

RAPPORT LNR 4121-99

Vurdering av vann- utskiftning i Langfjorden ved Kirkenes

Betydning av tidligere
avgangsdeponering i området



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

Serlandsavdelingen
Televeien 3
4879 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

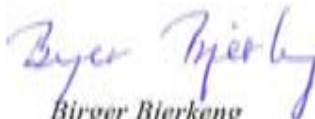
Akvaplan-NIVA A/S
9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Vurdering av vannutskifting i Langfjorden ved Kirkenes Betydning av tidligere avgangsdeponering i området	Løpenr. (for bestilling) 4121-99	Dato 16.12.1999	
	Prosjektnr. Undemr. 99119	Sider 102	Pris kr.150
Forfatter(e) Bjerkeng, Birger	Fagområde Eutrofi sjøvann	Distribusjon	
	Geografisk område Finnmark	Trykket NIVA	

Oppdragsgiver(e) Sydvaranger ASA ved dir. Ragnar Østby	Oppdragsreferanse Jnr. 1293/99
---	-----------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Ytre del av Langfjorden sørvest for Kirkenes er delvis gjenfylt av avgangsdeponier fra gruvedriften ved Sydvaranger ASA. Det er hevdet at det har ført til negative konsekvenser for fisket i fjorden. Vannutvekslingen er vurdert ut fra et feltarbeid i august 1999 supplert med tidligere data. Slambanken har ikke innvirkning på hvor store vannmengder som transporteres inn og ut av Langfjorden gjennom begrensende tverrsnitt og terskeldyp i Storstraumen ved Strømmen bru, men kan til tider begrense innstrømming av salt, tungt vann til området rett utenfor. En utvidelse og fordypning av kanalen gjennom avgangen til tverrsnitt 100 m² under 2m dyp, og med terskeldyp 5-7 m, kan rette på dette, men hvor stor betydning dette har for vannutvekslingen med fjorden innenfor og for dypvannsfornyelsene, kan ikke bedømmes på eksisterende datagrunnlag. Dersom det har skjedd endringer i vannutvekslingen i forhold til tidligere tider, kan det også være en følge av mer permanent brakkvannspåvirkning utenfor pga. reguleringen av Pasvikelva. Påvist kaldt dypvann pga. dypvannsutskiftninger om vinteren skyldes sannsynligvis naturgitte faktorer, muligens forsterket av gruveavgangen. Påvist oksygenvinn i dypvannet i det innerste bassenget kan være naturlig, men lokale menneskeskapte tilførsler kan ha betydning for omfanget, eventuelt forsterket av endret vannutskifting. For å konkludere sikrere kreves et bredere datamateriale. Det har ikke ligget innenfor oppdraget å vurdere om fiskeforekomstene i Langfjorden faktisk har endret seg mer enn andre steder.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fjord 2. Vannutskifting 3. Strømmåling 4. Hydrografi 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fjord 2. Water exchange 3. Current measurement 4. Hydrography
---	--


Birger Bjerkeng
Prosjektleder


Jan Magnusson
Forskningsleder


Bjørn Braaten
Forskningsjef

Vurdering av vannutskifting i Langfjorden ved Kirkenes

Betydning av tidligere avgangsdeponering i området

Forord

Sydvaranger ASA ved dir. Ragnar Østby har etter krav fra Statens forurensningstilsyn (SFT) bedt Norsk institutt for vannforskning (NIVA) vurdere hvordan vannkvalitet og vannutskifting i Langfjorden er påvirket av oppfylling i den ytre delen av fjorden av gruveavgang fra tidligere gruvedrift. Denne rapporten inneholder en slik vurdering, basert på sammenstilling av tilgjengelig informasjon fra forskjellige kilder supplert med data fra et kortvarig feltarbeid i august 1999.

Feltarbeidet ble noe utvidet etter avtale med Sør-Varanger kommune som i forbindelse med et kommunalt kloakkutslipp ønsket en undersøkelse av vannkvaliteten i indre deler av Langfjorden ut over det som var planlagt i undersøkelsen for Sydvaranger ASA. Resultatene herfra er også inkludert i denne rapporten, men de vil bli nærmere kommentert i en separat vurdering for kommunen.

Oppdragsgiver takkes for et positivt samarbeid. Spesielt skal nevnes Arne Gustavsen ved Sydvaranger ASA som tilrettela for feltarbeidet på en utmerket måte. Asbjørn Dal, som var båtfører under feltarbeidet, takkes for stor innsats og god hjelp ved den praktiske planleggingen og gjennomføringen av arbeidet.

Sør-Varanger kommune ved VAR-etaten og Plan- og utbyggingsetaten har gitt opplysninger og detaljkart som var til stor hjelp for prosjektet. Vi har også fått verdifull bakgrunnsinformasjon fra Pasvik Kraft og Finnlands miljøsentral.

Vannanalysene er utført ved NIVAs analyselaboratorium. Brage Rygg har analysert bunnprøvematerialet. Ellers er oppdraget utført av undertegnede som prosjektleder. Kvalitetssikrer ved NIVA har vært Jarle Molvær.

Oslo, 16.12. 1999

Birger Bjerkgeng

Innhold

1. Innledning	13
2. Problemstilling	13
3. Faglig fremgangsmåte	14
4. Bakgrunnsdata	14
4.1 Beliggenhet - topografi	14
4.1.1 Ytre del - utenfor Strømmen bru	16
4.1.2 Fjorden innenfor Strømmen bru	18
4.1.3 Arealer og volumer for de ulike fjordavsnitt	18
4.1.4 Terskler og strømtverrsnitt	20
4.2 Lokalt nedbørsfelt - ferskvannstilrenning til Langfjorden	22
4.3 Lokale forurensningstilførsler til Langfjorden	23
4.4 Ferskvannstilførsel til fjorden utenfor - Pasvikelva	24
4.5 Tidligere undersøkelser av vannkvalitet i Langfjorden	25
4.6 Tidligere undersøkelser av sjiktning i Bøkfjorden	27
4.7 Tidligere undersøkelse av bunnsedimenter	28
5. Feltarbeid i august 1999 - materiale og metoder	28
5.1 Kontinuerlige målinger av vannstand og strøm i faste målepunkter	28
5.1.1 Vannstandsmålinger	28
5.1.2 Kontinuerlig måling av strøm i faste punkter	29
5.2 Måleprogram 26. og 27. august	31
6. Feltarbeidet i august 1999 - resultater	36
6.1 Værforhold og ferskvannstilførsel under feltarbeidet	36
6.2 Vannstandsmålinger	37
6.3 Kontinuerlige strømmålinger	39
6.4 Dypprofiler av temperatur, saltholdighet, oksygen og strøm	42
6.4.1 CTD-profiler	42
6.4.2 UCM-40 strøm-og sjiktningssprofiler	45
6.5 Oksygenmålinger	52
6.6 Næringssalter og organisk stoff	52
6.7 Bunnprøve	55
7. Analyse av vannutveksling og dypvannsfornyelse i Langfjorden - vurdering av slambankens betydning	56
7.1.1 Strømbildet i ytre fjord ved ulike tidevannsfaser	56
7.1.2 Terskeldyp i Storstraumen beregnet ut fra strømdata	57

7.1.3	Uttekslingen av overflatelaget i indre deler av Langfjorden	58
7.1.4	Dypvannsutskifting i bassengene innenfor Strømmen bru	60
8.	Sammenfatning og konklusjon	62
9.	Litteratur	65
Vedlegg A.	Detaljer om målemetodikk	66
A.1.	Bearbeiding av data fra Seacat SBE 19 CTD	66
A.2.	Bearbeiding av strøm- og sjiktningmålinger med UCM-40	67
A.3.	Vannprøver - prøvetakingsmetoder og analysemetoder	68
Vedlegg B.	Detaljert oversikt over måleprogrammet i august 1999	77
B.1.	Utplassering av instrumenter for kontinuerlige målinger av vannstand og strøm.	77
B.2.	Måleprogram 26-27. august - profiler av salt, temperatur, oksygen og strøm, siktedyp og vannprøver.	78
B.3.	Hydrokjemi - analyseresultater for vannprøver	81
Vedlegg C.	Sjiktning og oksygen målt med Seacat SBE 19 CTD	82
Vedlegg D.	UCM-40 sjiktning- og strømprofiler	87
Vedlegg E.	Kommentarer til resultatene	99
E.1.	Nøyaktighet i oksygensonden på Seacat CTD - korreksjon av verdier	99
E.2.	Kalibrering av UCM-40 mot Seacat CTD - korreksjon av temperaturverdier	99
E.3.	Forkastede måleresultater fra STD-sonde ved posisjon STD2	100
Vedlegg F.	Avkjøling av dypvann ved innstrømning over grunnområder om vinteren - et regneeksempel.	101

Sammendrag

Ytre del av Langfjorden sørvest for Kirkenes er delvis gjenfylt av avgangsdeponier fra tidligere gruvedrift ved Sydvaranger ASA, og det er bare en forholdsvis smal og grunn forbindelseskanal gjennom deponiet. Det er blitt hevdet at innsnevringen i Langfjorden pga. gruveavgangen begrenser vannutskiftingen i fjorden innenfor, og at dette har ført til negative konsekvenser for fisket i fjorden. Bedriften har bedt NIVA vurdere betydningen av gruveavgangen for vannutskiftingen.

Langfjorden er fra naturens side en utpreget terskelfjord, med dypområder som er delt i to avsnitt og avstengt mot fjordområdene utenfor av smale og grunne sund. Vannutvekslingen er derfor naturlig begrenset. Gruveavgangen ligger i området utenfor den ytterste av disse tersklene, og kan i prinsippet tenkes å påvirke vannutvekslingen både kvantitativt og kvalitativt.

Rapporten tar sikte på å belyse følgende spørsmål gjennom analyse av eldre data og data innsamlet ved feltarbeid i august 1999:

- Hvordan strømforhold, vannutveksling og vannkvalitet er i dag.
- Hvilken virkning den deponerte gruveavgangen har for disse forholdene sett i relasjon til andre begrensninger på vannutvekslingen.
- Hva som eventuelt kan gjøres for å bedre forholdene, dersom det er slik at gruveavgangen har en negativ virkning.

Følgende faktorer er også vurdert:

- Tetthetssjiktningen i Bøkfjorden, som vannet i Langfjorden utveksles med. Den dominerende ferskvannskilden i Bøkfjorden er Pasvikelva og endret vannføringsmønster her i forbindelse med kraftutbygging må tas i betraktning.
- Endringer i lokale ferskvannstilførsler eller forurensningstilførsler. Det slippes ut kommunalt avløp i fjorden, og det bør vurderes om endringer her over tid kan ha hatt betydning.
- Partikkelspredning fra gruveavgangen til bunnsedimentene innenfor terskelen ved Strømmen bru i den perioden den gikk til Langfjorden med eventuell virkning på bunnfauna og fødetilgang for fisk.

Vannutvekslingen i indre deler av Langfjorden vil bestemmes av samvirket mellom i hovedsak tre faktorer:

- Hvordan randbetingelsene - spesielt tetthetssjiktningen - varierer på utsiden
- Blandings- og transportprosesser inne i fjorden
- Begrensninger i transporter mellom ytre områder og de indre delene av fjorden

Vannutvekslingen er dominert av tidevannet. Tidevannsforskjellen på utsiden kan være over 3 m. På innsiden av Storstraumen er variasjonene dempet til ca. 40 cm, og med stor faseforsinkelse. Storstraumen har utstrømning over det meste av tidevannssyklusen. I siste halvdel av denne utstrømningen vil det også strømme inn vann utenfra til området mellom brua og slambanken. I tiden omkring høyvann på utsiden vil den resulterende blandingsvannmassen strømme inn i Storstraumen.

Med den topografi fjorden har, og gitt randbetingelsene med stor ferskvannspåvirkning på utsiden, er det naturlig at det dannes et brakkvannslokk over dypvannet, som blir stagnant i lengre eller kortere perioder. Lokal ferskvannstilførsel kan være av sekundær betydning generelt, men kan ha stor betydning i flomperioder.

Det riktignok spinkle datamaterialet indikerer at fjordens overflatelag er moderat påvirket av kommunalt avløp. Det var riktignok lavt siktedyp, kanskje pga. humuspåvirkning, men tilstanden i overflatelaget ellers ser stort sett ut til å være ganske god. Oksygenforholdene var bra i dypvannet i dypbassenget mellom Strømmen og Sandnes, men det innerste bassenget var oksygenfritt i bunnvannet i august 1999. Det kan forekomme helt naturlig for den gitte fjordtopografien, men de

menneskeskapt tilførselene er så store at de kan ha betydning for hyppighet og omfang av slike problemer. I den grad gruveavgangen fører til opphopning av brakkvann som har strømmet ut i Storstraumen, og derved større tilbakeføring inn i Langfjorden, kan det forsterke virkningen av kloakktilførselene.

En bunnprøve fra det dypeste dypområdet innenfor den naturlige terskelen ved Strømmen bru tyder ikke på at lokaliteten i det nordlige dypområdet i Langfjorden er påvirket av sterk oksygenmangel eller andre ugunstige betingelser.

Målingene i august 1999 har vist at slambanken slik den er i dag iallfall delvis virker som en sperre for tungt vann under sprangsjiktet, slik at det i mindre grad trenger inn mot det området som innstrømningen gjennom Storstraumen trekkes fra. Resultatet kan være mindre vertikalblanding i fjorden og at det går lengre tid mellom dypvannsfornyelsene.

En dypere kanal gjennom slambanken vil ganske sikkert gi mer salt, tungt vann på utsiden av Storstraumen, iallfall under 2-3 m dyp. Et fritt strømningsstverrsnitt på ca. 100 m² under 2 m dyp med terskeldyp 5-7 m kan være tilstrekkelig til å unngå ulikheter i sjiktning utenfor og innenfor slambanken. Det er imidlertid vanskelig å kvantifisere hva et slikt tiltak vil bety for forholdene inne i Langfjorden. Det vil uansett være markert sjiktning i Langfjorden, og det naturlige grunnområdet ved Beddari vil også virke begrensende på innstrømning av saltere vann.

Endringer i ferskvannspåvirkningen på utsiden gjennom den utstrakte reguleringen av Pasvikelva i perioden 1950-1980 kan ha bidratt til å gi sterkere og jevnere tetthetssjiktning i Langfjorden nå enn tidligere, og det gjør det mer usikkert i hvilken grad en dypere kanal kan bidra til å reversere eventuelle endringer i vannutskiftningsmønsteret.

Lave temperaturer i dypvannet i de indre bassengene tyder på vinterutskiftninger uten videre fornyelse om sommeren. Dypvannsfornyelser er betinget av at brakkvannslaget er tynnere enn vanlig utenfor, slik at tyngre vann kommer opp mot terskeldyp og kan strømme inn i fjorden. Det kan indikere at lokal ferskvannstilførsel, som er lav om vinteren, har vesentlig betydning for brakkvannsdannelsen i Langfjorden. Dersom Pasvikelva er avgjørende, burde ikke vinterperioden være så spesiell, og eventuelle endringer over tid burde heller gå i retning av mindre dominans av vinterutskiftninger enn før. Et mønster med utskiftning av dypvannet om vinteren kan også henge sammen med mindre lagdeling i Bøkfjorden ved gitt ferskvannstilførsel, pga. avkjøling og vindpåvirkning. Det er også mulig at redusert tidevannsprisme pga. islegging gir økt mulighet for tolags-transport og innstrømning av saltere, tyngre vann.

