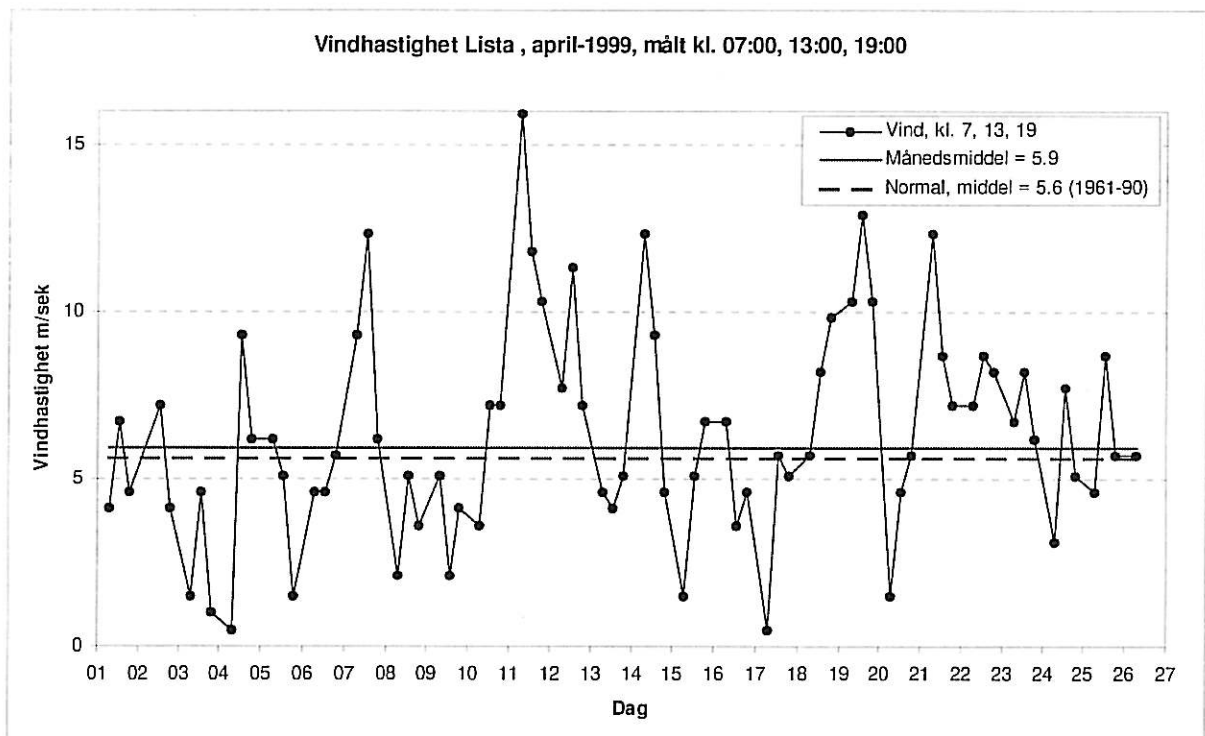
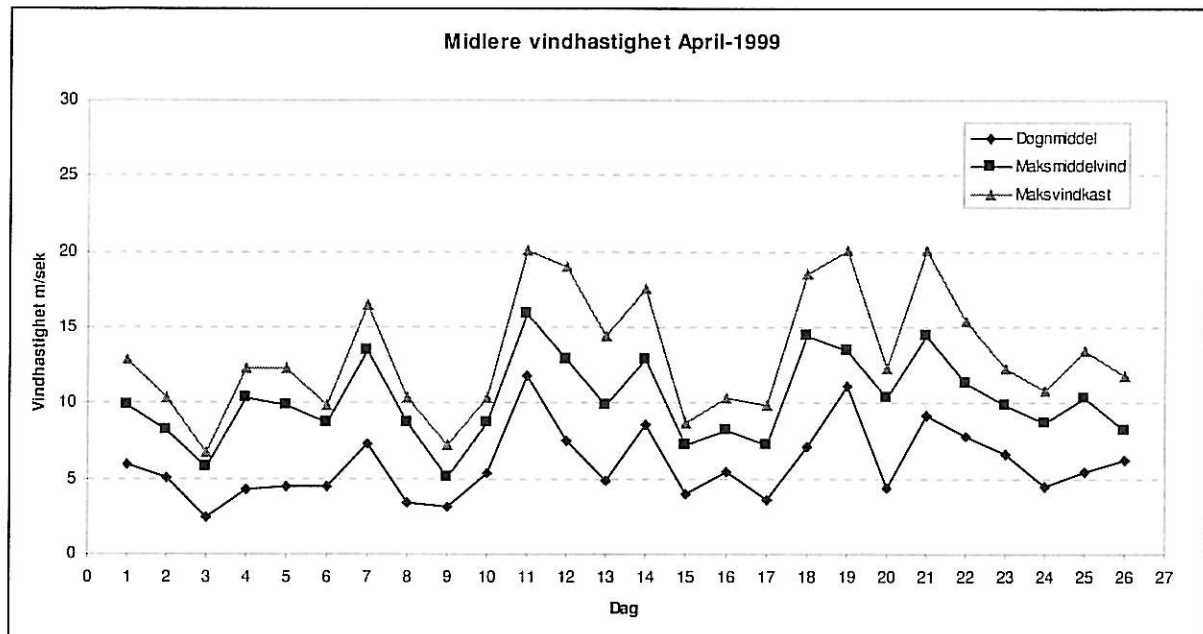
- Tidevannet: virkningen er liten fordi tidevannsvariasjonen i området er meget liten.
- Lokal vind
- Skiftende hydrografiske forhold i kystvannet: på en relativt kort tidsskala er det skiftende vindforhold på kysten som skaper variasjoner i tetthetsfeltet, og som dermed kan skape store vannutvekslinger mellom kyst- og fjordvann.

Figur 6-8 beskriver vindforholdene i på Lista i tidsrommet 1.3-26.4 1998

Midlere hastighet i mars og april var meget nær normalen for 30-års perioden. Omkring dette gjennomsnittet var det naturligvis store variasjoner, men konklusjonen er at det ikke var noe uvanlig ved vindhastigheten i det tidsrommet da målingene foregikk. Vindretningen vekslet mellom sørøst og nordvest, noe som også er vanlig for denne kyststrekningen om våren.



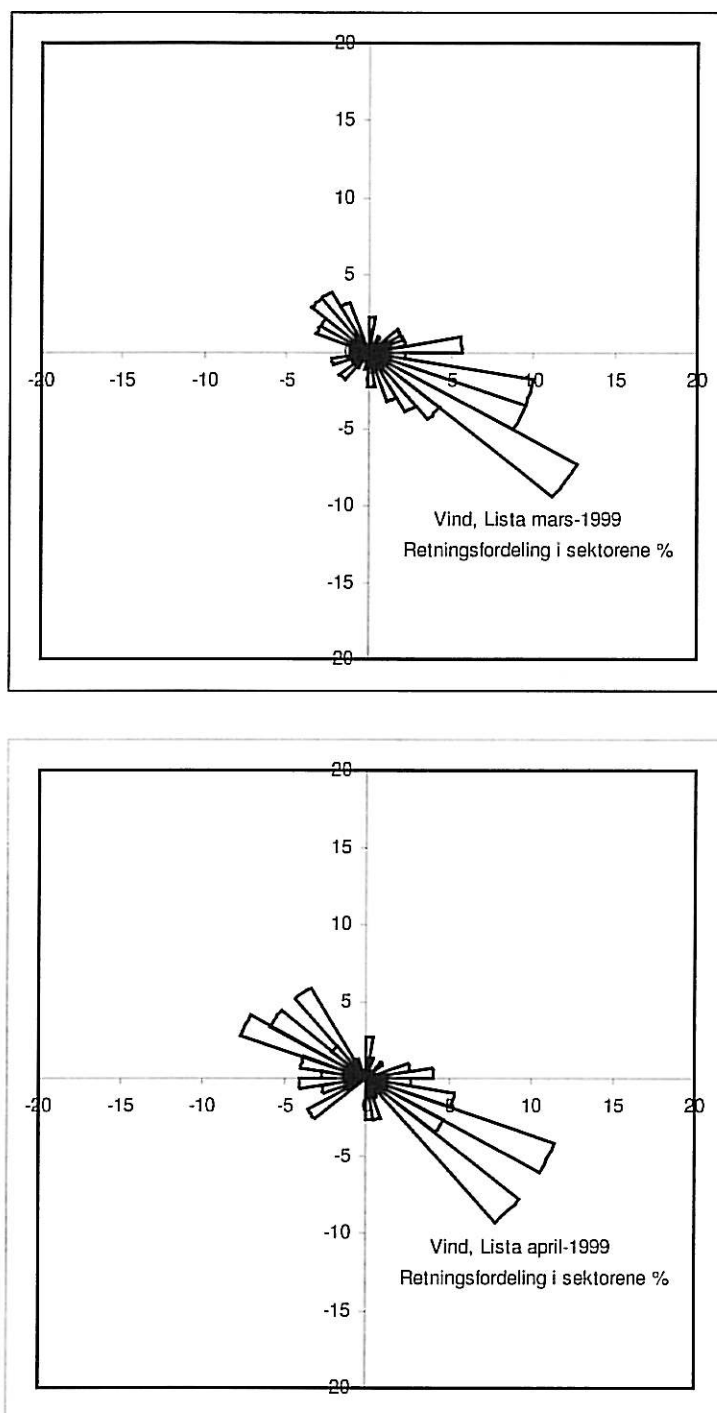
Figur 6. Vindhastighet ved Lista i mars 1999. Øverst vises statistikk for hvert døgn og nederst vises:
 - Målingene kl. 07, 13 og kl. 19
 - Månedsmidlet for mars 1999 og normalen for 1961-90.
 Kilde: Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.



Figur 7. Vindhastighet ved Lista i tidsrommet 1-26. april 1999. Øverst vises statistikk for hvert døgn og nederst vises:

- Målingene kl. 07, 13 og kl. 19
- Middelerdien for tidsrommet 1-26. april 1999
- Månedsmidlet beregnet ut fra normalen for hele april

Kilde: Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.



Figur 8. Vindretningen ved Lista i mars og april 1999, vist ved vindroser. Disse viser antall observasjoner i 15° sektorer for den retningen vinden blåser fra. Begge månedene var det vanlig med vind fra sørøst eller fra nordvest. Kilde: Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.

3. Resultater og vurderinger

3.1 Strømforhold

I det etterfølgende gjennomgås resultatene fra målingene 4 m over bunnen i Budalsvika, Vollesfjorden og Grunnevik for tidsrommet 19.3-22.4 1999. På de to førstnevnte stedene var det som en ekstra sikkerhet plassert en strømmåler (Aanderaa RCM-7) 5 m over bunnen. For disse målingene er resultatene fra Vollesfjord for tidsrommet 7-22.4 1999 diskutert nedenfor.

3.1.1 Budalsvika

Tidsrommet 19.3-7.4 1999

Figur 9 viser hastigheten av horisontal vannstrøm (som gjennomsnitt over 10 minutter) 4 m over bunn i Budalsvika. Variasjonene er relativt store, som ventelig er i et relativt åpent område og skyldes i alt vesentlig en regelmessig påvirkning fra det halvdaglige kombinert med uregelmessige virkninger av skiftende vindforhold i fjordområdet og på kysten (Figur 6-8).

Volumtransporten gjennom en enhetsflate betegnes som vannfluks. Denne er beregnet for sektorer på 15° som prosent av totalen:

$$\text{Vannfluks (\%)} = \frac{v_i \cdot n_i \cdot 100}{v_{\text{tot}} \cdot N}$$

Der:

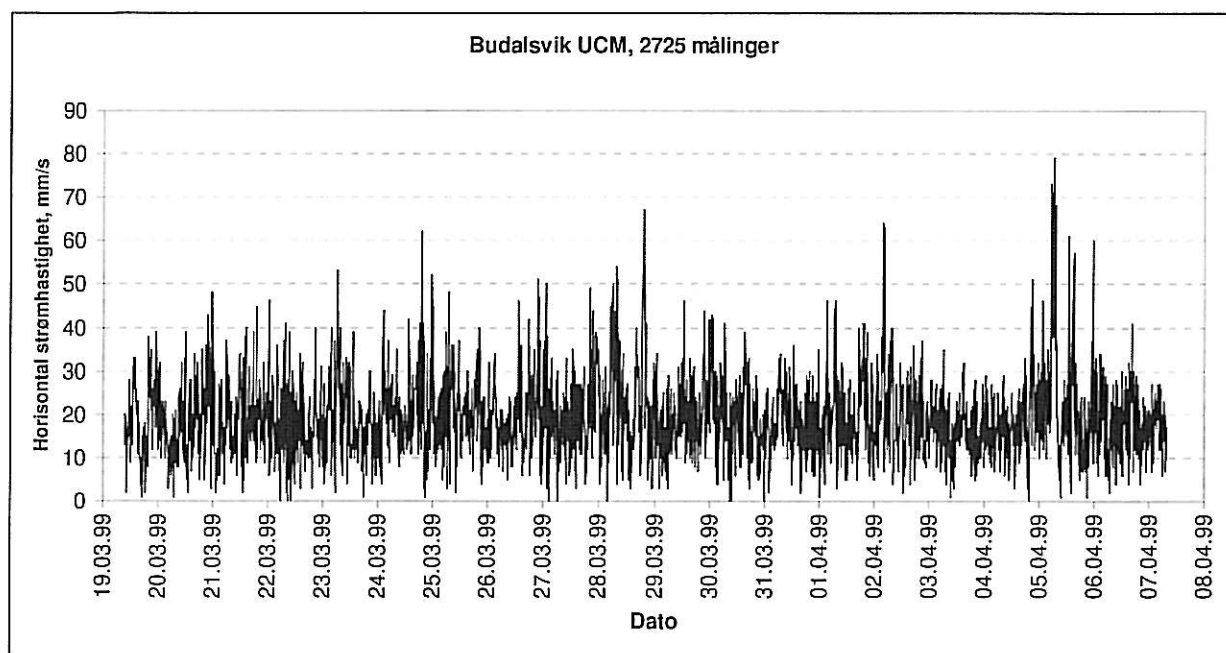
- V_i = middelhastigheten i sektoren ($i=1, 2, \dots, 24$)
- n_i = antall observasjoner i sektoren
- v_{tot} = gjennomsnittshastighet, uansett retning
- N = totalt antall observasjoner
-

Figur 10 viser vannfluksen og man ser at vannet i alt vesentlig har beveget seg i retning 180-270°.

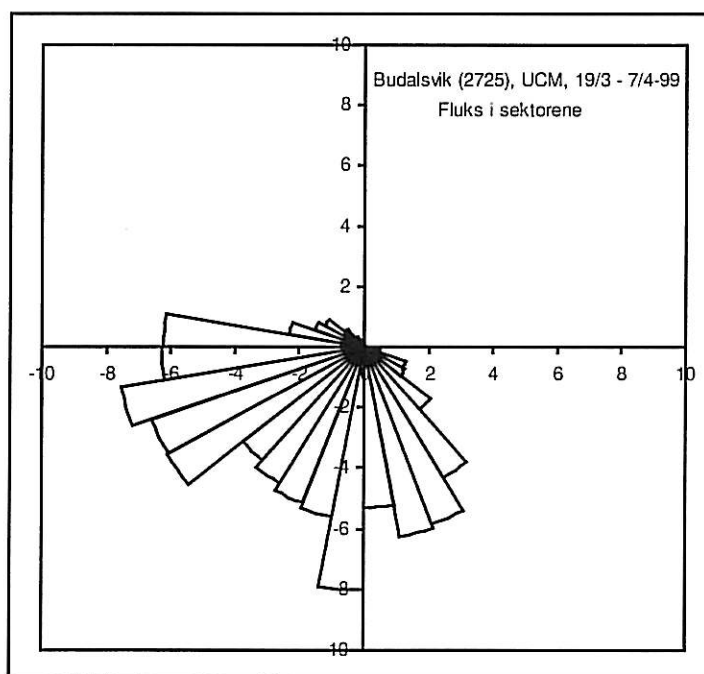
Figur 11 viser en statistisk framstilling av dataene:

- Gjennomsnittshastigheten var 18 mm/s
- Maksimum hastighet var 79 mm/s.
- For ca. 96% av målingene var hastigheten 5 mm/s eller høyere.