Disse faktorene er uavhengig av slambanken, men det kan være at den forsterker en tendens til utskiftning om vinteren pga. større opphopning av brakkvann i systemet i andre perioder. Dessuten kan den ha tenkes å føre til at vann på vei inn avkjøles ca. 0.5 °C om vinteren fordi det bringes opp mot overflaten, slik at dypvannet blir kaldere.

På bakgrunn av disse vurderingene kan følgende konklusjoner trekkes:

- Slambanken har ingen betydning for hvor store vannmengder som transporteres inn og ut av Langfjorden ved Strømmen bru med tidevannet. Volumtransporten her begrenses kun av bredde og terskeldyp i kanalen ved Strømmen bru.
- Slambanken kan iallfall til tider begrense innstrømningen av salt, tungt vann til området utenfor Strømmen bru. En utvidelse og fordypning av kanalen gjennom slambanken til strømningsstverrsnitt ca. 100 m² under 2 m dyp, med terskeldyp 5-7 m under sjøkart nullnivå, vil gi større mengder salt, tungt vann inn til området rett utenfor Strømmen bru, slik at sjiktningen blir som den ville vært uten slambanken. Det kan i sin tur bidra til gjennomsnittlig saltere innstrømningsvann og hyppigere forekomst av nytt tungt vann videre inn i fjorden forbi Storstraumen. Hvor stor endringen blir, kan ikke bedømmes på eksisterende datagrunnlag.
- Dersom det har skjedd endringer i vannutvekslingen, kan det også være en følge av reguleringen av Pasvikelva, som må antas å ha gitt mer permanent brakkvannspåvirkning utenfor.
- Forekomst av kaldt dypvann pga. dypvannsutskiftninger om vinteren skyldes mest sannsynlig naturgitte faktorer, men kan muligens være forsterket av gruveavgangens virkning på vanntransportene.

- Påvist oksygensvinn i dypvannet i det innerste bassenget kan være naturlig, men lokale menneskeskapt tilførsler kan ha betydning for omfanget, eventuelt forsterket av endret vannutskifting.

For å konkludere sikrere kreves et bredere datamateriale.

Bakgrunnen for arbeidet var oppfatninger fra enkelte hold om at fiskeforekomstene i fjorden er blitt mindre sett over tid, og at det henger sammen med dårligere vannutskifting pga. slambanken. Det har ikke ligget innenfor oppdraget å vurdere om fiskeforekomstene i Langfjorden faktisk har endret seg mer enn andre steder. Mulige endringer som det er aktuelt å ta i betraktning ved en slik vurdering er bl.a. redusert saltholdighet i overflatelaget, mindre vertikalblanding, dvs. mindre transport av næringsrikt dypvann opp i produksjonslaget, lav dypvannstemperatur (<1 °C) gjennom sommeren, eller økt hyppighet og utbredelse av oksygenmangel i dypvannet. De bunnprøver som hittil er tatt, gir ikke grunn til å hevde at spredning av partikler fra gruveavgangen har påvirket bunnforholdene negativt. Det må presiseres at det tilgjengelige dataomfanget ikke gir grunnlag for å avgjøre om endringer som nevnt ovenfor faktisk har skjedd.

Summary

Title: Evaluation of water exchange in Langfjorden at Kirkenes in Northern Norway. The influence of earlier mine tailings deposits in the area.

Year:1999

Author: Birger Bjerkgeng

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3730-5

The outer part of Langfjorden south west of Kirkenes in Northern Norway is partly filled with mine tailings deposits from the earlier mining activities at Sydvaranger ASA, and there is only a relatively narrow and shallow channel past the mine tailing deposits. It has been claimed that this limits the water exchange of the fjord inside, and that this has led to negative consequences for the fishing in the fjord. The mining company has asked NIVA to make assess the importance of the deposits for the water exchange.

Langfjorden is a natural sill fjord, with two deep basins closed off from each other and from the fjord outside by narrow and shallow openings. The water exchange is therefore limited due to natural conditions. The mining deposits are found in the area outside the outermost of these sills and may in principle influence the water exchange both quantitatively and qualitatively.

The report aims to contribute to answer the following questions through analysis of previously available data and data collected through field work in August 1999:

- How current systems, water exchange and water quality are today.
- How the mine tailings influence conditions compared to other limitations on water exchange.
- What can be done to improve conditions if the mine tailings have a negative impact.

In addition, these factors have been evaluated:

- Density stratification in Bøkfjorden outside, with is the exchange area for Langfjorden. The dominant fresh water source to Bøkfjorden is the river Pasvik, and changed runoff seasonal patterns due to power production must be taken into account.
- Changes over time in the local freshwater and sewage discharge.
- Dispersion of particles from the mine tailings into the inner basins and possible effects on bottom fauna

The report first presents background information about the fjord, and summarises previously existing data that can contribute to through light on the issues. Based on this information, measurements of currents, salinity, temperature, nutrient contents and oxygen levels were done in Langfjorden from August 25 to August 28 1999.

The water exchange of the inner basins in Langfjorden will be determined by the interaction of primarily three factors:

- How boundary conditions - in particular the density stratification - vary in Bøkfjorden outside of the deposits.
- The mixing and transport processes within the fjord.
- Limitations in transports between deep basins and the fjord outside.

The assessments in this report is based on 2 to 3 days measurements supplemented by data from previous short term studies at a few occasions earlier. The fjord inside Storstraumen has residence times of months or years and the available data thus cannot give a full picture of water exchange and water quality in these basins. They do suffice to say something about the transport between the inner and outer part of the fjord, and to clarify the problems issues that need to be answered.

The water exchange is dominated by the tides. The tidal water level difference in Bøkfjorden outside can be up to 3 m. The tidal variation is damped to 40 cm inside the sill at Storstraumen (Strømmen bridge), and with a large phase lag. Storstraumen has outflow over most of the tidal cycle. In the last half of this period, the area between the bridge and the tailings will fill up with water from both directions. The resulting mixed water mass will then flow into the inner basins during the period around high tide in the outer area.

Given the topography of the fjord and the boundary conditions with large freshwater discharge to Bøkfjorden outside, it is natural that there is a lid of brackish water over the deep layers, which then are stagnant for longer or shorter periods. Local freshwater discharge may be of secondary importance generally, but can be more important in flood situations.

The sparse data that exist indicates that the surface layers of the fjord is moderately affected by local municipal discharges. The transparency (secchi-depth) is low, maybe due to humus, but otherwise the conditions of the surface layer is fairly good. Oxygen conditions were good in the deep layers of the outer of the two deep basins, but the innermost basin had virtually no oxygen in the bottom layer. This may occur under natural conditions given the fjord topography, but anthropogenic discharges are so large that they may be important for frequency and extent of oxygen problems. To the extent that the mine deposits lead to accumulation of brackish water that has flowed out from Langfjorden with subsequent return into the fjord during inflow, this may increase the problems due to sewage discharge.

A bottom sediment sample from the deepest part of the basin inside Storstraumen did not show any signs of strong oxygen deficit or other unfavourable conditions for bottom fauna.

Measurements from August 1999 has shown that the tailing deposits as they are distributed today at least at times will act as a block and prevent denser water from entering the area just outside the sill at the bridge. The result may be stronger stratification and lower vertical mixing in the fjord inside and longer stagnation periods for the deeper waters.

Digging a deeper channel past the tailings will lead to more saline, dense water outside Storstraumen, at least up to depth 2-3 m below low tide. A cross-section of about 100 m² below 2 m depth with a sill depth of 5-7 m may be sufficient to avoid differences between stratification outside and inside the tailings. It is, however, difficult to quantify what such a measure will mean for conditions inside the sill. It will probably always be a marked stratification in the inner basins, and the natural shallow area between the bridge and the tailings will limit inflow of saline water.

Changes in freshwater influence in the fjord outside due to regulation of the river Pasvik may have contributed to stronger and more sustained density stratification in Langfjorden than in previous times. This makes it even more uncertain whether changes that may have occurred can be reversed by a deeper channel through the tailings.

Low temperatures in the deep waters in the inner basins indicate that deep-water renewals take place in winter, and without any further exchange during summer. Deep-water renewals depend on a thin brackish layer outside, so that denser water can flow over the sill. This might indicate that local freshwater discharge may be important, since that must be assumed to be low during winter. If the freshwater from river Pasvik to the fjord outside were important, the winter period should not be so special, and any changes over time should be in the direction of less dominant winter renewals. A pattern with winter deep-water renewals may also be due to less stratification at a given freshwater discharge because of cooling and wind mixing in winter. A reduced tidal volume due to ice cover on the inner basins could possibly give better possibilities for two-layer transport and inflow of saline, dense water.

These factors are independent of the presence of the tailings deposits, but the tailings might increase a tendency to winter renewal because of larger accumulation of brackish water at other seasons. Additionally, it could lead to extra cooling of water entering the fjord during winter because the water has to flow closer to the surface over the banks of mine tailings, resulting in colder deep water in the inner basins.

Based on this evaluation the following conclusions can be drawn:

- The tailings have no effect on how much water flows in and out of Langfjorden at Strømmen bru with the tide. The volume flux at this point is determined only by the width and sill depth in the natural channel at Strømmen bridge.
- The tailings deposits may at times limit the inflow of saline, denser water to the area outside the bridge at Strømmen. If the channel is expanded and deepened to a cross-section of 100 m² below 2 m depth, with sill depth 5-7 m under chart zero level (spring low tide), larger amounts of saline water will enter this area. The same density stratification will then probably become approximately as it were before the tailings were deposited. This may in turn lead to more saline water flowing into the fjord on average, and more frequent renewals of deep waters inside. The effect cannot be quantified based on existing data.
- If water renewal has changed, this may also be an effect of the regulation of river Pasvik for power production, which assumedly has led to more permanent brackish water outside.
- The occurrence of cold deep-water due to water renewals in winter probably is a nature-given pattern, but could be somewhat increased by the effects of the tailings on water transport.
- Observed oxygen deficit in the bottom layer of the inner basin may be naturally occurring, but local sewage discharges may be important for frequency and extent of the problem, possibly also by changes in water renewal patterns.

A more definite assessment requires more data.

The background for this study was claims that fishing stocks in the fjord have been diminished and that this is connected to reduced water exchange due to the blocking effect of the tailings. It has not been within the assigned task to assess whether fish stock in Langfjorden actually has changed more than at other locations. Possible changes that should be evaluated in such an assessment are: Reduced salinity in the surface layer, less vertical mixing, i.e. less transport of nutrients to the production layer, lower deep-water temperature (<1 °C) throughout summer, and increased frequency and extent of low oxygen levels. There is no indication that particle dispersion from the mine deposits has influenced the bottom conditions unfavourably in the deep basins in Langfjorden. It should be emphasised that there is not sufficient data available to assess whether changes as mentioned above actually has taken place.

1. Innledning

Den ytre del av Langfjorden sørvest for Kirkenes er delvis gjenfylt av avgangsdeponier fra gruvedriften ved Sydvaranger ASA, og det er bare en forholdsvis smal og grunn forbindelseskanal gjennom deponiet. Det er opplyst fra bedriften at deponeringen i dette området i hovedsak pågikk til 1972. Fra da og frem til gruvedriften opphørte for få år siden ble avgangen sendt ut på større dyp i Bøkfjorden som ligger utenfor Langfjorden. Ifølge Tesaker (1978) ble deponeringsstedet også brukt i noen grad frem til 1978.

Det er blitt hevdet at innsnevringen i Langfjorden pga. gruveavgangen hindrer vannutskiftingen i fjorden innenfor, og at dette har ført til negative konsekvenser for fisket i fjorden. SFT har bedt bedriften fremlegge en redegjørelse for hvilken betydning innsnevringene i den ytre del av Langfjorden har for vannmiljøet og vannkvaliteten i fjordsystemet, samt presentere tiltak som kan gjøres for å oppnå miljøforbedring, og drøfte fordeler og ulemper ved tiltakene. Sydvaranger ASA har bedt NIVA vurdere betydningen av gruveavgangen for vannutskiftingen.

2. Problemstilling

Langfjorden er fra naturens side en utpreget terskelfjord, med store dypområder som er delt i to avsnitt og avstengt mot fjordområdene utenfor av smale og grunne sund. Vannutvekslingen er derfor naturlig begrenset. Gruveavgangen ligger i området utenfor den ytterste av disse tersklene, og kan i prinsippet tenkes å påvirke vannutvekslingen både kvantitativt og kvalitativt.

Det er flere faktorer som kan ha betydning når en skal vurdere vannkvaliteten i et slikt fjordsystem.

For det første kan vannutvekslingen i overflatelaget være så sterkt begrenset at vannkvaliteten innenfor blir preget av lokale forurensningstilførsler. For store næringsstofftilførsler i forhold til vannutvekslingen kan gi utslag i lokale blomstringer av planktonalger, og gi redusert sikt i overflaten og organisk belastning på dypvannet av dødt organisk materiale som synker ut. I den sammenhengen kan også utskiftningshyppigheten av dypvannet være avgjørende. Dype fjorder med grunne terskler er ofte preget av lange perioder hvor oksygenet brukes opp i dypvannet mens tettheten avtar langsomt pga. vertikalblanding, avbrutt av episodiske fornyelser med friskt dypvann utenfra i situasjoner med salt og tungt vann i overflaten utenfor. I såfall vil fornyelsen av dyplagene, og ikke bare utskiftingen av overflatelaget, være viktig for forholdene i fjorden. Oksygeninnholdet er i åpne farvann vanligvis rundt 6-8 ml/l. Hvis det reduseres til under 2 ml/l, vil det etterhvert bli for lavt for fisk og andre høyere organismer. Dypvannet kan også bli helt oksygenfritt og uten liv, evt. med utvikling av sulfid. Også uten særlige lokale forurensningstilførsler kan det tenkes at den naturlige produksjonen i overflatelaget med derav følgende nedsynkning av organisk stoff til overflaten blir for stor i forhold til oksygentilgangen ved fornyelse av dypvannet. For lave temperaturer i dypvannet kan også tenkes å ha betydning for om fisk trives i området.

Det er imidlertid ikke gitt at økt planktonproduksjon medfører problemer. Hvis dypvannsutskiftingen gjennom vertikalblanding og utskifting med friskt vann utenfra er tilstrekkelig, slik at oksygeninnholdet blir tilstrekkelig høyt, kan det tvert i mot tenkes at økt primærproduksjon er en positiv faktor som bidrar til økt forekomst av zooplankton og derved også økt forekomst av fisk, fordi tilgangen på føde blir bedre. I den sammenhengen kan nettopp innsnevringer og terskler bidra til at næringsrike vannmasser fra dypere lag blandes opp i overflatelaget i forbindelse med inn- og utstrømmingen, og derved faktisk øke produksjonen i forhold til områdene ellers.

De spørsmål som primært ønskes belyst blir da:

- Hvordan strømforhold, vannutveksling og vannkvalitet er i dag.
- Hvilken virkning den deponerte gruveavgangen har for disse forholdene sett i relasjon til andre begrensninger på vannutvekslingen.
- Hva som eventuelt kan gjøres for å bedre forholdene, dersom det er slik at gruveavgangen har en negativ virkning.

Mer generelt kan en også spørre hvilke andre faktorer som kan ha endret forholdene over tid. Det er da nærliggende å se på tre faktorer.

- Én mulig faktor er tetthetssjiktningen i Bøkfjorden, som vannet i Langfjorden utveksles med. Den dominerende ferskvannskilden i Bøkfjorden er Pasvikelva, og det meste av vannføringen i Pasvikelva stammer fra Enare-sjøen, som er sterkt regulert. Det kan tenkes at endret vannføringsmønster i Pasvikelva i forbindelse med kraftutbyggingen har gitt endrede sjiktningforhold i fjorden utenfor med betydning for utskiftningen.
- En annen mulig faktor er endringer i lokale ferskvannstilførsler eller forurensningstilførsler. Det slippes ut kommunalt avløp i fjorden, og det bør vurderes om endringer her over tid kan ha hatt betydning.
- Det kan heller ikke i utgangspunktet utelukkes at gruveavgangen, i den perioden den gikk til Langfjorden, kan ha påvirket bunnsedimentene innenfor terskelen ved Strømmen bru Langfjorden via partikkelinnhold i innstrømmende vann, slik at bunnen nå er mindre egnet substrat for bunnfauna, og derved gir dårligere fødetilgang for fisk.

3. Faglig fremgangsmåte

Denne rapporten presenterer først en del bakgrunnsinformasjon om fjorden, og ser på eksisterende data som kan bidra til å belyse problemstillingen. Det gjelder data om topografi, ferskvannstilførsel lokalt og til fjordsystemet utenfor. Dessuten er relevante resultater fra tidligere undersøkelser i fjordområdet gjennomgått. Presentasjon og analyse av de eksisterende data finnes i kapittel 4.

På bakgrunn av disse opplysningene ble det utført et feltarbeid i Langfjorden i tidsrommet 25.-28. august 1999. Kapittel 5 beskriver måleprogrammet og metoder nærmere, og resultatene er for det meste beskrevet i kapittel 6 og i vedlegg. Når det gjelder oppmåling av bunn-dyp er det imidlertid også tatt med i kapittel 4.1 i sammenheng med tidligere data. Kapittel 7 gir en sammenfattende analyse, og konklusjoner og anbefalinger gis i kapittel 8.

4. Bakgrunnsdata

4.1 Beliggenhet - topografi

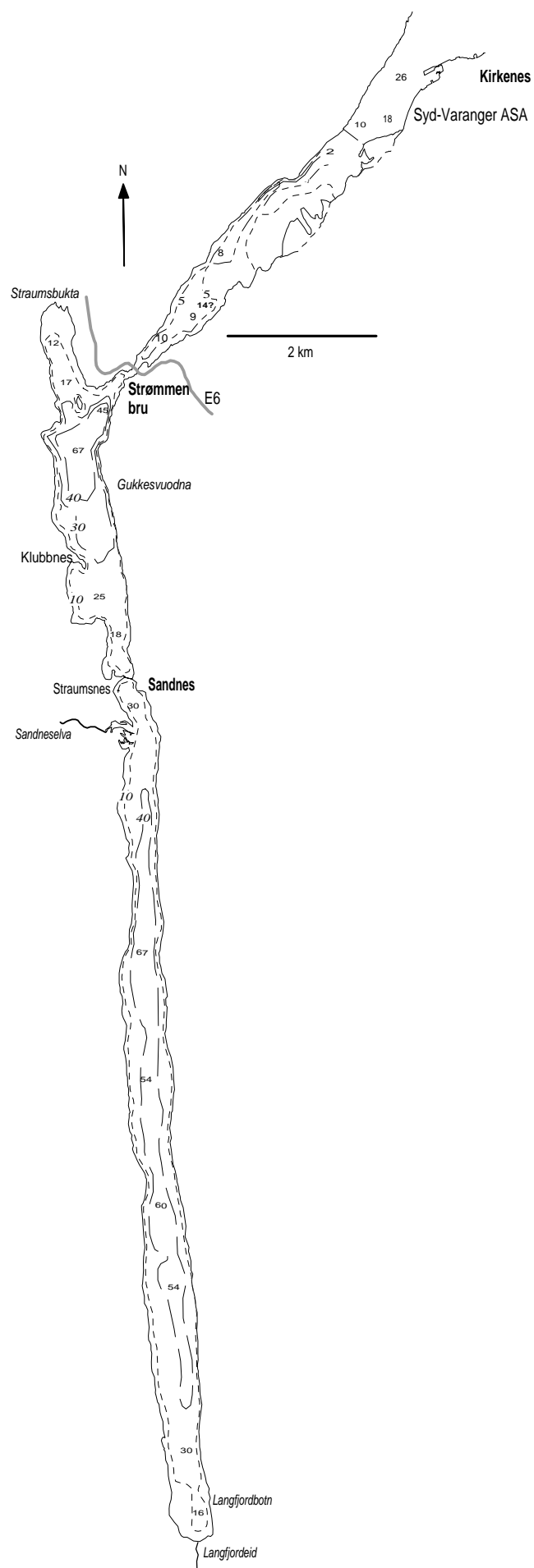
Langfjorden sørvest for Kirkenes er en sidearm til Bøkfjorden, som igjen munner ut i Varangerfjorden. Langfjorden er lang og smal, og ca. 70 m dyp på det meste.

Figur 1 viser et kart over hele fjorden. Fjorden er naturlig delt inn i tre hovedavsnitt ved innsnevring og grunne terskler ved Strømmen bru og ved Sandnes.

Data om topografien er basert på sjøkart og fra oppmåling av antatt begrensende kanaltverrsnitt i ytre del av fjorden i oktober 1998 (Se nedenfor). Dette ble supplert under feltarbeidet i august 1999 med grovmåling ved ekkolodd i områdene omkring slambanken. Til sammen gir dette grunnlag for beskrive areal- og volumforhold og transportverrsnitt med betydning for vanntransporten. Detaljer er gitt i etterfølgende underkapitler.

Der det ikke sies noe annet, vil dyp som oppgis i denne rapporten for området mellom Strømmen bru og Kirkenes referere til nullnivå for sjøkart, dvs. vårjevndøgns spring lavvann, for Varangerfjorden og Bøkfjorden. Noen høydeangivelser fra en oppmåling av kanalene i ytre del av fjorden kan referere til NGO-nullpunkt. I følge tidevannstabellen ligger NGO-nullpunktet ca. 2 m over nullnivå for sjøkart (Vardø 199 cm). Slike høyde- og dybdeangivelsene er da justert til sjøkartnull i figurer og tabeller i denne rapporten.

I følge Sjøkartverkets tidevannstabeller varierer lavvannstand fra 50 til 110 cm over sjøkartnull ved Kirkenes. Middelvannstand er 186 cm og høyvann varierer fra 262 til 372 cm over sjøkartnull. Middelvannstand ligger altså forholdsvis nær NGO-nullpunkt.



Figur 1. Kart over Langfjorden med data om topografi tegnet inn.

Målestokk og retningspil er angitt i øvre del av kartet

For fjorden innenfor Strømmen bru ligger både middelvannstand og lavvannstand høyere enn i området utenfor brua. Ut fra feltobservasjonene i august 1999 kan det anslås at lavvannstand i de indre delene av Langfjorden ligger ca. 2.1 meter over sjøkartnull ved Kirkenes (se side 38). De dyp som angis på sjøkart vil likevel referere til det generelle nullnivået i området (Olav Haugen ved sjøkartverket, pers. medd.). I denne rapporten følges den samme praksis der det ikke spesielt sies noe annet. Innenfor Strømmen bru vil det faktiske dypet i forhold til vannflaten alltid være minst 2 meter større enn angitt dyp i forhold til referansenivå.

4.1.1 Ytre del - utenfor Strømmen bru

Den ytre delen av fjorden, dvs. munningen ut mot Bøkfjorden, strekker seg fra Kirkenes og inn til Strømmen bru (Storstraumen). Dette fjordavsnittet ca. 5 km langt, og ca. 500 m bredt over det meste av lengden, med noen innsnevring der bredden er 300 m ved høyvann, ca. 100 m ved lavvann. Området er vist mer detaljert på kart i Figur 2.

Samlet overflateareal fra Melkberget og inn til Strømmen bru kan anslås til litt under 1 km² ved lavvann, ca 1.3 km² ved middelvannstand og opp mot 1.5 km² ved høyvann. Området har sammensatt bunntopografi, med store grunnområder pga. deponering av gruveavgang. Tilgjengelig kartmateriale¹ viste deponert gruveavgang i to områder langs sørsiden av fjordavsnittet som vist på figuren. Sjøkartverket sluttet å tegne inn dybdekoter i dette området i den perioden da deponeringen foregikk, og har det heller ikke med i dagens sjøkart. Området er bare vist med skravering på sjøkartet, for å vise at seilingsdyp ikke er definert (Olav Haugen, Sjøkartverket, pers. medd.). Bunntopografi er imidlertid tegnet inn på eldre sjøkart og på eksisterende topografisk landkart i hovedserien (kart 2434 III Høybukta). Slambanken er dessuten avmerket mer detaljert på kommunens 1:5000-kart, hvor strandlinjen antas å følge NGO-nullnivå, ca. 2 meter over sjøkartnull springlavvann (sjøkartnull). Topografien er nedenfor beskrevet ved å kombinere tilgjengelige opplysninger, inkludert resultatene av måling med ekkolodd som ble gjort under feltarbeidet i august 1999. Topografien kan antagelig endre seg noe over tid fordi avgangen kan flytte litt på seg.

Én synlig slambanke ligger ganske langt ute, rett overfor Melkberget, ca. 4 km utenfor Strømmen bru. Den er avgrenset av en steinfylling langs kanten mot fjorden, og snevrer inn fjorden til ca. 300 m bredde ved middelvannstand. Største dyp i det åpne tverrsnittet minsker innover langs denne slambanken fra omkring 30 m rett ut for Sydvaranger ASA til ca. 3 meter ut for Melkberget.

Det meste av avgangen ligger fordelt fra denne banken og videre innover i ca. 2 km lengde på sørsiden av fjorden, til Ytrenes. Kommunens kart viser en slambanke som når opp i 3-5 meters høyde over nullnivå på det meste, og som ved høyvann snevrer inn fjorden til ca. 300 m også her. Denne banken er ikke klart avgrenset, og fortsetter med en grunne som strekker seg videre nordover, slik at det ved lavvann bare er en åpen kanal langs nordsiden av fjordavsnittet omkring Hamnes. I dette området ble kanalen målt opp i oktober 1998 ved lavvann av Svendsens oppmåling. Kanalen er tegnet inn på kartet i Figur 2 markert med en linje langs største dyp og en linje på hver side som omtrent markerer bredden ved lavvannstand. I følge disse målingene er tverrsnittet bare ca. 100 m bredt ved lavvann (se nedenfor) over en strekning på ca. 1000 m. Dette stemmer godt med det som ble observert i august 1999, men det ble da også registrert en sammenhengende grunne på sørsiden videre ut mot den ytre slambanken. Det dypeste punkt i tverrsnittet ble i august 1999 målt til å variere fra 2-3 meter under sjøkartnull² i den ytre delen til 7-8 meter i den indre delen av kanalen. De grunne partiene som skyldes gruveavgangen utgjør således et sammenhengende område fra litt utenfor Melkberget til Ytrenes.

¹ Sjøkart, topografiske kart, detaljkart 1:5000 fra Sør-Varanger kommune og oppmåling av kanalene utført av Svendsens oppmåling

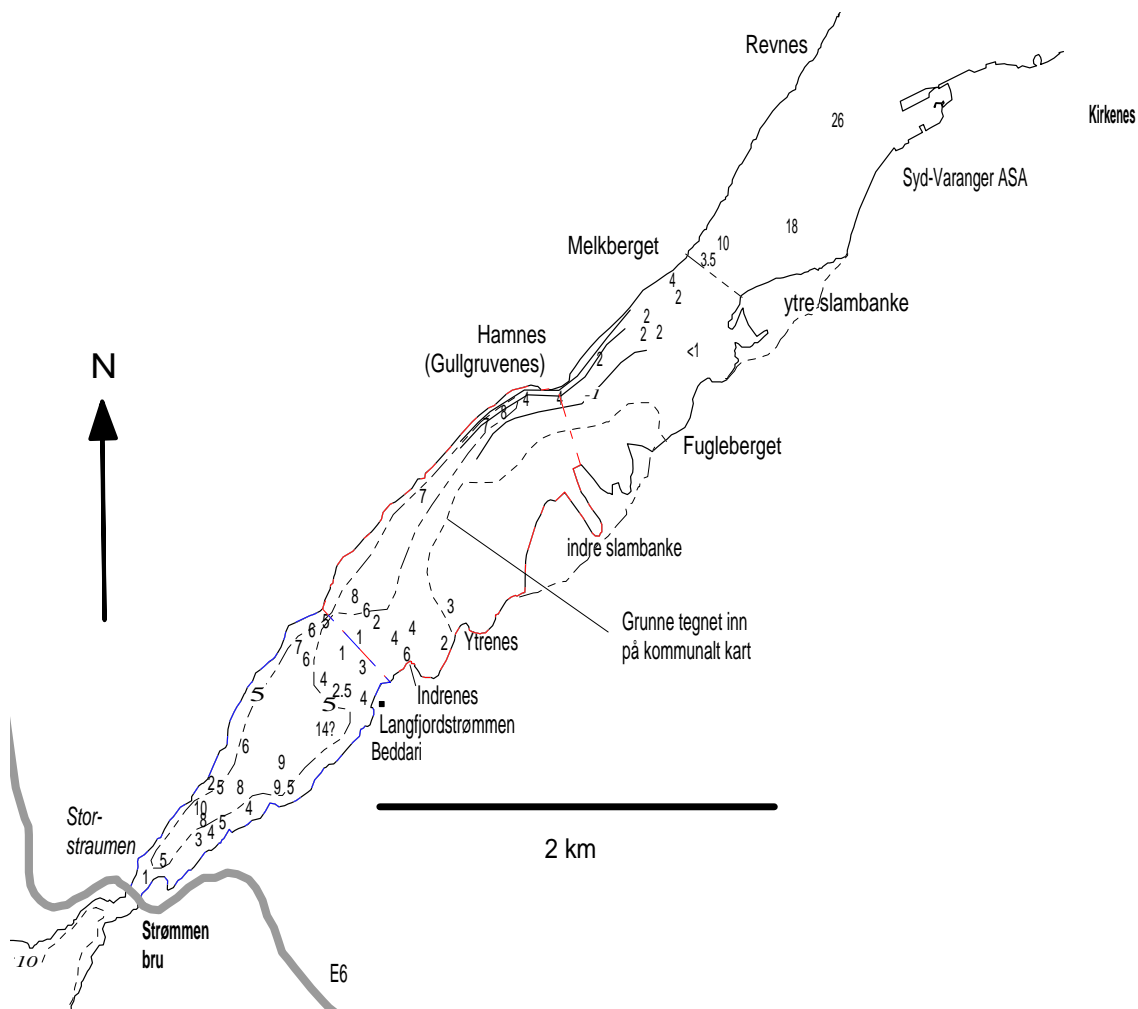
² Svendsens oppmåling anga dyp i forhold til NGO nullpunkt, som ligger anslagsvis 2 meter høyere enn nullnivå for sjøkart, slik at de verdiene som angis her er ca. 2 m mindre. Ved høyvann vil vannstanden utenfor Strømmen bru ligge 2.5 til 3 meter over referansedypet, slik at vanddypet da er tilsvarende mye større enn det som er angitt her.