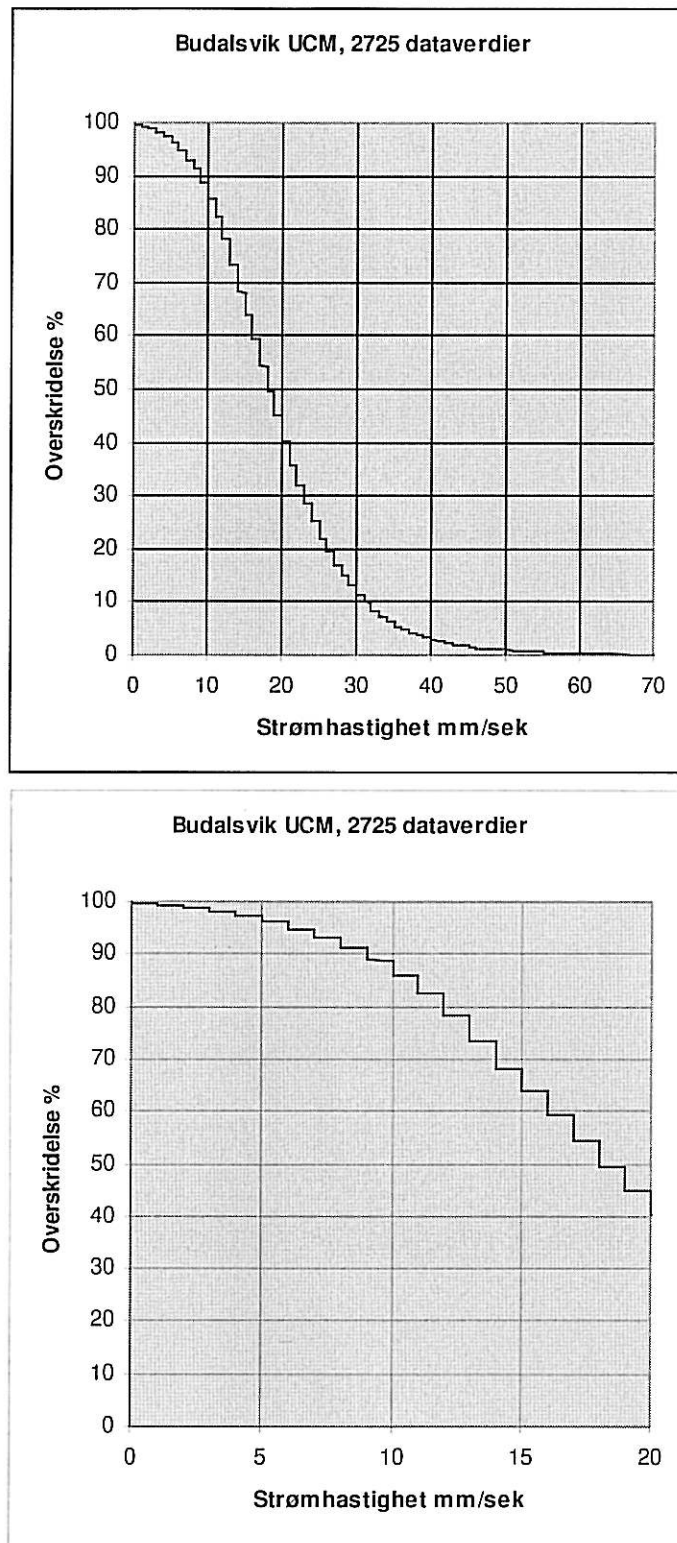
I tillegg til den horisontale hastighetskomponenten registrerer den akustiske vannstrømmåleren også den vertikale komponenten. Resultanten av disse to komponentene viser at den reelle strømhastigheten oftest er markert større enn den horisontale komponenten alene. Dette er vist i Vedlegg A.



Figur 9. Budalsvika. Hastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 19.3-7.4 1999. Strømmåleren var en akustisk måler av type UCM-40.



Figur 10. Budalsvika. Vannfluks 4 m over bunnen i tidsrommet 19.3-7.4 1999. Vannet beveget seg hovedsakelig ut fjorden.



Figur 11. Budalsvika. Kumulativ fordeling av strømhastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 19.3-7.4 1999. Nederste figur er et utsnitt fra den øverste. Strømmåleren var en akustisk måler av type UCM-40.

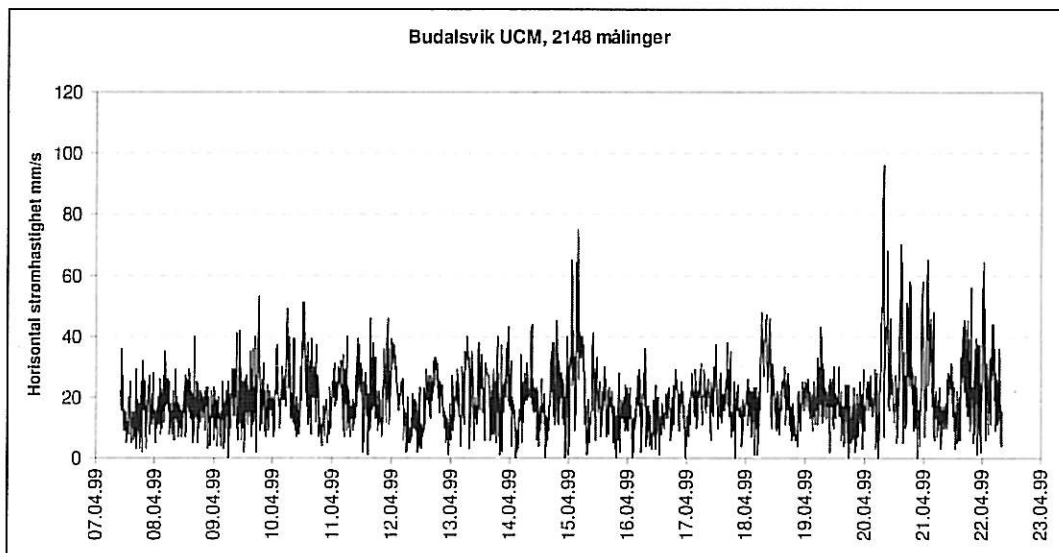
Tidsrommet 7-22.4 1999

Resultatene for dette tidsrommet er vist i Figur 12-14. I hovedsak viser de samme bildet som for de første 14 dagene:

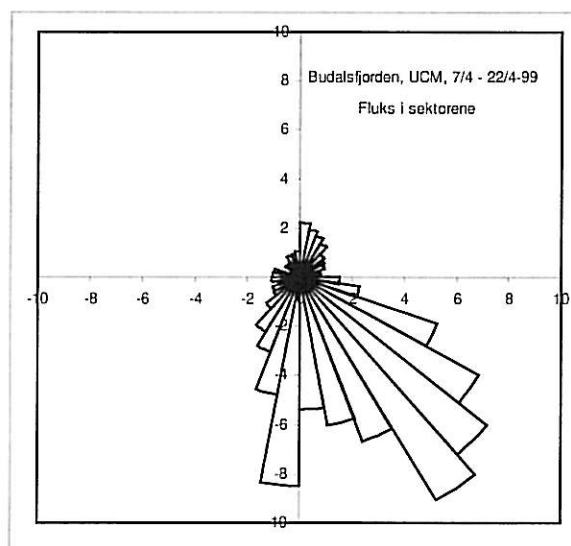
- Maksimal strømhastighet: 95 mm/s
- Gjennomsnittlig strømhastighet: 18 mm/s
- 95% av målingene viste strømhastighet over 5 mm/s

Vannfluksen var i hovedsak rettet mot sør-sørøst, dvs. ut av fjorden.

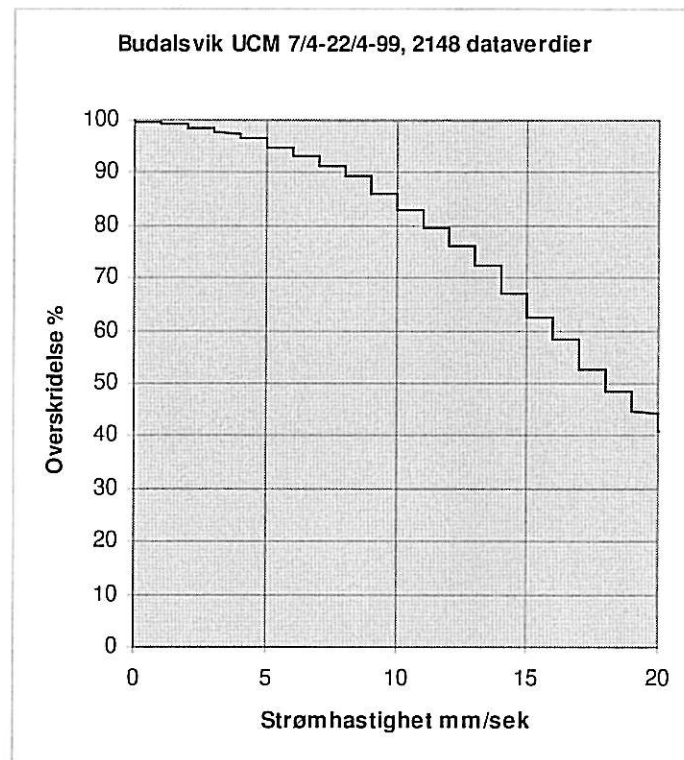
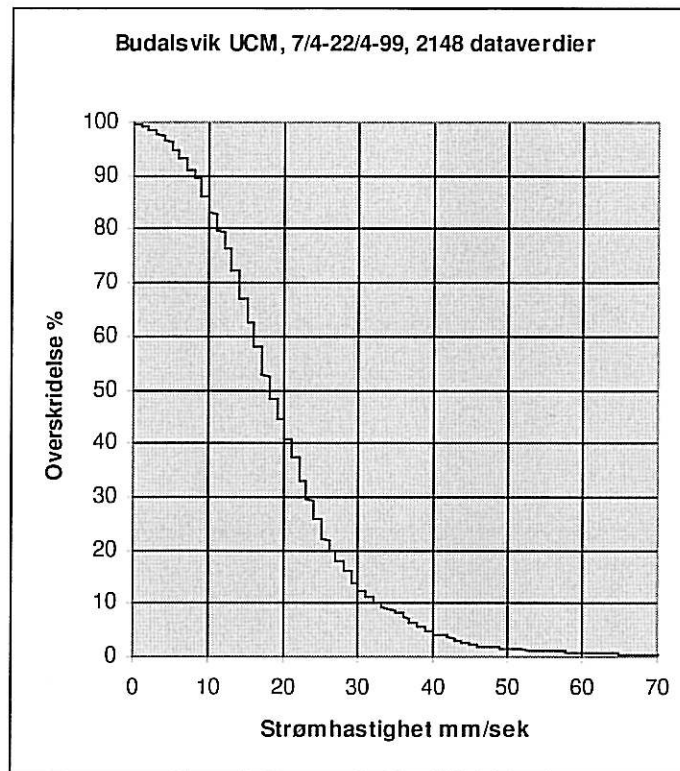
I tillegg til den horisontale hastighetskomponenten registrerer den akustiske vannstrømmåleren også den vertikale komponenten. Resultanten av disse to komponentene viser at den reelle strømhastigheten oftest var markert større enn den horisontale komponenten alene. Dette er vist i Vedlegg A.