Det kan bemerkes at topografien i området er vesentlig endret siden 1970-årene, da det ble gjort målinger både av bunntopografi og strøm og tetthetssjiktning i fjorden i forbindelse med studier av transport og spredning av gruveavgang i fjorder (Aure og Tesaker 1975, Tesaker 1978).

I følge Aure og Tesaker (1975) var det i 1970 ennå ganske åpent ved Hamnes, med terskeldyp 10.5 m og bredde ca. 100 m i 6 m dyp.

I 1974 hadde dette endret seg, og det var det et klart begrensende tverrsnittet ved Hamnes med terskeldyp ned mot 7 m i forhold til sjøkartnull, og med ca. 30 m bred åpning i dyp 3.5 m. Innsnevringen gikk over ca. 400 m lengde ved Hamnes (Havneseaset), og var altså fortsatt relativt lokal i forhold til i dag, og terskeldypet var også større enn i dag. Både mellom Melkberget og Hamnes og fra Hamnes inn mot Indrenes lå bunnen 10-13 m under sjøkartnull over en vesentlig del av fjordtverrsnittet.

Målinger fra 1978 som er beskrevet av Tesaker (1978) viste at det hadde skjedd ytterligere endring fra 1974 og frem til da. I 1978 var terskeldypet ved Hamnes bare litt over 5 m og tverrsnittet var nå åpent i 30 m bredde bare ned til dyp 2.5 m. Samtidig var mye av de dypeste partiene ut mot Melkberget og innover mot Ytrenes fylt igjen, slik at det over 1.5 km lengde bare var en smal kanal som var åpen dypere enn 5 m. I følge Tesaker (1978) har det skjedd noe deponering også mellom 1975-1978.



Figur 2. Kart over ytre del av Langfjorden med slambankene. Kanal oppmålt av Svendsens oppmåling i oktober 1998 er tegnet inn ved Hamnes. Dypangivelser refererer seg til sjøkartnull. Stiplede linjer på tvers av fjorden ved Langfjordstrømmen og Hamnes avgrensner områder angitt i Tabell 1.

Hvorvidt det har skjedd deponering etter 1978 er ikke kjent. Hvis ikke, ser det ut til at slambanken er utsatt for erosjon og resuspensjon som over tid endrer topografien. Fra 1970 til i dag har det skjedd en minskning av terskeldypet spesielt i området mellom Hamnes og Melkberget, slik at det nå er et terskeldyp på bare 2-3 m under sjøkartnull, mens det i 1970 var en relativt bred åpning ned til ca. 10 m dyp. Det kan delvis skyldes deponering av masser, og delvis erosjon og resuspensjon av materiale, som har fylt igjen de dypeste partiene.

Innenfor avgangsområdet er det et parti som er ca. 200 m langt og 500 m bredt med litt større dyp, ned til 4-6 m på sørsiden og 7-8 m på nordsiden. Deretter finnes utenfor Beddari (Langfjordstrømmen) et grunt parti i ca. 500 m lengde, 420 m bredt på det smaleste og med dyp 1-2 m under nullnivå i store deler av tverrsnittet ved lavvann. En kanal på nordsiden er ca. 5 m dyp, og det er også litt dypere på sørsiden, ca. 3 m. Innenfor dette grunnområdet følger et ca. 1200 langt parti inn mot Strømme bru hvor bredden avtar gradvis fra 550 m til 200 m og største dyp avtar fra 10 m til 5 m. Ifølge sjøkartene skal største dyp være 14 m på sørsiden, men dette ble ikke funnet ved feltarbeidet i august.

4.1.2 Fjorden innenfor Strømmen bru

Innenfor en smal og grunn forbindelse ved Strømmen bru (Storstraumen) ligger den midtre del av Langfjorden (*Gukkesvuodna*), med et areal på 2.4 km². Største dyp er ca. 70 m, men bare anslagsvis 15 % av bunnarealet ligger dypere enn 40 m. Bassenget er avgrenset i sør av en terskel ved Sandnes (Litlestraumen). Sundet ved Sandnes er anslagsvis 100 meter bredt og ca. 8 m dypt i forhold til vannflaten (dvs. ca. 6 m i forhold til sjøkartnull, se side 16).

Den indre delen av Langfjorden, fra terskelen ved Sandnes og sørover til Langfjordbotn, er ca. 9 km lang. Bredden av fjorden varierer mellom 350 og 750 m og overflatearealet er ca. 4.5 km². Største dyp er 67 m, og anslagsvis 1/3 av bunnen ligger dypere enn 40 m. Denne delen av fjorden mottar ferskvann via Langfjordvatn sør for Langfjordeid i sørenden av fjorden og fra Sandneselva som renner ut på vestsiden av fjorden like sør for terskelen ved Sandnes (Figur 1).

4.1.3 Arealer og volumer for de ulike fjordavsnitt

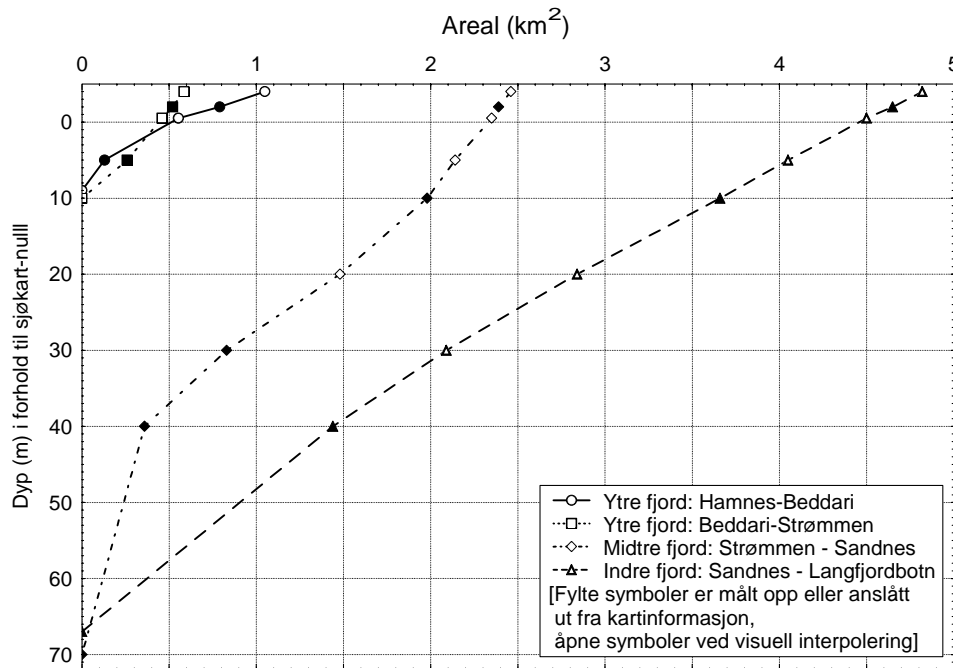
Topografiske data for de ulike fjordavsnittene er vist i Tabell 1 og i Figur 3. Dyp er her angitt i forhold til nullnivå for sjøkart. Middelvannstand på utsiden av Strømmen bru er ca. 1.85 m over dette, omtrent sammenfallende med NGOs nullnivå. For hele indre fjord innenfor Strømmen bru varierer vannstanden mye mindre enn utenfor, og ligger stort sett mellom -2 og -2.5 m, noe varierende med skiftende høyvannstand på utsiden (se kapittel 6.2). Samlet overflateareal innenfor Strømmen bru er ca. 7.1 km². Arealkurvene er vist ekstrapolert til dyp -4 m, dvs. litt høyere enn høyeste høyvannstand (372 cm) ifølge tidevannstabellen.

For ytre Langfjord er arealer angitt for området mellom Strømmen bru og snittet sørover fra Hamnes til slambanken, tegnet inn i Figur 2, og arealet er delt i to ved grunnområdet ved Beddari. I tillegg til arealene i tabellen kommer grunnområdet fra dette snittet og ut til Melkberget, med et areal ved høyvann som er ca. 0.6 km², og med største mindre enn dyp 2 m over det meste av arealet.

Tabell 1. Areal- og volum forhold i de ulike avsnittene av Langfjorden

Tall med **fet** skrift er anslått ut fra kartinformasjon eller oppmåling, resten er anslått ved interpolering (dyp -3 m er ekstrapolert) eller beregnet ut fra de målte størrelsene. Flate-arealer under 10 m dyp er basert på koter som er tegnet inn skjønsmessig ut fra dybdeangivelser i sjøkart. Verdiene er angitt med ett siffer mer enn nøyaktigheten tilsier, for å få frem relative forskjeller.

	Dyp rel. til sjøkartnull (m)	Areal (km ²)	Volum (mill m ³)		
			Volum-element	Sum nedenfra	Tidevannsprisme (3 - 0.5 m)
Ytre Langfjord: (Hammes - Beddari)	-4	1.05	1.8	5.0	2.8
	-2	0.79	1.0	3.1	
	-1	0.55	1.9	2.1	
	5	0.13	0.3	0.3	
	9	0.00			
(Beddari - Strømmen)	-4	0.59	1.1	4.5	1.8
	-2	0.52	0.7	3.4	
	-1	0.46	2.0	2.6	
	5	0.26	0.7	0.7	
	10	0.00			
midtre Langfjord: Strømmen bru - Sandnes (Gukkesvuodna)	-4	2.46	4.9	71.3	8.4
	-2	2.39	3.6	66.4	
	-1	2.35	12.3	62.8	
	5	2.14	10.3	50.5	
	10	1.98	17.3	40.2	
	20	1.48	11.6	22.9	
	30	0.83	6.0	11.4	
	40	0.36	5.4	5.4	
70	0.00				
Indre Langfjord (Sandnes - Langfjordbotn)	-4	4.82	9.5	155.3	16.3
	-2	4.65	6.9	145.8	
	-1	4.50	23.5	139.0	
	5	4.05	19.3	115.4	
	10	3.66	57.5	96.2	
	20	2.84	42.8	62.2	
	30	2.09	38.7	38.7	
	40	1.44	19.4	19.4	
	67	0.00			



Figur 3. Beregnet areal som funksjon av dyp i forhold til nullnivå for sjøkart for de ulike avsnittene av Langfjorden.

4.1.4 Terskler og strømtversnitt

Som beskrevet ovenfor er Langfjorden naturlig delt inn i tre bassenger av innsnevring med grunne terskler ved Storstraumen og ved Sandnes. I tillegg er altså den ytterste delen mer eller mindre oppdelt av grunne banker av gruveavgang med kanaler gjennom.

Den 19. oktober 1998 fra kl. 22:30 - 00:30 målte firmaet *Svendsens Oppmåling* opp den trangeste del av passasjen gjennom den deponerte avgangen, og dessuten det minste tversnittet utenfor Strømmen bru. Målingene ble gjort ved lavvann. Tidevannstabellen viser lavvannstand 80 cm kl. 22:49 denne dagen i forhold til sjøkartnull, dvs. at vannstanden ved målingene var ca. 1 m over sjøkartnull. Dyp er angitt av Svendsens oppmåling med NGO-nullpunkt som utgangspunkt. For bruk i denne rapporten er dypene korrigert til sjøkartnull.

Den oppmålte kanalen forbi deponiet av gruveavgang ligger som nevnt der hvor kommunens kart markerer de største slambankene, i følge koordinatene langs nordsiden av fjorden mellom Hamnes Hamnes (Gullgruvenes) og Fugleberget. Kanalen er markert på kartet i Figur 2 med heltrukken linje langs dypeste punkt i tversnittene og stiplede grenselinjer som viser bredden omtrent ved lavvann. Kanalen ble målt i 1000 m lengde langs dyprenna. Profilene er bare målt i kanten og ved største dyp, og tversnittene kan derfor bare grovt anslås. Bredde ved lavvannstand varierte fra 60 til 120 m. Terskeldyp ble målt til omkring 4 m i forhold til geografisk null i ytterste del av kanalen, dvs. 2 m i forhold til sjøkartnull. Dette ble bekreftet med ekkolodd ved feltmålingene i august 1999. Disse målingene viste at kanalen fortsetter videre utover i et bredere grunnområde med omtrent samme dyp fra Hamnes og i ca. 500 m lengde til Melkberget. Lenger inn ligger terskeldypet mellom 4 og 5 m i forhold sjøkartnull over ca. 500 lengde, for deretter å øke til mellom 6 og 8 m. Ved høyvann vil dybdene være ca. 3 m mer enn dette, og vannet når da helt inn til den heltrukne konturen av indre slambanke slik den er vist i figur 2.

I den ytre halvdel av kanalen ved Hamnes kan tversnittet ved lavvann anslås til 175 - 200 m², og i den indre halvdel av kanalen 250 - 350 m². Den bredden *Svendsens oppmåling* bestemte gjelder som sagt ved lavvannstand. For middelvannstand, som omtrent svarer til NGO-nullpunkt, angir kommunens kart en åpen bredde på ca. 320 m, med full bredde ca. 500 m i en høyde av 5 m over

NGO-nullpunktet. Minste tverrsnitt ved middelvannstand kan anslås til 400 m² og ved vanlig høyvannstand 750 m².

Den indre enden av kanalen gjennom avgangsdeponiet ligger ca. 2.4 km fra brua. Nye sjøkart angir ikke topografi i området innenfor. Det grunne partiet lenger inn ved gården Langfjordstrømmen antas å være naturlig, og ikke ha noe med avgangsdeponeringen å gjøre, det finnes også på eldre sjøkart som viser mye større dyp der slambanken nå ligger. Området utenfor Langfjordstrømmen er grunnest midt i fjordtverrsnittet. Det går en dypere kanal på nordsiden, med største gjennomgående dyp 5 m under sjøkartnull i 50-100 m bredde. Det er også litt dypere ved land på sørsiden, ca. 3 m. Det minste tverrsnittsarealet forbi grunnområdet kan anslås til 350 m³ ved lavvann, 1500 m³ ved høyvann. Lengden av passasjene kan anslås til 300 m. Fra det dypere området innenfor (største dyp 10-14 m)¹ smalner fjorden gradvis av inn mot området ved Strømmen bru til en kanal som er 8-10 m dyp langs nordsiden og 200 m bred.