Figur 12. Budalsvika. Strømhastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Strømmåleren var en akustisk måler av type UCM-40.



Figur 13. Budalsvika. Vannfluks 4 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Vannet beveget seg hovedsakelig ut fjorden.



Figur 14. Budalsvika. Kumulativ fordeling av strømhastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Strømmåleren var en akustisk måler av type UCM-40.

3.1.2 Vollesfjord

Tidsrommet 19.3-7.4 1999

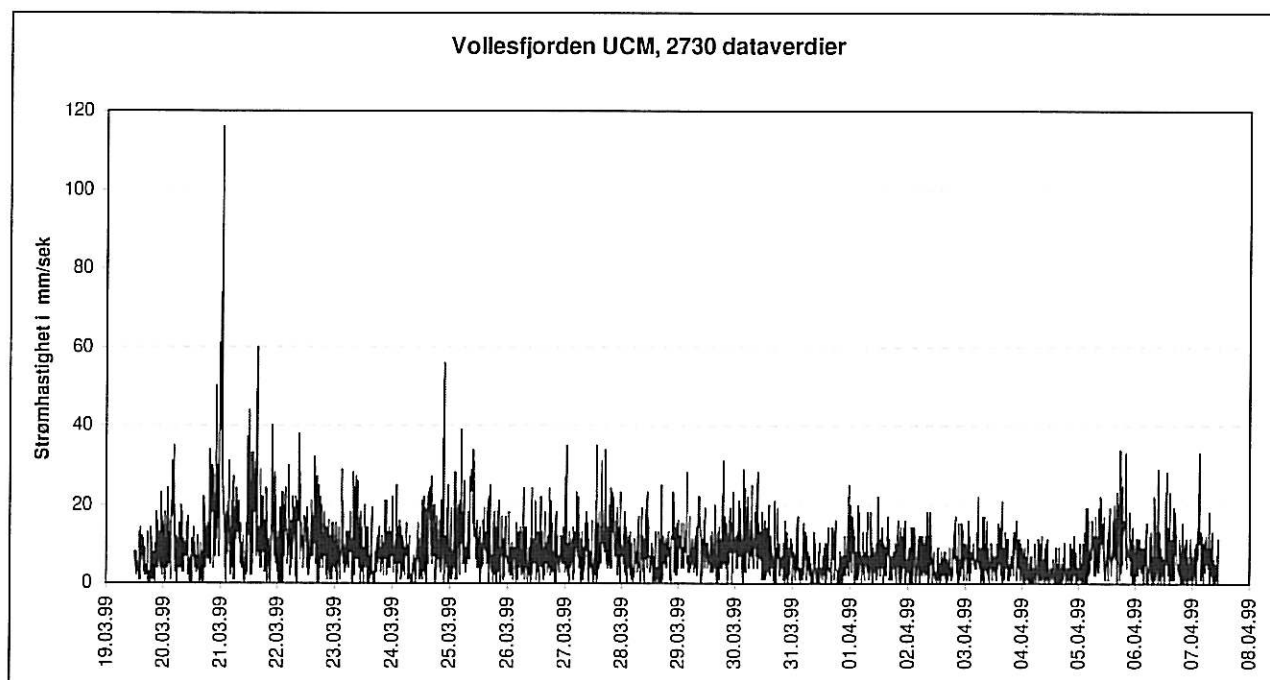
Figur 15 viser horisontal hastighet (som gjennomsnitt over 10 minutter) 4 m over bunnen i Vollesfjord. Som i Budalsvika er variasjonene er relativt store, og skyldes i alt vesentlig en regelmessig påvirkning fra det halvdaglige tidevannet kombinert med uregelmessige virkninger av skiftende vindforhold i fjordområdet og på kysten (Figur 6-8). Vindmålingene ved Lista viser imidlertid ikke noen tydelig sammenheng med maksimumsverdiene for strømhastighet omkring 21-22.3 og 25.3 og det er sannsynlig at disse ble forårsaket av lokal vind rettet inn eller ut av fjorden.

Figur 16 viser vannfluksen fordelt på 15° sektorer og man ser at vannet i alt vesentlig har beveget seg i retning 270-360°.

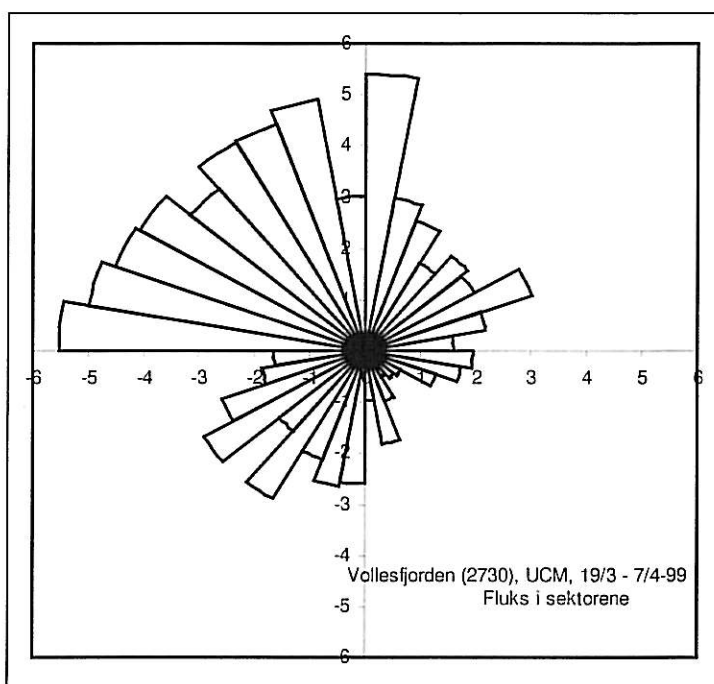
Figur 17 viser en statistisk framstilling av dataene:

- Gjennomsnittshastigheten var ca. 7 mm/s
- Maksimum hastighet var 115 mm/s.
- For 60-65% av målingene var hastigheten 5 mm/s eller høyere.

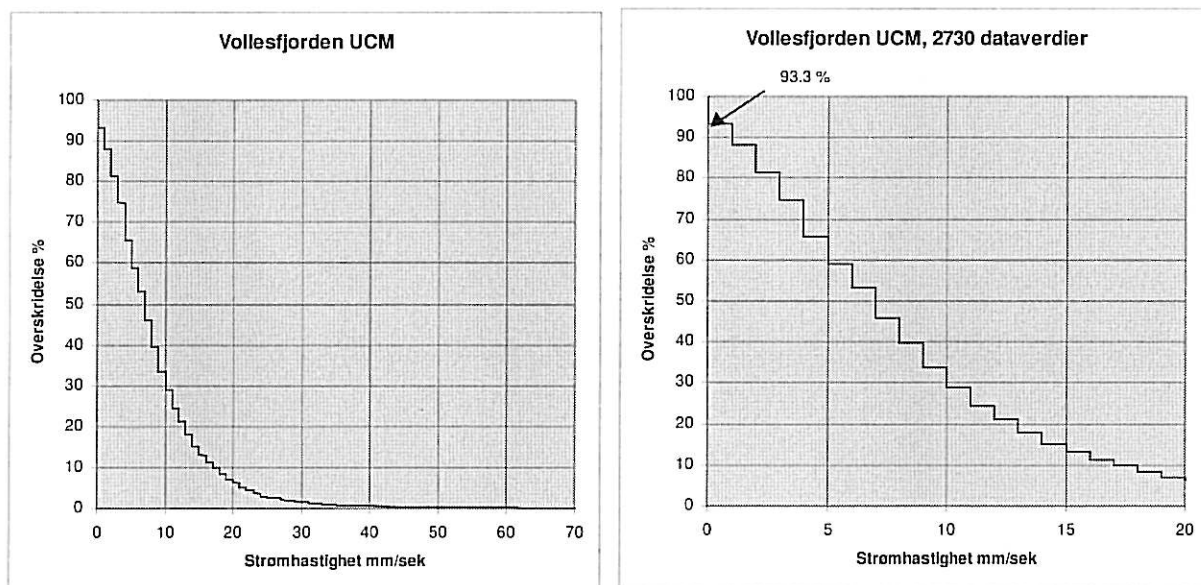
For dette tidsrommet var altså strømhastigheten i Vollesfjorden i gjennomsnitt i underkant av 40% av hastigheten i Budalsvika.



Figur 15. Vollesfjord. Hastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 19.3-7.4 1999. Strømmåleren var en akustisk måler av type UCM-40.