Det minste tverrsnittet i Langfjorden og den grunneste terskelen finnes i Storstraumen ved Strømmen bru. Her er det målt opp en ca. 100 m lang og 50 m bred kanal fra brua og utover i nordøstlig retning. Svendsens oppmåling anslo maksimalt terskeldyp til 3 m under geografisk null, dvs. 2 m under litt høy lavvannstand, og de anslo tverrsnittet opp til lavvannstand på utsiden til ca. 60 m² ut fra antatt trekantform. Det kan være vanskelig å relatere dette til effektivt strømtverrsnitt, fordi det er så store vannstandsforskjeller mellom utsiden og innsiden av brua med Storstraumen. Ved utstrømning gjennom kanalen er strømmen stort bestemt av vannstanden på innsiden, og den ligger som regel fra 2.5 til 2.1 m over sjøkartnull, altså litt over NGOs nullnivå. Ved innstrømning i Storstraumen, som foregår i tiden omkring høyvann på utsiden, vil det være vannstanden på utsiden som driver strømmen. Overslagsberegninger ut fra målingene i august 1999 (se kapittel 7.1.2) peker i retning av at vannstanden i det bassenget det strømmer fra er hhv. ca. 1.1 m over terskeldypet for utstrøm og opp til 1.5 m over terskeldypet ved innstrømning, dvs. at begrensende tverrsnitt har gjennomsnittlig bunn dyp 1.2 til 1.5 m høyere enn sjøkartnull. I begge situasjoner vil vannstanden i det begrensende tverrsnittet være lavere enn i det området vannstrømmen går fra. Ut fra forutsetningene som er brukt i beregningen i kapittel 7.1.2 kan det reelle dypet ventes å være noe større. Innenfor brua finnes en omtrent like smal strekning i 100-150 m lengde, men her er det dypere, og dette partiet bidrar derfor ikke til å begrense transportene på samme måte.

Innsnevringen ved Sandnes (Litlestraumen) er ca. 90 m bred i følge kommunalt detaljkart (1:5000). Også her går det bru over. Ved måling med ekkolodd i august 1999 viste det seg at terskeldypet under midten av brua er 8 m i forhold til vannflaten, dvs. 6 m i forhold til sjøkartnull (se side 16). På eldre sjøkart, hvor bru ikke er tegnet inn, er terskeldypet angitt til å være 4 m i forhold til sjøkartnull. Terskeldypet kan kanskje ha blitt større i forbindelse med brubyggingen. Brua ble bygd i 1976/77 (Jan Kalliainen i teknisk etat, Sør-Varanger kommune, pers. medd.). Sannsynlig tverrsnitt kan være omkring 600 m² ved lavvann (ca. 2 m over sjøkartnull) litt avhengig av hvordan dypet varierer langs brua, og ved høyvann (2.5 m over sjøkartnull) kanskje omkring 650 m².

Karakteristikk av forbindelseskanalene er oppsummert i Tabell 2.

¹ Topografisk landkart viser 14 m som største dyp, men ved ekkoloddmålingene i dette området i august 1999 var største registrerte dyp 9 m under sjøkartnull. Det skal ikke utelukkes at maksimalt dyp er 14 m, men det er antagelig over et nokså lite område.

Tabell 2. Tverrsnitt i forbindelseskanalene mellom deler av Langfjorden

Sted	Minste bredde ved lavvann (m)	Terskeldyp i forhold til minste vannstand (m)	Minste tverrsnittsareal (m ²)			Anslått lengde (m)
			ved midlere lavvann	ved middel-vannstand	ved midlere høyvann	
Kanal gjennom avgangsdeponiet ved Hammes (Gullgruvenes)	60	3 [#]	175	400	750	1000
Grunnområde ved Langfjordstrømmen	100 - 200	6 [#]	350	800	1500	300
Storstraumen ved Strømmen bru, oppstrøms vannstand	50	>1.1 [§] (anslått)	60 [§]	--	85 [†]	100
Littlestraumen ved Sandnes	90	8 [§]	600 [§]	625 [§]	650 [§]	100

#: Relativt til springlavvann = sjøkartnull

§: ved lavvannstand på innsiden (2.1 m høyere enn sjøkartnull)

† Ved høyvannstand på utsiden (3 m høyere enn sjøkart null)

4.2 Lokalt nedbørsfelt - ferskvannstilrenning til Langfjorden

Langfjorden innenfor Storstraumen har et nedbørsfelt på ca. 390 km² (NVE 1990). Det meste av nedbørsfeltet har avrenning til bassenget sør for Sandnes, hovedsakelig fra Sandneselva som renner ut på vestsiden rett sør for terskelen ved Sandnes, og fra Langfjordelva via Langfjordvatnet i sørenden av fjorden. Det er også avrenning fra noen mindre felter langs øst- og vestsiden av dette fjordavsnittet. Bare ca. 12 km² har avrenning til fjordavsnittet mellom Storstraumen og Littlestraumen (*Gukkesvuodna*). For den ytterste delen av fjorden, utenfor Strømmen bru, er det også bare et lite nedbørsfelt på anslagsvis 10 km². Tabell 3 oppsummerer noen anslag for gjennomsnittlig ferskvannstilrenning, basert på størrelsen til nedbørsfeltene, og beregnet for en midlere avrenning på 14 liter s⁻¹ km⁻² som oppgitt for Sandneselva av Sør-Varanger kommune, teknisk etat.

Tabell 3. Data om ferskvannstilførsel til Langfjorden

Fjordavsnitt <i>Hovedkilde:</i>	Nedbørsfelt (km ²)	Gjennomsnittlig vannføring (m ³ /s)
Utenfor Storstraumen	10	0.14
Mellom Storstraumen og Sandnes	12	0.17
Innenfor terskelen ved Sandnes:	370	5.0
<i>Sandneselva</i>	<i>172</i>	<i>2.4</i>
<i>Langfjordelva (Langfjordeid)</i>	<i>122</i>	<i>1.7</i>
<i>Elv fra Ørnevatnet</i>	<i>14</i>	<i>0.20</i>
<i>Tunnel fra Bjørnevatn</i>	<i>11</i>	<i>0.15</i>
<i>Annen avrenning fra østsiden</i>	<i>25</i>	<i>0.35</i>
<i>Annen avrenning fra vestsiden</i>	<i>12</i>	<i>0.17</i>

Aure og Tesaker (1975) angir en større ferskvannstilførsel på 33 m³/s, men det er ikke klart hva det bygger på. Vannstanden vil variere mye over tid med nedbør, og den kan selvsagt ha vært mye høyere da de gjorde sine målinger. Imidlertid viser vannføringsdata at utrenningen fra Enare til Pasvikelva var forholdsvis lav i dagene før og under målingene (24-26.6.1974), med verdier fra 85 til 120 m³/s, det er under nedre 10-% persentil. Det må derfor i såfall ha vært nokså lokal nedbør.

Tunnelen fra Bjørnevatn fører vann fra et ca. 11 km stort område omkring gruvene, og ble bygd for å drenere dette området og tappe ut Bjørnevatn som tidligere var langt større. Tunnelen fører ut i på østsiden av Langfjorden ca. 4-5 km sør for Sandnes. Den fører også ut vann fra selve gruva. Selv om gruva i øyeblikket ikke drives, pumpes det fortsatt noe overvann fra gruva gjennom denne tunnelen. Det kan være ca. 500 m³/døgn høst- og vinterstid, og 700-750 m³/døgn om sommeren (Einar Berg ved Sydvaranger ASA pers. medd.), altså innenfor 10 l/s, og utgjør bare en liten del av det som kommer via tunnelen.

Fra Sandneselva er det siden 1980-årene blitt tatt vann til vannforsyning, med ca. 8 500 m³/døgn (Robert Pettersen, Sør-Varanger kommune, pers. medd.). Det tilsvarer ca. 4 % av middelvannføringen og 60 % av oppgitt minstevannføring i Sandneselva, som er 14 200 m³/døgn eller 0.165 m³/s. Det er altså bare ved svært lav vannføring dette kan ha noe å si for ferskvannstilførselen til fjorden, og i slike situasjoner har ferskvannstilførselen lite å si for sirkulasjon og vannutskifting i fjorden. En vannmengde som tilsvarer ca. 2/3 av det som tas ut til ferskvannsforsyning kommer som avløpsvann til fjorden gjennom det kommunale avløpet, se kapittel 4.3.

4.3 Lokale forurensningstilførsler til Langfjorden

Utslipp fra et mekanisk renselanlegg går ut på 15 m dyp ved Sandnes, rett nord for terskelen på østsiden av fjorden. Anlegget mottar avløp fra et fellessystem med blanding av overvann og avløpsvann fra ca. 4 200 p.e. (personequivallenter). Vannmengden i utslippet ut er oppgitt til ca. 6 000 m³/døgn, eller 70 l/s. Urenset avløpsvann regnes å inneholde ca. 1.6 g fosfor, 12 g nitrogen, og et oksygenforbruk (BOF₇)¹ på 45 g pr. døgn og p.e. og renseseffekten i mekaniske renselanlegg antas å være 15 % av P og N og 30 % for organisk stoff (Bratli et al., 1995). Årlig utslipp til fjorden fra avløpet ved Sandnes kan ut fra dette anslås til ca. 2.1 tonn P og 16 tonn N pr. år, samt ca. 50 tonn oksygenforbruk som BOF₇.

Tidligere gikk det ut vann fra gruva, i hovedsak overvann, til den sørlige del av Langfjorden gjennom en tunnel fra Bjørnevatn. Selv om gruva nå ikke drives, pumpes det fortsatt noe overvann fra gruva gjennom denne tunnelen, som beskrevet i kapittel 4.2.

Velvin (1995) opplyser at det tidligere var en avløpsledning fra Garnison Sør-Varanger i Straumbukta. Størrelsen på dette utslippet og tidsrommet er ikke angitt.

Vi er ikke kjent med data for vannkvalitet i elvetilførslene til Langfjorden. Data fra feltarbeidet i august 1999 tyder på at elvevannet til den sørlige delen av fjorden da hadde et nitrogeninnhold på minst 300 µg N/l, som ligger markert høyere enn gjennomsnittet for elver i Finnmark, men dette var etter en periode med kraftig regnvær (kapittel 6.1), og trenger derfor ikke være typisk.

I følge Bratli et al. (1995) kan det regnes med en flateavrenning av fosfor på 10 kg km⁻² år⁻¹, dvs. 4 tonn P pr. år fra nedbørsarealet innenfor Storstraumen. For nitrogen kan det ifølge samme kilde regnes med en nitrogenavrenning på ca. 70 kg km⁻² år⁻¹ for Finnmark og Troms i områder med spesifikk avrenning 14 liter s⁻¹ km⁻². Det gir totalt 27 tonn N pr. år når det anvendes på nedbørsarealet innenfor Storstraumen. Fordelt på gjennomsnittlig ferskvannstilførsel skulle det bety konsentrasjoner i elvevannet på 20 µg P/l og ca. 160 µg N/l. Det kommunale utslippet vil ut fra en slik betraktning utgjøre 35-40 % av totale utslipp på 40-45 tonn N.

Observasjonene fra august 1999, som riktignok bare representerer et øyeblikksbilde, viste at nitrogeninnholdet i Sandneselva lå litt lavere enn veiledende tall ifølge Bratli et al., mens ferskvannstilførselen til den sørlige enden av Langfjorden inneholdt det dobbelte mht. nitrogeninnhold. Kanskje kan det indikere menneskeskapt påvirkning også her. Hvis konsentrasjonene er typiske, indikerer de en nitrogentilførsel via elvene på ca. 40 tonn N pr. år, altså noe høyere enn ut fra anslag for flateavrenning. Tilførslene via kloakkutslippet utgjør i såfall ca. 25-30 % av total tilførsel på 56 tonn N pr. år.

Elvetilførslene kan være noe mer tilgjengelige for lokal algevekst fordi de tilføres overflatelaget, mens det direkte kloakkutslippet er dykket, men til gjengjeld vil en større del av tilførslene i det kommunale

¹ BOF₇: Biologisk oksygenforbruk over 7 døgn

utslippet ha en kjemisk form som gjør det lett tilgjengelig. Det må understrekes at dette bare er en orienterende beregning av tilførslene. Hvilke av de to alternative anslagene ovenfor som ligger nærmest sannheten er usikkert.

4.4 Ferskvannstilførsel til fjorden utenfor - Pasvikelva

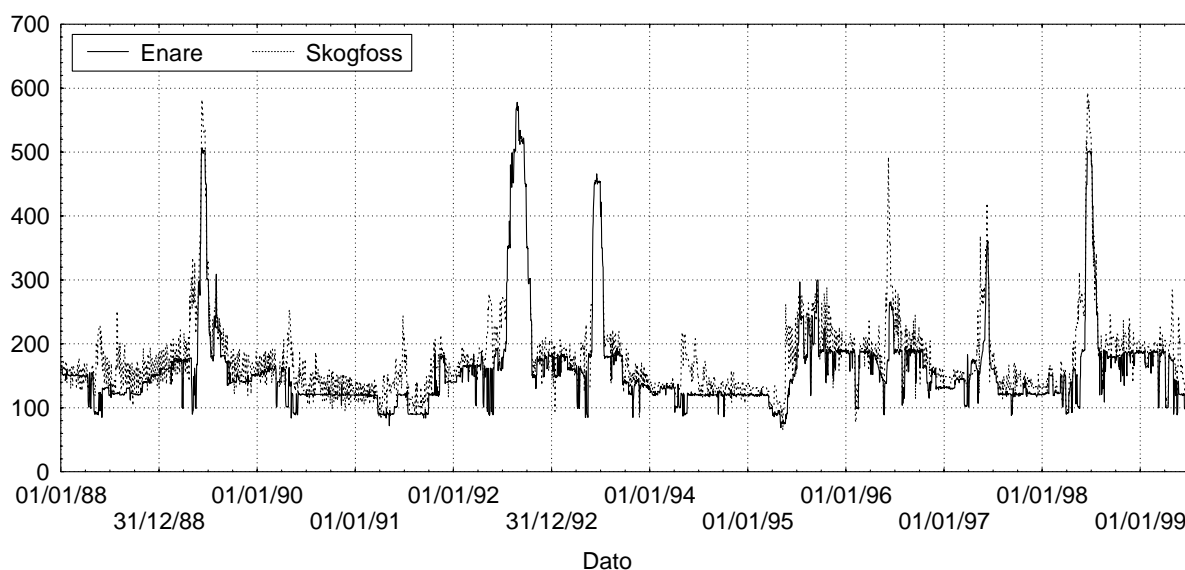
Pasvikelva er den dominerende ferskvannskilden til Bøkfjorden, som går ut mot Varangerfjorden fra Kirkenes, og som er utvekslingsområde for vannet i Langfjorden. Pasvikelva er sterkt utnyttet til kraftproduksjon gjennom til sammen 7 russiske og norske elvekraftverk, bygd mellom 1951 og 1978. Det kan tenkes at endret vannføringsmønster i Pasvikelva i forbindelse med kraftutbyggingen har gitt endrede forhold i overflatelaget i Bøkfjorden og at dette har hatt innvirkning på tetthetsvariasjonene i vann som strømmer inn i Langfjorden ved vannutskiftinger.

Vannføringsdata for 1980-99 fra Skogfoss ca. 50 km oppe i Pasvikelva er stilt til rådighet av Pasvik Kraft DA ved Ronny Nilsen og Tor Nordgård, og data for utrenningen fra Enare-sjøen for 1959-99 av Finlands Miljöcentral (Finnish Environment Institute) ved Erkki A Järvinen.

Det fremgår av disse to datasettene at utrenningen fra Enaresjøen på månedsbasis stort sett utgjør 80-100 % av vannføringen ved Skogfoss, og på årsbasis ca. 85 %. Vannføringen fra 1988 til 1997 er vist i Figur 4. Vannføringen nederst i elva ved Boris Gleb kan regnes å være ca. 8% høyere enn ved Skogfoss ut fra fordelingen av nedbørsfeltet (NVE 1990).

Avrenningen fra Enare-sjøen vil være avgjørende for ferskvannsavrenningen til Bøkfjorden ved lave og midlere vannføringer. Det kan også gjelde ved flom, men flomvannføringene ved Skogfoss er ofte mye høyere enn utrenningen fra Enare-sjøen. Særlig i mai og juni er det ofte et vesentlig tilskudd fra elva nedenfor i tillegg til utrenningen fra Enare-sjøen, og vannføringen ved Skogfoss kan da være mye mer varierende, og opp til dobbelt så stor som utrenningen fra Enare-sjøen. For 1992 og 1993 er det langvarige og store flomtopper om våren fra Enare-sjøen, mens rapportert vannføring ved Skogfoss var konstant og mye lavere. I følge opplysninger fra Pasvik Kraft (Ronny Nilsen pers. medd.) har det vært problemer med den automatiske måleren ved Skogfoss pga. linjeforstyrrelser og lynnedslag, særlig i data for 1995. Det kan derfor ses bort fra data fra Skogfoss i slike perioder. Også et par andre åpenbare feilregistreringer i data fra Skogfoss er kuttet ut i datagrunnlaget som er brukt her.

For perioden 1980 - 1998 og unntatt 1992, 1993 og 1995 hvor det var en del uregelmessigheter i data, var gjennomsnittlig vannføring fra Enare 157 m³/s, og fra Skogfoss 180 m³/s, til Bøkfjorden er da gjennomsnittet antagelig ca. 195 m³/s.



Figur 4. Avrenning fra Enare-sjøen og vannføring ved Skogfoss, døgnmidler (m³/s) for perioden januar 1988 - juni 1999.

I 1959 var de tre øverste kraftverkene på russisk side allerede satt i drift, og data fra før kraftutbyggingen startet er altså ikke tilgjengelig. Tappingsreglementet for Enare-sjøen ble ifølge opplysninger fra Pasvik Kraft DA vedtatt i overenskomst mellom Norge, Finland og Russland i 1959. Vannføringsdata fra Enare-sjøen viser sterkt preg av regulering fra 1969, med lange perioder med omtrent konstant utrenning omkring 120 m³/s. Før den tiden er det større korttidsvariasjoner, men nivåene er jevnt over like høye som "normal" regulert vannføring på 120 m³/s. Etter desember 1961 har utrenningen fra Enare-sjøen bare sporadisk vært under 100 m³/s, og aldri under 90 m³/s. For årene 1959-1960 vises et avvikende mønster, med lave vintervannføringer rundt 60 m³/s over en periode på flere måneder vinteren 1959/60, og også en periode våren 59 med like lave vannføringer. Det har ikke lyktes å bringe på det rene om dette antyder vanlige variasjoner før reguleringen ble iverksatt, eller om det er knyttet til oppbygging av magasinet etter nedtapping, eventuelt etter at tappingsreglementet var vedtatt.

Enare-sjøen har praktisk regulerings høyde 1.75 m, teoretisk 2.26 m. Med et areal 1 160 km² gir det et magasineringspotensiale over et halvt år på 130 m³/s, altså nesten like mye som middelvannføringen som er 150 m³/s. Årsmiddel for vannføringen fra Enare-sjøen varierer mellom 100 til 240 m³/s fra år til annet. Reguleringen av Pasvikelva må derfor antas å ha medført vesentlige endringer i vannføringen i forhold til før vassdraget ble regulert. Store flomvannføringer forekommer fortsatt, men enkelte år blir hele flommen magasinert (ingen flomtopp i utrenningen), og situasjoner med vannføringer under 100 m³/s er helt fraværende etter 1960.

En stor innsjø vil i alle fall virke utjevne, og uten mer data for hvordan avrenning varierte før regulering er det vanskelig fullt ut å bedømme betydningen av reguleringen. Det må antas at en vesentlig hensikt med den sterke reguleringen har vært å øke vannføringen og strømproduksjonen om vinteren, og det er derfor rimelig å tro at særlig vintervannføringene var vesentlig lavere før reguleringene.

4.5 Tidligere undersøkelser av vannkvalitet i Langfjorden

Akvaplan-NIVA (Velvin 1995) gjorde i 1995 en resipientundersøkelse i området rundt det kommunale avløpet til Langfjorden som ligger rett nord for Sandnes. Saltholdighet, temperatur og oksygeninnhold ble målt på en stasjon litt sør for terskelen ved Sandnes og på tre stasjoner i varierende avstand nordover fra utslippet, med en Sensordata SDTO-sonde innstilt til registrering pr. 5. sekund. Tabell 4 viser en stasjonsoversikt.

Tabell 4. Stasjoner i Akvaplan-NIVAs undersøkelse i 1995

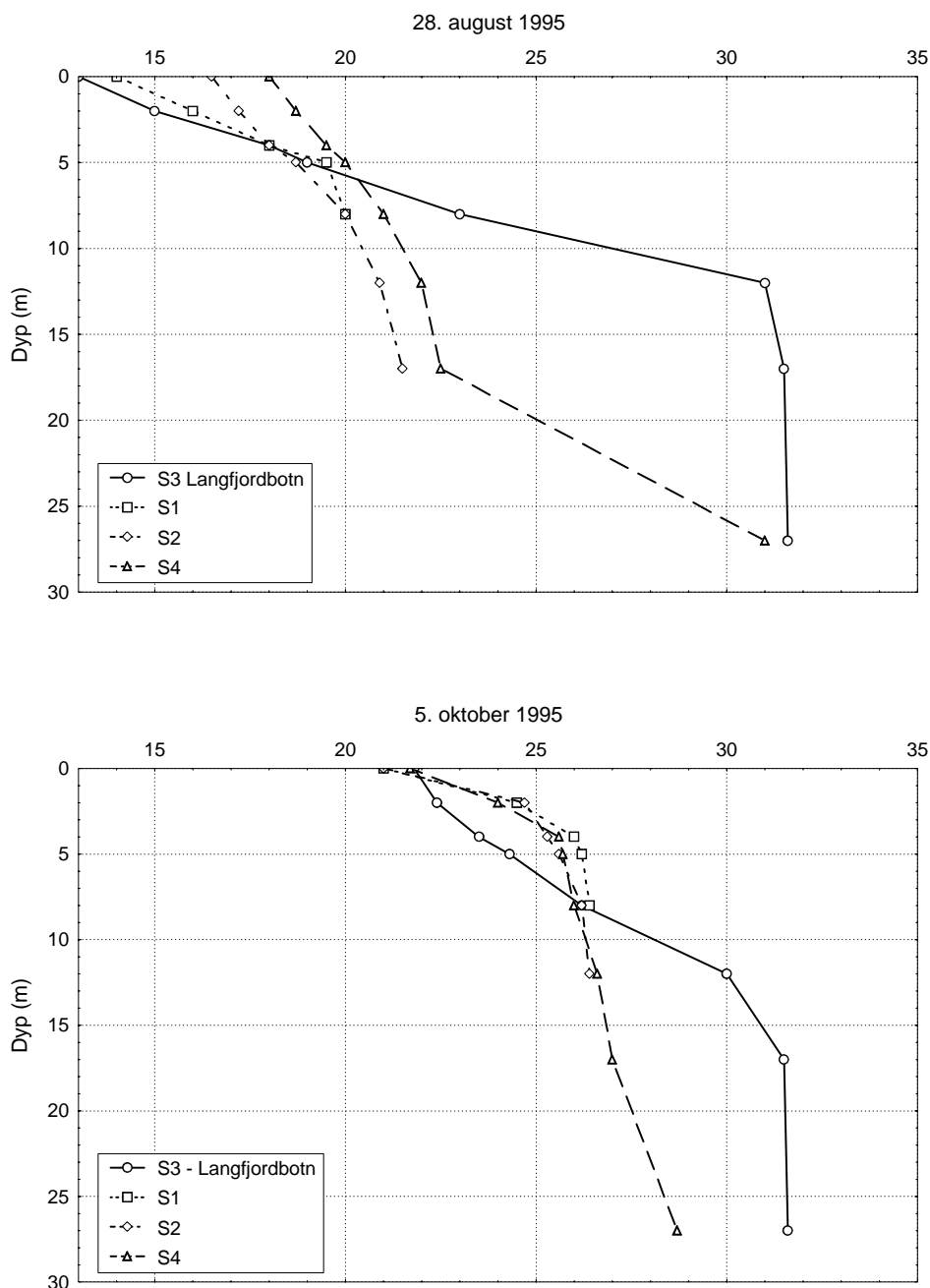
Stasjon	Beliggenhet	Bunndyp (m)
S1	40 m fra utslippet, ca. 100 m nord for terskelen ved Sandnes (omtrent ved stasjon H3 [§] brukt i august 1999, se figur Figur 9 side 34)	14
S2	Midt i fjordverrsnittet, ca. 200 m nord for utslippet (omtrent ved stasjon H4 [§])	18
S3	Midt i fjordverrsnittet, ca. 250 m sør for terskelen ved Sandnes	30
S4	Midt i fjordverrsnittet ved Klubbnes, noe over 1000 m nord for utslippet (200 m nord-nordvest for stasjon H5 [§])	33

[§] For plassering av stasjoner H3-H5 se Figur 9, side 34

Hydrografiske målinger ble gjort 28. august og 5. oktober. Saltholdighetsprofiler er vist i Figur 5. Ved begge tidspunkter ble det funnet et ca. 10 m tykt overflatesjikt rett sør for terskelen ved Sandnes, dvs. i nordenden av det sørlige bassenget. Overflatesjiktet hadde ganske homogen temperatur, mens saltholdigheten økte nedover gjennom sjiktet. Saltholdigheten i overflaten var 13 i august og omkring 22 i oktober og økte med dyptet til en konstant verdi rundt 31.6 under 15 m dyp. Temperaturen var ganske

konstant i de øvre 8 m, rundt 10 °C i august og 6 °C i oktober, men avtok ved begge tidspunkter raskt videre nedover i vannsøylen, til ca. 1.5 °C i 12 m dyp, 1.0 °C i 10 m dyp og videre ned mot 0.5 °C under 20 m. Hoveddelen av ferskvannsinnslaget fantes fra overflaten ned til ca. 12 m dyp.

I det midtre bassenget, nord for terskelen ved Sandnes, var det et tykkere og mer homogent overflate-lag. Saltholdigheten i de øvre 5-8 meter er her høyere enn på samme dyp i det sørlige bassenget, men lavere dypere ned. Integret ferskvannsmengde per. overflateareal var større i midtre fjord enn i det sørlige bassenget. Både i august og i oktober fulgte temperaturen i det midtre bassenget saltholdigheten på omtrent samme måte som sør for terskelen ved Sandnes. Dypere ned enn 30 m ble det ikke målt.



Figur 5. Saltholdighetsprofiler i Langfjorden målt sommer og høst 1995 (Velvin 1995). For stasjonsplassering, se Tabell 4.

I perioden før og under de to målingene var vannføringen i Pasvikelva ved Skogfoss i intervallet 200-250 m³/s, altså en del høyere enn middelvannføringen. Forskjellen mellom vannføringen ved

Skogfoss og fra Enare-sjøen var også relativt høy. Den varierte mellom 45 og 94 m³/s i perioden 25.-28. august og mellom 31 og 75 m³/s i perioden 2.-5. oktober. Medianen for denne forskjellen sett over alle tilgjengelige data, hvis en bare ser på døgn hvor Skogfoss ligger minst like høyt som avrenningen fra Enare-sjøen, er omkring 18.5 m³/s, og aritmetisk gjennomsnitt 28.5 m³/s. Det betyr at det ved målingene i 1995 var høyere avrenning enn normalt til Pasvikelva fra områdene nedstrøms Enare-sjøen. Sannsynligvis har også den lokale tilrenningen til Langfjorden vært høyere enn normalt.

Oksygenforholdene var gode så langt ned det ble målt, både i august og oktober, med konsentrasjoner fra 10 til 6 mg/l[§]. Fra 15 til 30 m på stasjon S3 (sør for terskelen ved Sandnes), var målt temperatur og saltholdighet omtrent uendret fra 28. august til 5. oktober, og det var derfor antagelig samme vannmasse som lå der ved de to tidspunktene. Målt oksygenkonsentrasjon var omtrent uendret ca. 8.5 mg/l (dvs. 6 ml/l) over de to tidspunktene i 15 m dyp, men var redusert ned mot 30 m dyp fra ca. 7.3 mg/l (dvs. 5.1 ml/l) i august til 6.3 mg/l (dvs. 4.4 ml/l) i oktober. Det må bemerkes at oksygenmålinger med slike sonder som ble brukt her erfaringsmessig kan være forholdsvis usikre, og forskjellen kan ligge innenfor usikkerheten. Mer nøyaktige målinger med analyse av vannprøver (Winkler) kreves for å påvise sikkert såvidt små endringer over tid. Målinger så nær bunn kan kanskje være noe influert av bunnen, og ikke helt representative for forholdene på 30 m dyp i vannmassene generelt.

Siktedypet ble målt til ca. 3 meter på alle stasjonene. Næringsstoffene nitrat og fosfat ble målt ved bunn og overflaten på noen av stasjonene. Resultatene er nokså sprikende, med høye verdier både i overflaten og ved bunn på stasjon S4, og ganske lave konsentrasjoner i begge dyp på stasjon S3, som følgende tabell viser. Resultatene er overraskende forskjellige fra stasjon til stasjon sett i sammenheng med sjiktning og oksygenforhold:

Stasjon	Dyp	Nitrat (µg N/l)	Fosfat (µg P/l)
S4 ved Klubbnes et godt stykke nord for utslippet	overflate	190	70
	bunn (33 m)	122	59
S1 like ved utslipp	bunn (14)		25
S3 sør for terskelen ved Sandnes	overflate	9	4
	bunn(30 m)	20	2

4.6 Tidligere undersøkelser av sjiktning i Bøkfjorden

Forholdene i Bøkfjorden, som Langfjorden er en sidearm til, er som nevnt av interesse i denne sammenhengen fordi det er disse vannmassene vannet i Langfjorden utveksles med. NIVA gjorde hydrografiske målinger i Bøkfjorden sommeren 1989 (Skei 1990) og igjen sommeren 1994 (Skei et al. 1995) i forbindelse med undersøkelse av miljøtilstand i relasjon til partikkelspredning fra gruveavgangen.

I 1989 ble det målt 29. juni og 27. juli. Juni var dominert av en flomtopp på over 500 m³/s, og i dagene 27.-29. juni lå vannføringen fortsatt på omkring 320 m³/s. Det var også relativt stor vannføring i juli, 200-250 m³/s, og i dagene 25.-27. juli var vannføringen omkring 250 m³/s. I 1994 ble det målt 20. juni. Da hadde vannføringen i 3-4 dager ligget omkring 200 m³/s, og noe lavere i tiden før dette. Det vil si at alle målingene er gjort ved relativt stor, men ikke ekstrem, ferskvannspåvirkning i fjorden.