Figur 16. Vollesfjord. Vannfluks 4 m over bunnen i tidsrommet 19.3-7.4 1999. Vannet beveget seg hovedsakelig inn fjorden.

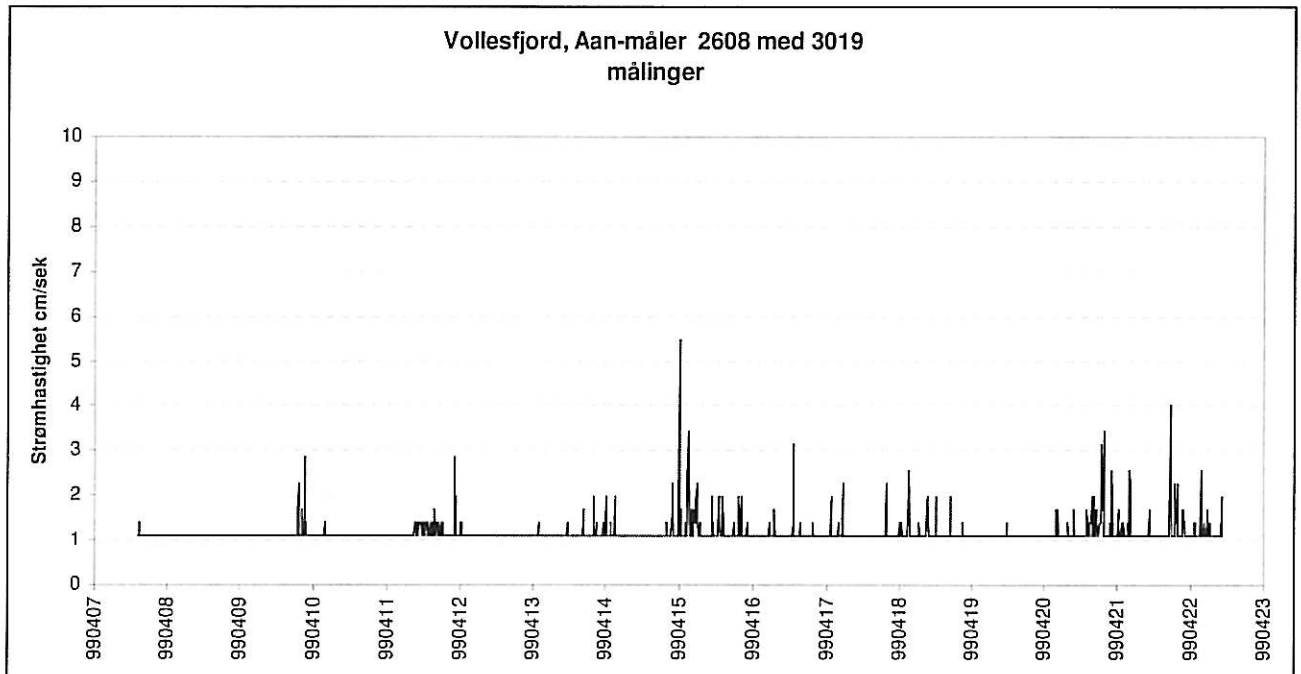


Figur 17. Vollesfjord. Kumulativ fordeling av strømhastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 19.3-7.4 1999. Strømmåleren var en akustisk måler av type UCM-40.

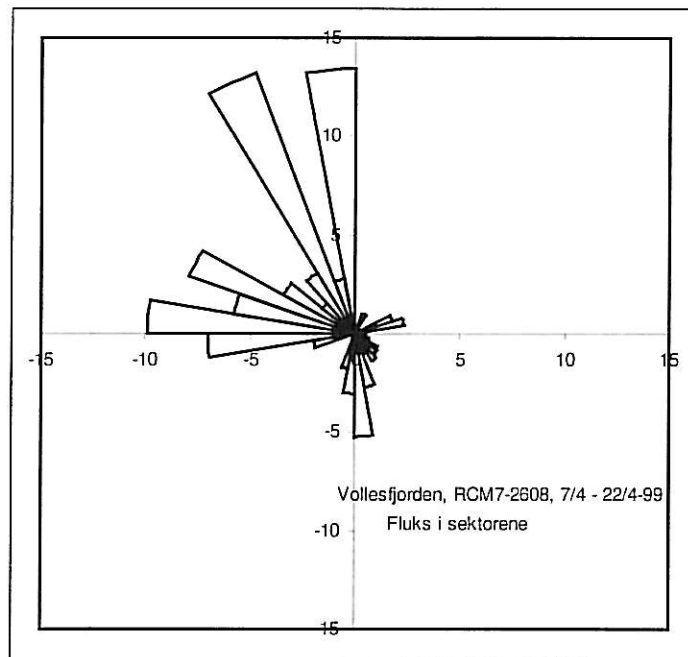
Tidsrommet 7-22.4 1999

Resultatene for dette tidsrommet er vist i Figur 18-20. Vi minner om at det her ble brukt en mekanisk måler med langt mindre følsomhet enn den akustiske måleren som ble brukt i det første tidsrommet. I hovedsak viser de samme bildet som for de første 14 dagene:

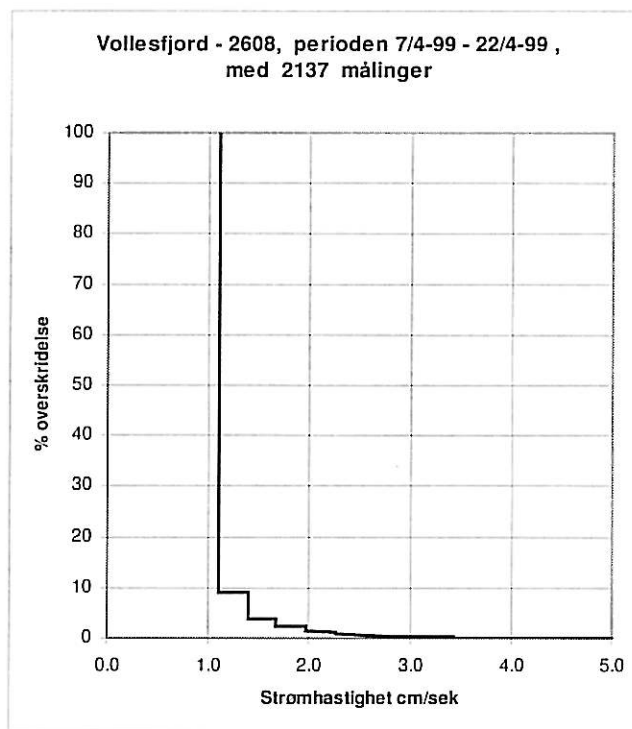
- Maksimal strømhastighet: 95 mm/s
- Gjennomsnittlig strømhastighet: 18 mm/s
- 95% av målingene viste strømhastighet over 5 mm/s
- Vannfluksen i hovedsak rettet inn fjorden.



Figur 18. Vollesfjord. Strømhastighet 5 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Strømmåleren var en mekanisk måler av type Aanderaa RCM-7.



Figur 19. Vollesfjord. Vannfluks 4 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Vannet beveget seg hovedsakelig inn fjorden.



Figur 20. Vollesfjord. Kumulativ fordeling av strømhastighet 5 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Strømmåleren var en mekanisk måler av type Aanderaa RCM-7.

3.1.3 Grunnevik

Tidsrommet 17.3-7.4 1999

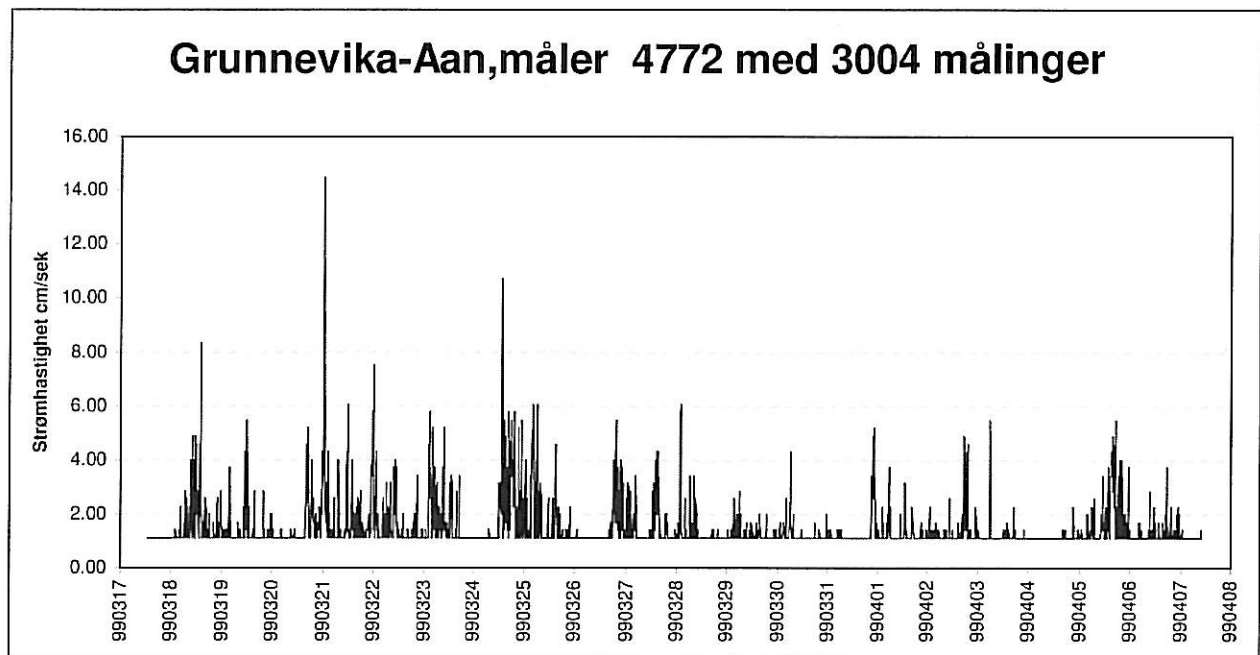
Figur 21 viser hastigheten (som gjennomsnitt over 10 minutter) 4 m over bunn på stasjonen nær munningen av Grunnevik. Vi minner om at dette er resultater fra en RCM-7 strømmåler, dvs. en mekanisk måler med vesentlig mindre følsomhet for svake vannbevegelser enn de akustiske målerne som er brukt i Budalsvika og i det første tidsrommet i Vollesfjord. Resultatene er altså ikke direkte sammenlignbare med Budalsvika, men kan sammenlignes med den siste måleserien i Vollesfjord.

Som i Budalsvika og Vollesfjord er variasjonene er relativt store, og skyldes i alt vesentlig en regelmessig påvirkning fra det halvdaglige tidevannet kombinert med virkninger av skiftende vindforhold i fjordområdet og på kysten.

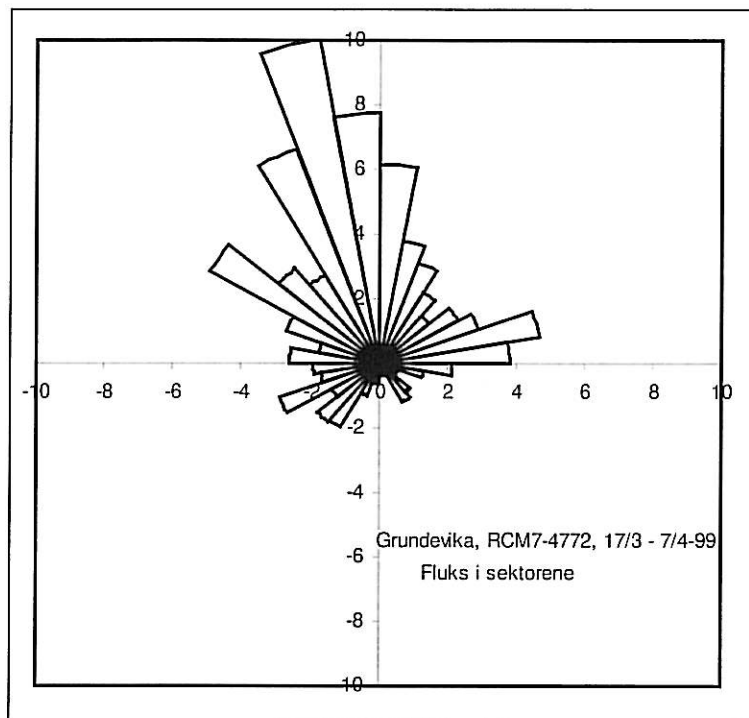
Figur 22 viser vannfluksen fordelt på 15° sektorer og tyder på at vannet i dette dypet i hovedsak beveget seg i retning 270-360°, dvs. rettet inn Grunnevik. Men det faktum at for omkring 70% av målingene var hastigheten under målerens terskelverdi gjør også at denne statistikken blir usikker.

Figur 23 viser en statistisk framstilling av dataene:

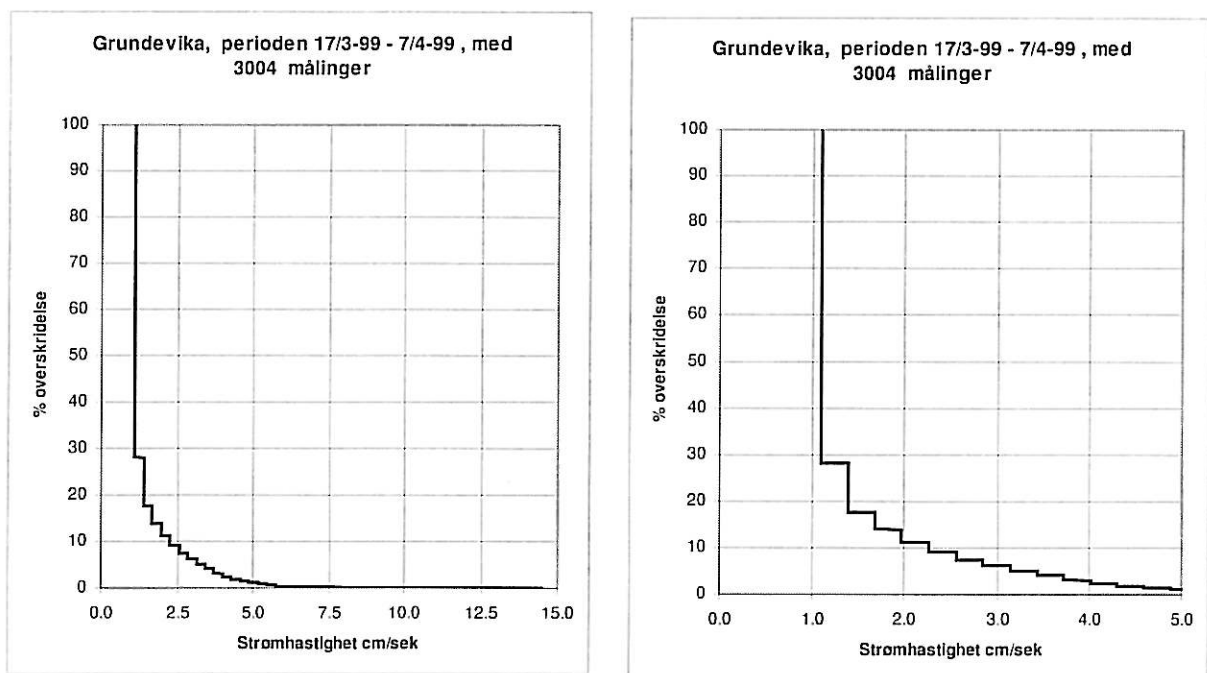
- Gjennomsnittshastigheten var mindre enn 1.1 cm/s (nedre grense for hastighetsmålinger)
- Maksimum hastighet var omkring 15 cm/s.
- For 30% av målingene var hastigheten 1.1 cm/s eller høyere.



Figur 21. Grunnevik, hastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 17.3-7.4 1999. Strømmåleren var en mekanisk måler av type Aanderaa RCM-7.



Figur 22. Grunnevikfjorden. Vannfluks 4 m over bunnen i tidsrommet 17.3-7.4 1999. Vannet beveget seg hovedsakelig inn fjorden.



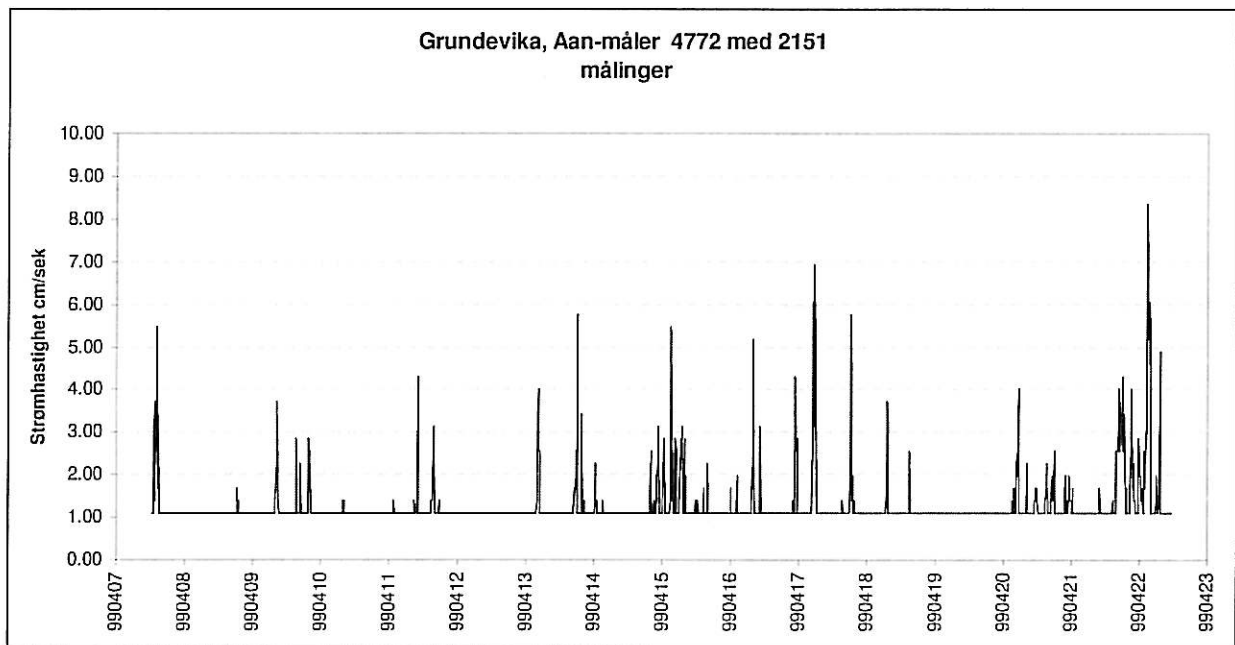
Figur 23. Grunnevikfjorden. Kumulativ fordeling av strømhastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 17.3-7.4 1999. Strømmåleren var en mekanisk måler av type Aanderaa RCM-7.