Målingene viser en tydelig ferskvannsblanding ned til 2-4 m dyp, med overflatesaltholdighet på hhv. 6 og 15 i stasjonene i den indre del av Bøkfjorden nær Kirkenes. I 1989 var brakkvannslaget tykkere og litt mindre salt ved den første målingen 29. juni enn ved andre måletidspunkt 27. juli, det stemmer med forskjellen i vannføringen. Den 29. juni 1989 ble det også målt i armen inn mot Langfjorden, og her var overflatesaltholdigheten omkring 15, altså mindre preget av ferskvann enn Bøkfjorden ellers, og opp mot den overflatesaltholdigheten som ble målt inne Langfjorden av Akvaplan-NIVA i 1995 (se ovenfor). Brakkvannslaget i Bøkfjorden var ved alle målingene relativt

[§] Oksygenkonsentrasjon angis ellers i denne rapporten som ml/l. Omregning av mg/l til ml/l gjøres ved å multiplisere med 0.7.

tynt, allerede 1-3 m under overflaten er saltholdigheten på 28-30. På 10 meters dyp var saltholdigheten i området 32-33 og på 30 meters dyp i området 33-34. I dypere lag var den opp mot 35.

4.7 Tidligere undersøkelse av bunnsedimenter

NIVA fant ved undersøkelsen i 1994 at gruveavgangen til Bøkfjorden påvirket både bunnsedimentenes sammensetning og bunnfaunaen i området ut til Reinøy, ca. 5 km utenfor partikkelutslippet (Skei et al. 1995). Ut fra dette kunne en tenke seg at det også skjedde en påvirkning innover i Langfjorden via partikler i innstrømmende vann i den perioden det ble deponert gruveavgang i ytre del av Langfjorden. Dette kunne eventuelt ha gjort bunnen mindre egnet som substrat for bunnfauna, og derved med dårligere fødetilgang for fisk.

Akvaplan-NIVA tok bunnprøver i Langfjorden i 1995 (Velvin 1995), og fant på 30 m dyp ved Klubbneset i Gukkesvuodna friske sedimenter med lys grønn leire, uten spor av gruveavgang, og med børstemark. Både artsmangfold og individtetthet ser ut til å være sammenlignbart med det NIVA fant på stasjoner forholdsvis langt ute i Bøkfjorden, men på større dyp. Stasjoner nærmere kloakkutslippet og innenfor terskelen ved Litlestraumen viste noe påvirkning av terrestrisk organisk materiale, antagelig knyttet til selve kloakkutslippet. Det er derfor ikke noen sterke tegn på at gruveavgang har dominert bunnforholdene i den undersøkte delen av Langfjorden i særlig grad.

5. Feltarbeid i august 1999 - materiale og metoder

Feltarbeidet foregikk fra 25. til 28 august. Hovedvekten lå på å måle vannstand, sjiktning og strøm i det området slambanken ligger i, det vil si mellom Strømmen bru og anleggsområdet til Sydvaranger ASA. Det ble også målt noe i de indre bassengene, til dels som supplerende målinger på oppdrag fra Sør-Varanger kommune i forbindelse med deres kloakkutslipp til fjorden. I tillegg til de fysiske målingene ble det tatt vannprøver for kjemiske analyser og dessuten en enkelt, orienterende bunnprøve.

5.1 Kontinuerlige målinger av vannstand og strøm i faste målepunkter

Det ble målt vannstand og strøm kontinuerlig (med måleintervaller på fra 1 til 10 minutter) i noen faste målepunkter. Måleposisjonene er vist i Figur 6. Målerne ble satt ut 25. august mellom kl. 12:50 og 17:20 UTC-tid¹ (14:50 og 19:20 lokal sommertid). De ble tatt opp 28. august mellom kl. 6:54 og 7:51 (UTC). Fullstendige data for utsetting og opptaking av instrumenter er i vedlegg B.1, og målingene er omtalt mer i etterfølgende underkapitler.

5.1.1 Vannstandsmålinger

Vannstand ble målt med Aanderaa vannstandsmålere² på to punkter utenfor Strømmen bru, utenfor og innenfor kanalen gjennom slambanken (målepunkter *Aa1* og *Aa2* i Figur 6). Vannstanden måles med en trykksensor som er festet til et bunnlodd på noen få meters dyp, og registreres ca. hvert 10. minutt av en loggerenhet plassert på land. Disse målerne justerer for variasjoner i lufttrykk, og gir derfor vannstandsvariasjoner direkte. Hensikten var å dokumentere i hvilken grad kanalen virker dempende på vannstandsvariasjoner, og derved på transporten av vann til områdene utenfor.

Vannstand innenfor Strømmen bru ble målt med selvregistrerende instrumenter som måler trykk, temperatur og saltholdighet, av type Sensordata STD. Den ene ble plassert innenfor Strømmen bru, sørvest i Straumbukta (Posisjon STD1 i Figur 6), og den andre i det sørligste bassenget, litt sør for utløpet av Sandneselva på østsiden av fjorden (posisjon STD2 i Figur 6). Disse sondene ble stilt inn

¹ Alle klokkeslett i denne rapporten er gitt i såkalt UTC-tid (Coordinated Universal Time), tidligere kalt GMT (Greenwich Mean Time). Lokal sommertid som gjaldt under feltarbeidet i august 1999 ligger to timer foran UTC, og finnes altså ved å legge 2 timer til de oppgitte UTC-klokkeslettene.

² Datalagrer DSU 2990E, beregningsenhet 3015, vann-nivå-sensor type 3191 og 3196 (trykkcelle)

på 1 minutt måleintervall, og holdt på plass ca. 1/2 m over bunn ved hjelp av bunnlodd og nedsenket bøye. For disse målerne bør trykket i prinsippet justeres for variasjoner i lufttrykk, men det ser ikke ut til at dette var så viktig; trykkregistreringene med CTD¹ og UCM² i luft viste ingen signifikant variasjon i lufttrykk over måleperioden, og data fra STD1 stemmer godt med de andre målerne uten noen justering. Data fra DNMI viste lufttrykksvariasjoner som tilsvarer 5 cm vannsøyle for måleperioden.

Måleren på STD2 ga dessverre ikke brukbare data (se vedlegg E.3), men resultatene ellers indikerer, når de ses i sammenheng, at måleren i STD1 representerer hele Langfjorden innenfor Strømmen bru med god nøyaktighet (se kapittel 7). Det ser derfor ut til at måleren ved STD2 uansett ikke ville gitt så mye mer informasjon.

5.1.2 Kontinuerlig måling av strøm i faste punkter

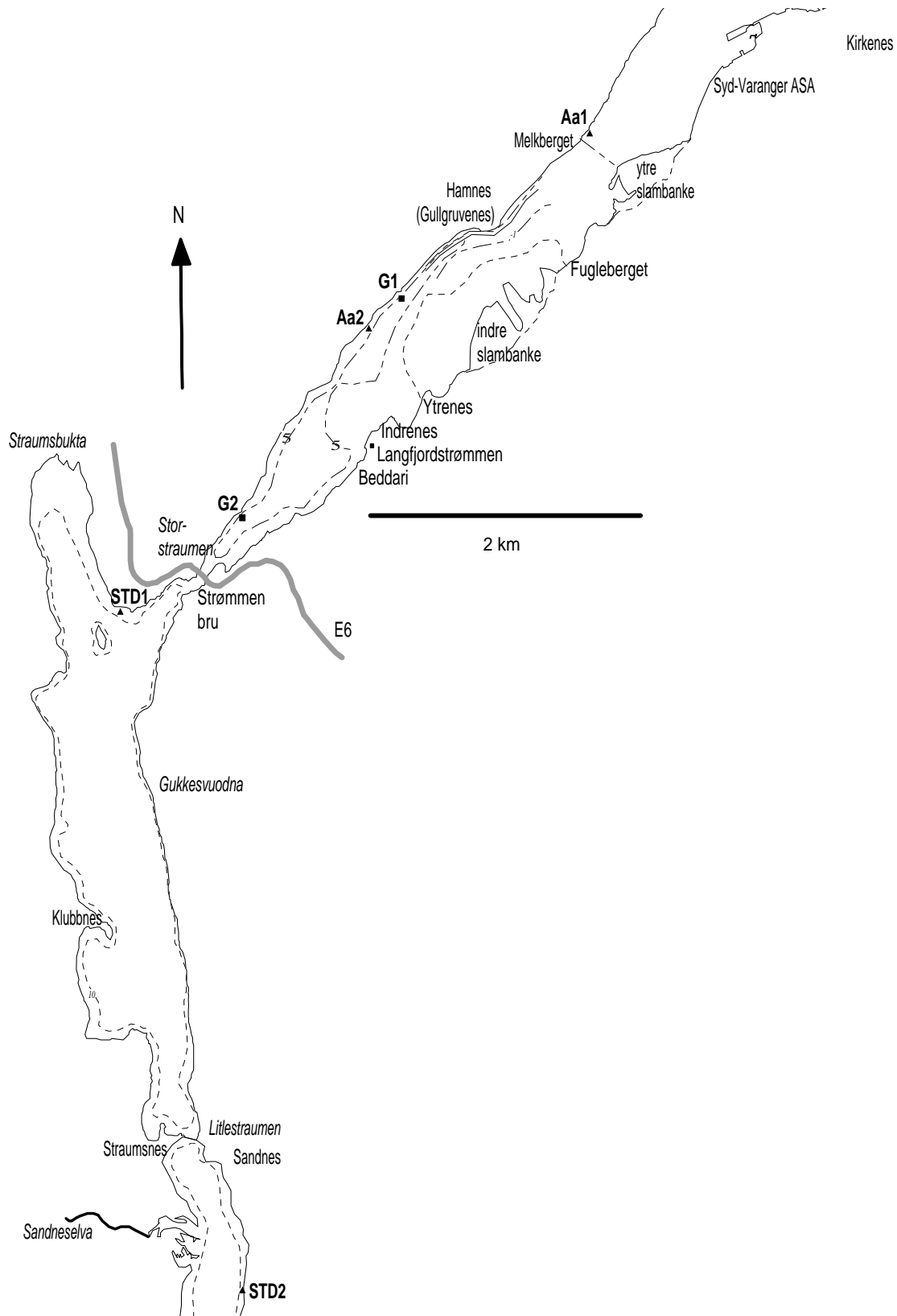
Strøm ble målt med Sensordata strømmålere modell SD2000, montert i to faste punkter under hele måleperioden. Disse målerne registrerer strømstyrke, retning og temperatur med 8 minutters intervaller. Strømstyrken er middelværdi for foregående 4 minutter, retning og temperatur er øyeblikksverdier. Måleposisjonene er vist på kartet i Figur 6.

Den ene måleren ble plassert litt nordvest for den indre vannstandsmåleren, rett innenfor kanalen ved indre slambanke (G1 i Figur 6) bare ca. 25 m fra land, i omtrent det dypeste punktet i tverrsnittet. Det var her ca. 7 m dypt i forhold til sjøkartnull (10 m vanddyp ved utsettingstidspunkt). Måleren ble spent opp mellom bunnlodd og nedsenket bøye, ca. 5 m over bunnen, altså omkring 2 m under sjøkartnull, eller 2.5-3 m under lavvannstand. Sammenligning av temperaturdata med dypprofiler bekrefter denne plasseringen (se side 39).

Den andre måleren (G2) ble plassert innenfor grunnområdet ved Langfjordstrømmen, ca. 500 m nordvest for Strømmen bru. Den ble også satt nokså nær land på nordsiden, over største dyp i tverrsnittet med bunn på 10 m i forhold til sjøkartnull. Måleren ble forsøkt plassert ca. 7 m over bunnen, dvs. 3 m under sjøkartnull. Sammenligning av temperaturdata med dypprofiler tyder på at den i virkeligheten havnet høyere, ca. 1 meter under sjøkartnull, altså omkring 2 meter under lavvann (se side 40).

¹ Seacat SBE 19 CTD fra Seabird Electronics, måler saltholdighet, temperatur og trykk, se side 31.

² Strømmåler: MKII Ultrasonic Current and CTD Monitoring system (UCM-40), se side 31.



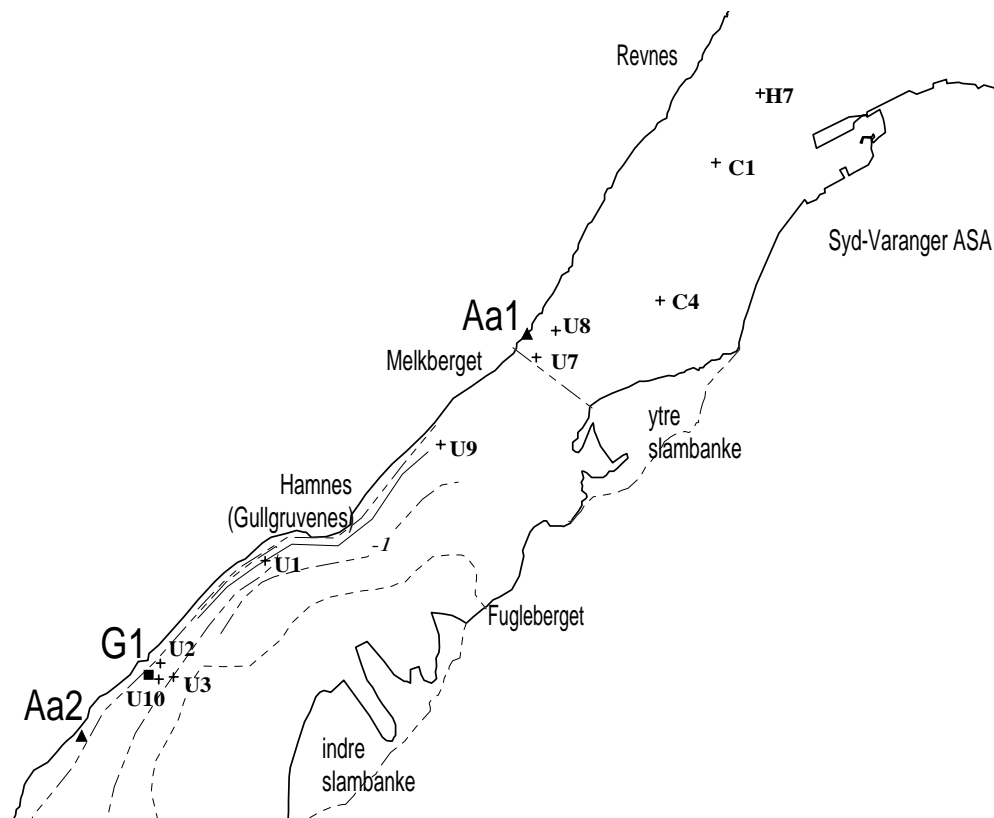
Figur 6. Posisjoner for fast plasserte instrumenter: Aanderaa vannstandsmålere (Aa1, Aa2), Sensordata STD-sonder (STD1, STD2) og Sensordata strømmålere (G1- G2).