Tidsrommet 7-22.4 1999

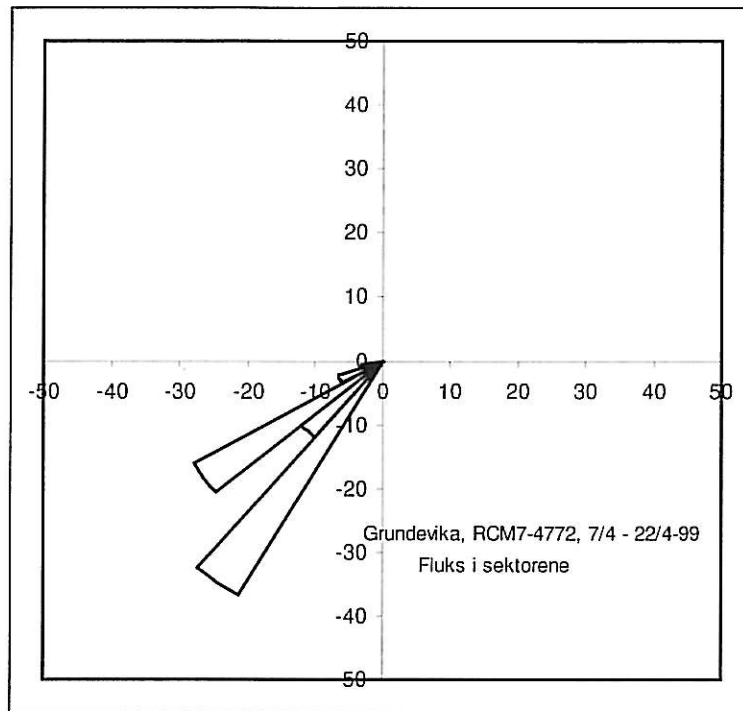
Resultatene for dette tidsrommet er vist i Figur 24-26. Hva strømhastighet angår vises det samme bildet som for de første 14 dagene:

- Maksimal strømhastighet: 95 mm/s
- Gjennomsnittlig strømhastighet: 18 mm/s
- 95% av målingene viste strømhastighet over 5 mm/s

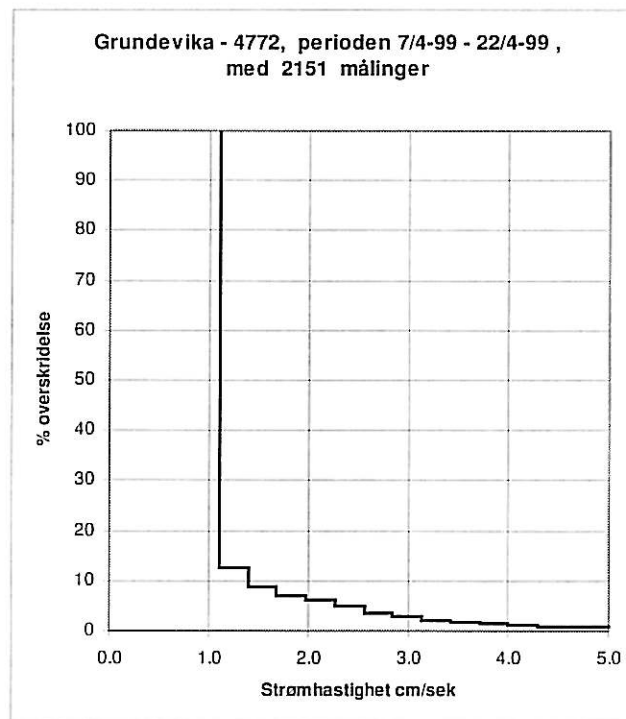
Figur 25 viser vannfluksen fordelt på 15° sektorer og tyder på at vannet i dette dypet i hovedsak beveget seg ut Grunnevik. Men det faktum at for omkring 90% av målingene var hastigheten under målerens terskelverdi gjør at denne statistikken blir usikker.



Figur 24. Grunnevik. Strømhastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Strømmåleren var en mekanisk måler av type Aanderaa RCM-7.



Figur 25. Grunnevisa. Vannfluks 4 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Vannet beveget seg hovedsakelig ut fjorden.



Figur 26. Grunnevisa. Kumulativ fordeling av strømhastighet 4 m over bunnen i tidsrommet 7-22.4 1999. Strømmåleren var en mekanisk måler av type Aanderaa RCM-7.

3.2 Beregnet klorkonsentrasjon ved anlegget

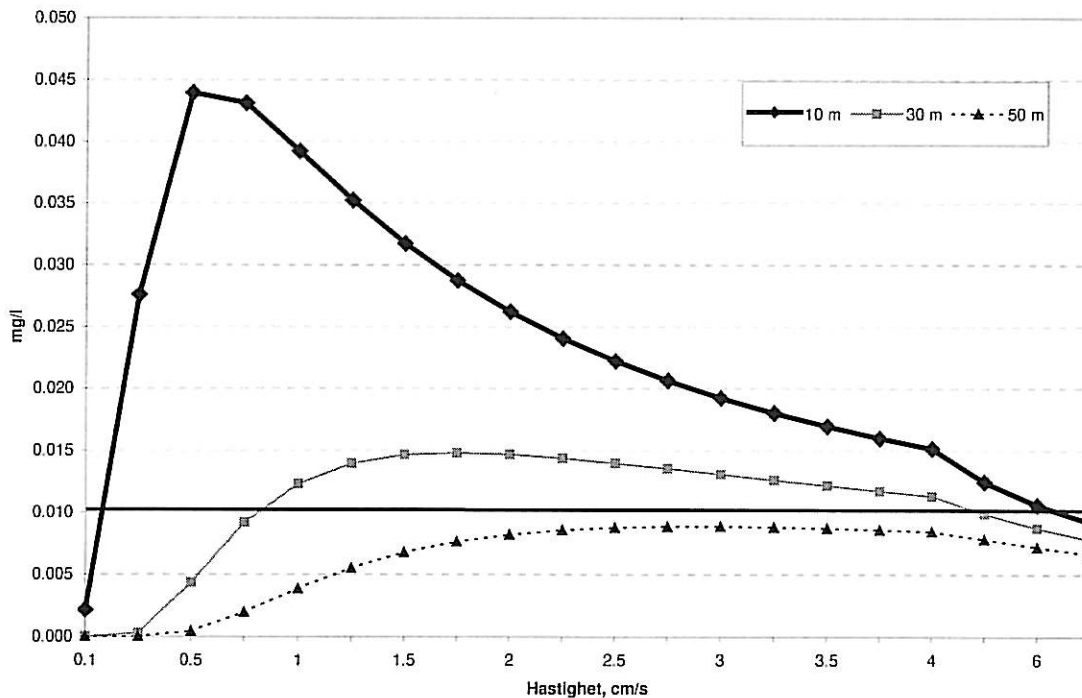
Når elektrodeanlegget er i drift vil dannelsen av klor være maksimalt 206 mg/s. Tabell 2 sammenfatter beregningene av klorkonsentrasjonen ved yttersiden av elementene ved forskjellige strømhastigheter gjennom anlegget.

Tabell 2. Maksimal klorkonsentrasjon på yttersiden av elementene ved ulike vannstrømmer gjennom elektrodeanlegget.

Strømhastighet	Vannstrøm gjennom anlegget	Klorkonsentrasjon ved dannelsen av 206 mg/s
0.5 cm/s	1.5 m ³ /s	0.14 mg/l
1 cm/s	3 m ³ /s	0.07 mg/l
2 cm/s	6 m ³ /s	0.03 mg/l
7 cm/s	21 m ³ /s	0.01 mg/l

Som tidligere nevnt er halveringstiden for klor forutsatt å være 20 minutter.

Beregninger for sentrum av "skyen" i avstand 10 m, 30 m og 50 m nedstrøms anlegget vises i Figur 27. Ved de laveste vannhastighetene vil nedbrytning av klor være viktigst for å redusere konsentrasjonen. Ved vannhastigheter over ca. 1 cm/s vil vannvolumet som strømmer gjennom elektrodene i økende grad blir så stor at klorkonsentrasjonen blir lav. En klorkonsentrasjon på 0.01 mg/l er av Statnett regnet som grenseverdi (Golmen og Nygaard 1995, Poléo og Harboe 1996) og i figuren er dette nivået merket med en horisontal linje.



Figur 27. Beregnet maksimal klorkonsentrasjon (i sentrum av skyen med klor) 10-50 m nedstrøms anlegget, ved varierende strømhastighet og forutsatt 20 minutters halveringstid for klor. Konsentrasjonen 0.01 mg/l regnes som grenseverdi. NB! Brudd i skalaen på horisontal akse ved 4 cm/s.

Figur 27 viser at med maksimal utskillelse av klor i de tidsrommene anlegget er i drift (jfr. Tabell 2) kan klorkonsentrasjonen "nedstrøms" anlegget ut til 35-40 m avstand være høyere enn grenseverdien på 0.01 mg/l. Dette gjelder for sentrum av skyen med klor, dvs. for en vannmasse med tykkelse omkring 2 m og i det dypet hvor elektrodeanlegget er plassert.

3.3 Sammenligninger med Breivika

Beregningen av klorkonsentrasjonen nedstrøms anlegget er generelt lagt opp og vil også være gyldig for Breivika. Basert på målinger av strømhastigheten valgte Golmen og Nygaard (1996) 1.5 cm/s som karakteristisk hastighet. For samme type anlegg som vurderes for Stolsfjord-området vil man også for et elektrodeanlegg av titan i Breivika få en avstand på 35-40 m før klorkonsentrasjon i sentrum av "skyen" har avtatt til 0.01 mg/l (Figur 27).

Målingene av vannstrøm i Breivika ble gjort i tidsrommet 20.3-18.4 1996, dvs. til samme tid på året som målingene i Budalsvika, Vollesfjord og Grunnevik. Generelt sett vil man forvente at fordi Breivika ligger nærmere kystvannet og mer åpent til i forhold til vind vil vannbevegelsene være sterkere enn lenger inne i Stolsfjordområdet. De strømmålingene som er utført i Grunnevik og i Vollesfjord kan stemme med et slikt resonnement, men det passer ikke for Budalsvika. Grunnen er sannsynligvis at Budalsvika ligger relativt åpent til med forventet frie vannbevegelser, mens Breivika er forholdsvis innelukket med 48 m som største dyp og ca. 30 m som dypeste åpning mot omgivelsene. I Breivika ble strømmålingene utført i henholdsvis 28 m og 32 m dyp, dvs. litt over/under terskeldypet og det er rimelig å anta at forbindelsen mot kystvannet i dette nivået er relativt dårlig. Det skal imidlertid tilføyes at en slik sammenligning av målte verdier må bli litt usikker fordi den ikke er basert på samtidige målinger, selv om de er utført til samme tid av året.

Det kan nevnes at Golmen og Nygaard (1996) vurdere et grafittanlegg med elektrodeareal på 100m x 200 m (20.000 m²) og dannelse av 300 mg/s av klor. De beregnet at klorkonsentrasjonen ville nå den grenseverdien på 0.01 mg/l ved en avstand av 5-10 m fra anlegget. Grunnen til at denne avstanden er mindre enn det tilsvarende beregninger for et titananlegg viser – til tross for at sistnevnte forutsettes å utvikle vesentlig mindre klor, er at grafittanleggets større elektrodeareal medførte at produksjonen av klor pr. m² ble mindre.

4. Oppsummering

Målingene av vannstrøm i Budalsvika, Volls fjorden og Grunnevik i tidsrommet 19.3-22.4 1999 viste følgende hovedtrekk:

- I alle tre vannforekomstene var det relativt svak vannstrøm, noe som ikke er overraskende tatt i betraktning at lokalitetene ligger relativt skjermet inne i et fjordområde og at tidevannsvariasjonene er svært små på denne delen av kysten. For Budalsvika var imidlertid strømhastigheten betydelig større enn for de to andre lokalitetene, og må fra denne synsvinkelen betegnes som den mest egnede vannforekomsten.
- I måleperioden var det relativt rolige vindforhold. Som gjennomsnitt for mars 1999 og for den delen av april da målingene foregikk var vindhastigheten meget nær månedsgjennomsnittet for 30-årsperioden 1961-90. Det var altså relativt "normale" vindforhold.
- Sammenlignet med Breivika var strømhastigheten i Budalsvika noe større og vannutskiftningen bedre. Om denne forskjellen gjelder generelt eller om den delvis skyldes at man sammenligner målinger som er gjort til ulike tidsrom og med ulike typer instrumenter, kan ikke avgjøres helt sikkert. Man sammenligner imidlertid målinger som er utført til samme tid på året.
- Den viktigste faktoren er sannsynligvis ulik topografi. Tar man denne i betraktning bør man kunne være rimelig sikker på at under terskeldypet (ca. 30 m) i Breivika er vannstrømmen svakere enn i Budalsvika.

De gangene elektrodeanlegget er i drift vil det bli produsert klor. Med de samme forutsetninger mht. produksjon og nedbrytning av klor som er benyttet i tidligere vurderinger, finner man for et titananlegg at

- Nedstrøms anlegget vil klorkonsentrasjonen innen en avstand på 35-40 m avta til grenseverdien på 0.01 mg/l . Dette gjelder for sentrum av skyen med klor, dvs. for en vannmasse med tykkelse omkring 2 m og i det dypet der elektrodeanlegget blir plassert.
- I hovedsak gjelder disse beregningene også for Breivika.

5. Litteratur

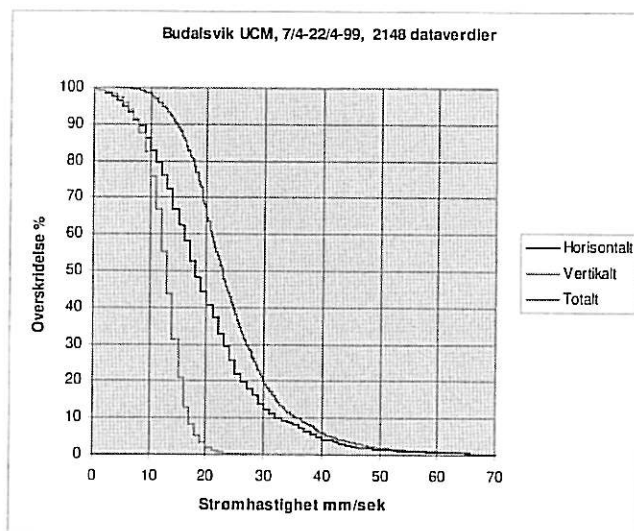
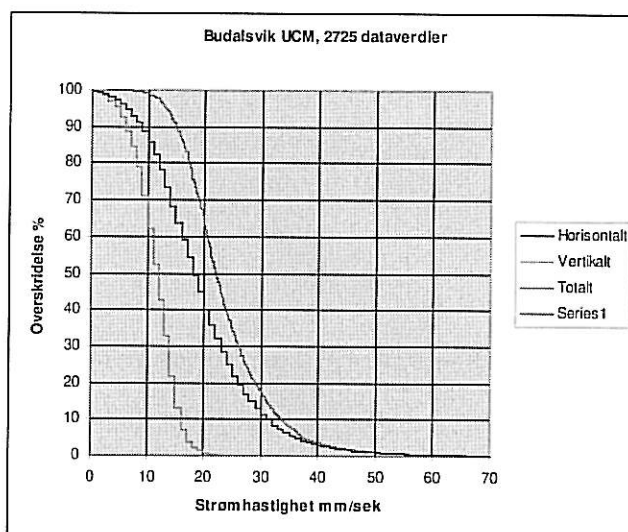
Baumgartner, D.J, Frick, W.E. and Roberts, P.J.W, 1994. Dilution models for effluent discharges (Third Edition). Center for Exposure Assessment Modeling. U.S. EPA, Environmental Research Laboratory. Athens, Georgia, USA. 189 sider.

Golmen, L.G. og Nygaard, E., 1996. Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet. Vannutskiftning og forventet klorkonsentrasjon på lokaliteter for elektrodeanlegg. NIVA-rapport nr. 3485-96. Bergen. 56 sider.

Molvær, J., 1999. Likestrømskabel mellom Sør-Norge og Kontinentet. Vurdering av vannutskiftning i Vollesfjord og Grunnevik, Flekkefjord kommune. NIVA-rapport nr. 4009-99. Oslo. 19 sider.

Poléo, A.B.S og Harboe, M., 1996. Virkninger av likestrøms (HVDC) sjøkabler og elektrodeanlegg på marint liv. Biologisk institutt. Universitetet i Oslo. 46 sider.

Vedlegg A. Strømmålinger i Budalsvika



Figur A1. Budalsvika. Kumulativ fordeling av strømhastighet 4 m over bunnen. Figuren viser fordelingen for den horisontale og den vertikale komponenten, samt den totale strømhastigheten. Den sistnevnte er større enn den horisontale komponenten som vurderingene foran i rapporten bygger på.

Øverst: Tidsrommet 19.3-7.4 1999.

Nederst: Tidsrommet 7-22.4 1999.