5.2 Måleprogram 26. og 27. august

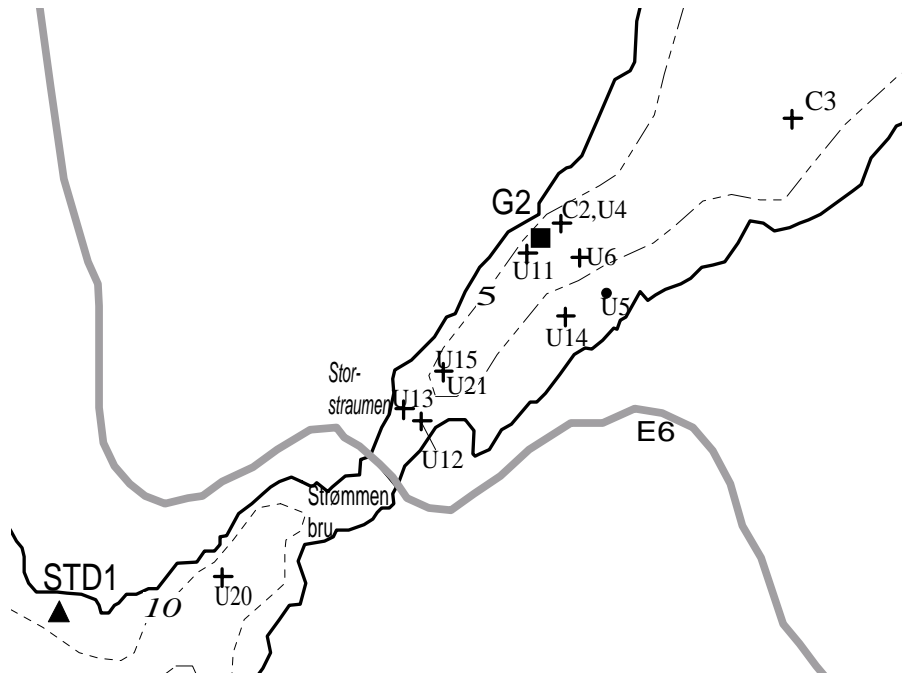
Den 26. og 27. august ble det utført målinger fra båt.

- I noen dypprofiler ble lagdelingen i vannet, ved saltholdighet, temperatur og oksygeninnhold, målt med Seacat SBE 19 CTD fra Seabird Electronics. Saltholdighet og temperatur bestemmes ganske nøyaktig av dette instrumentet, mens oksygensonden (YSI-sonde) erfaringsmessig ikke er noen presisjonsmåling. Data lagres internt, og overføres til datamaskin etterpå. Vedlegg A.1. beskriver flere detaljer om instrumentet og om fremgangsmåten for primærbearbeiding av data.
- I en del flere dypprofiler ble det målt med MKII Ultrasonic Current and CTD Monitoring system (UCM-40) fra Sortec AS. Dette instrumentet måler både strømprofil og lagdeling (saltholdighet og temperatur). Detaljer om målemetodikk og bearbeiding av data er gitt i vedlegg A.2.
- Det ble også tatt en del vannprøver for analyse av næringssaltinnhold, og et par vannprøver for analyse av partikulært stoff og oksygeninnhold, i hovedsak 27. august, og en enkelt bunnprøve. Prøvetakingsmetode og analysemetoder er beskrevet i vedlegg A.3.
- Bunndyp ble målt med ekkolodd med 1 m oppløsning, og det ble gjort enkelte målinger av sikten i overflatevannet med Secchi-skive.

Måleprogrammet er beskrevet i tabellen i vedlegg B.2, og posisjonen til målepunktene er vist på kart i Figur 7 til Figur 9.



Figur 7. Målepunkter mellom Langfjordstrømmen og Kirkenes for CTD (C1, C4) og UCM (U1-U3, U7-U10) 26. august samt vannprøver (H7) 27. august. Målepunkter Aa1, Aa2 og G1 for kontinuerlige registreringer tegnet inn som referanse.



Figur 8. Dypprofiler målt i nærheten av Strømmen bru: CTD (C2, C3 - 26. august) og UCM (U4-U6 utstrømning 26. august, U11-U15 innstrømning 26. august, U20-U21 innstrømning 27. august) Målepunkter G2 og STD1 for kontinuerlige registreringer tegnet inn som referanse.

Den praktiske gjennomføringen ble i stor grad styrt av at det ikke er mulig å gå med båt gjennom Storstraumen i utstrømningsperioden, fordi strømmen da danner et kraftig elvelignende stryk i ca. 100 m lengde. Under hver slik periode måtte derfor målingene skje kun på den ene siden av Storstraumen. Utstrømningsperiodene er vesentlig lengre enn innstrømningsperiodene (se nedenfor), og dette la vesentlige begrensninger på måleprogrammet. Bl.a. var det opprinnelig tanken å måle på begge sider av Storstraumen under en utstrømning, for å se hvilket dypintervall det trekkes vann fra ved utstrømningen fra indre del av fjorden mot Storstraumen. Med den begrensede feltperioden ble det ikke tid til å kartlegge dette når en ikke kunne gå gjennom Storstraumen ved utstrømning.

Den 26. august ble måleprogrammet i hovedsak konsentrert til fjorden utenfor Storstraumen.

Under siste fase av utstrømningen fra Storstraumen (kl.7:40 - 10:00 UTC) ble det målt bare i det ytre fjordområdet. Strømprofil og lagdeling ble målt både i kanalen (U1-U3 i Figur 7) og inne ved Strømmen bru (U4-U6 i Figur 8). I et par profiler ble CTD brukt (C1 ute ved Sydvaranger ASA, se Figur 7, og C2 nærmere Strømmen bru, se Figur 8). Kartlegging av topografien med ekkolodd ble påbegynt.

Fra tiden for lavvann (kl.10:00 UTC) ble et par timer brukt til å kartlegge bunnforholdene i det ytre fjordavsnittet ved hjelp av ekkolodd. I denne perioden var det økende vannstand i ytre fjord, men det var fortsatt kraftig utstrøm i Storstraumen. Resultatet av opploddingen er vist på kartet i Figur 2 (side 17). Dypangivelsene viser notert ekkolodd-dyp (på hele meter) justert til sjøkartnull ved hjelp av vannstandsmålinger. Noen av punktene ble stedfestet ved krysspeiling¹ til definerte punkter på land som kunne identifiseres på kommunens detaljkart. Det ble også målt noen snitt på tvers av fjorden ved Langfjordstrømmen og ut mot Melkberget ved å gå med jevn hastighet mellom definerte fastmerker på land, og beregne beliggenheten av registreringene i fjordverrsnittet ut fra tidspunkt. Kartleggingen av topografien må bare anses som grovt kartlagt, men målingene bidro likevel til å gi et mye bedre bilde

¹ Målte kompassretninger måtte korrigeres for misvisning som er beregnet til å være ca. -12 grader ut fra tilgjengelige opplysninger.

av topografien enn det som var kjent fra eksisterende kart og tidligere oppmålinger. Resultatene er drøftet foran i rapporten under presentasjon av topografiske data (kapittel 4.1.1) i sammenheng med andre topografiske data.

Også under den etterfølgende innstrømningen i Storstraumen om ettermiddagen 26. august ble det i hovedsak målt strøm og lagdeling på forskjellige punkter i det ytre fjordavsnittet, både utenfor slam-banken (C4, U7, U8), i kanalen (U9, U10, U11) og lenger inn mot Strømmen bru (C3, U12-U15). Denne måleperioden begynte omtrent da innstrømningen gjennom Storstraumen startet kl. 13:45 UTC (det hadde da vært stigende vannstand i vel tre timer i det ytre fjordområdet), og varte til innstrømningen godt og vel hadde passert maksimum (kl. 16:30 UTC).

Målingene denne dagen ble avsluttet med en CTD-profil (C5) på det dypeste punktet i bassenget innenfor Strømmen bru (*Gukkesvuodna*) (Figur 9). Det ble samtidig tatt en vannprøve fra 60 m dyp for oksygenanalyse. Målingene ble avsluttet kl 17:30 UTC.

Den 27. august under utstrømningsperioden i Storstraumen (kl.6:30 - 14:00 UTC) ble det gjort målinger i fjordbassengene innenfor Strømmen bru. Det ble tatt vannprøver på 6 stasjoner (H1-H6) i disse bassengene, og tilslutt også en stasjon ute ved Sydvaranger ASA som referanse (H7). Prøvetakingen ble foretatt i dypområdet i det sørligste bassenget (H1), ved utløpet av Sandneselva (H2) og på fire stasjoner i økende avstand nordover fra det kommunale kloakkslippet nord for terskelen ved Sandnes (H3-H6). Stasjonsplasseringen er vist i Figur 9. Vannprøvetakingsprogrammet er oppsummert i Tabell 5.

Tabell 5. Vannprøvetakingsprogram - oversikt over stasjoner, dyp og analyse-variable

Prøvedyp (m):	Stasjon (se Figur 7 til Figur 9)						
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
0.2	pCN	N+P					pCN
1	N+P		N+P	N+P	N+P	N+P	N+P
5	N+P		N+P	N+P	N+P	N+P	N+P
10	N+P		N+P	N+P	N+P	N+P	N+P
25	N+P					N+P	
55-60	N+P,O2					O2	
Bunndyp (m):	60-65	6	9	12	13	60-65	28
Tilhørende sjiktningmåling:		U16	U18	U19		(C5)	

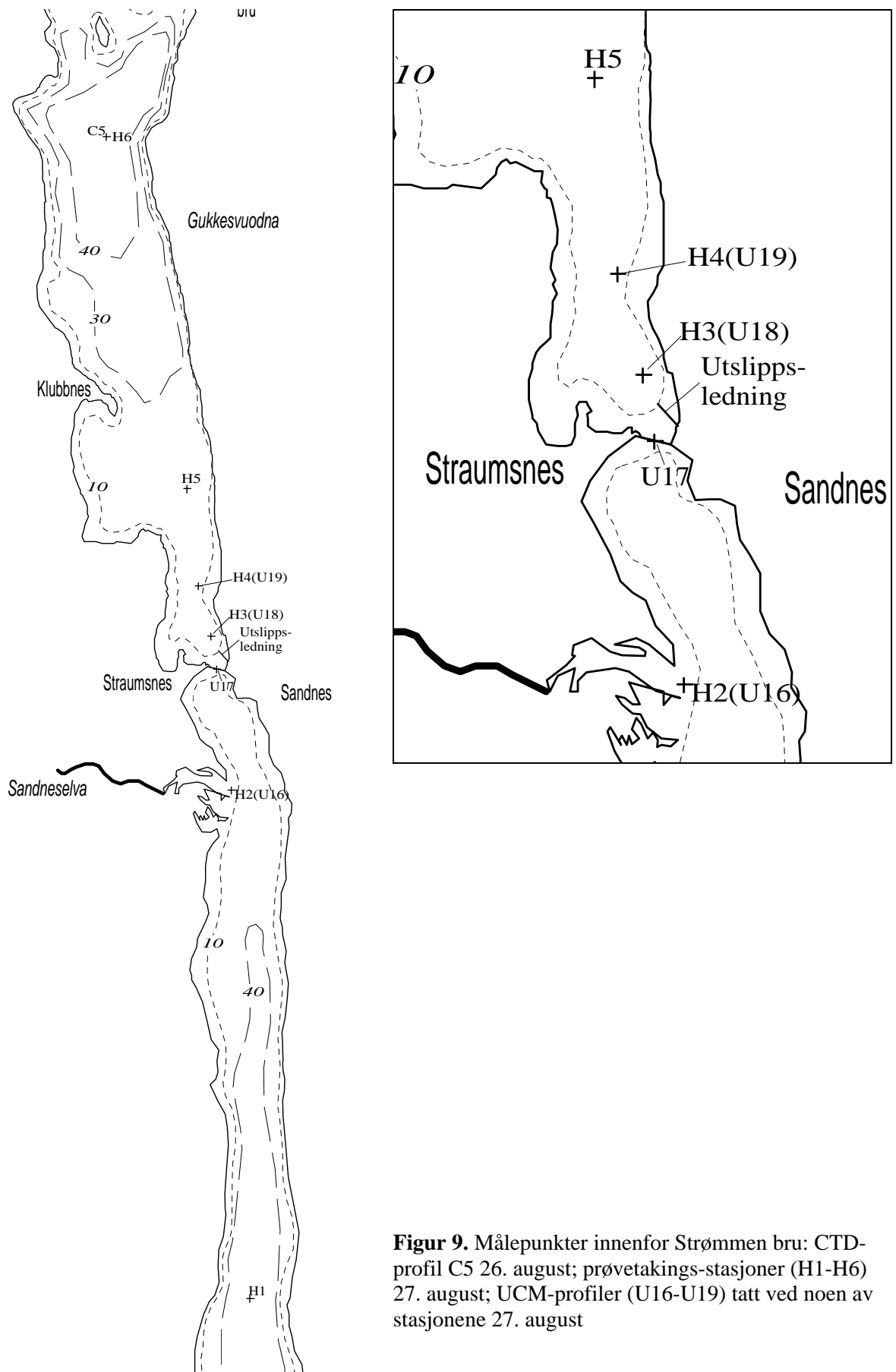
Analyseparametre:

pCN: Partikulært organisk C og N

N+P: Nitrogen (total-nitrogen, ammonium og nitrat), og fosfor-innhold (total-fosfor, ortofosfat)

O2: Oksygeninnhold (Winkler)

Stasjon H2-H5 og noen av analysene på H6 ble tatt på oppdrag for Sør-Varanger kommune som tillegg til det avtalte måleprogrammet for Sydvaranger ASA. Hensikten var å se om det kommunale kloakkslippet nord for Sandnes kan spores i vannkvaliteten. Måleprogrammet ble utvidet tidsmessig for å få til dette. Stasjonen H6 27. august var omtrent sammenfallende med posisjonen for CTD-profilen C5 fra kvelden før. På denne stasjonen ble det i tillegg til vannprøver for næringssaltanalyser også tatt en bunnprøve med grabb. Hensikten var å få et inntrykk av hvordan bunnforholdene var på stort dyp i dette bassenget, som et supplement til prøver fra mindre dyp lenger sør som var tatt av Akvaplan-NIVA i 1995 (Velvin 1995).



Figur 9. Målepunkter innenfor Strømmen bru: CTD-profil C5 26. august; prøvetakings-stasjoner (H1-H6) 27. august; UCM-profiler (U16-U19) tatt ved noen av stasjonene 27. august

Det ble også målt strøm-profil og lagdeling med UCM-40 ved noen av prøvetakingsstasjonene (U16 ved H2, U18 ved H3 og U19 ved H4) og i strømtverrsnittet ved terskelen ved Sandnes (H3). Dette er også vist på Figur 9).

Strømprofil ble dessuten målt med UCM-40 innenfor og utenfor Storstraumen om ettermiddagen etter at innstrømningen var i gang (U20-U21, se Figur 9). Målingene 27. august ble avsluttet kl. 16:30-17:00 UTC, omtrent ved høyvann i Bøkfjorden, med vannprøvetaking på en stasjon (H7) rett ut for Sydvaranger ASA.

Seacat CTD ble også brukt ved noen av stasjonene den 27. august (se feltlogg i Vedlegg B.2), men det ble senere oppdaget at kjøringene fra denne datoen ikke var blitt registrert. Det ser ut til å skyldes et problem som hadde oppstått i forbindelse med et forsøk på å overføre data fra instrumentet til data-maskin etter den første måledagen og som gjorde at instrumentet ikke hadde gått i hvilemodus klar til måling slik det skal automatisk ifølge brukermanualen. Lagdelingen ble derfor dessverre ikke registrert på stasjonene H1, H5, H6 og H7 i forbindelse med prøvetakingen. På den siste stasjonen, H7 ved Sydvaranger ASA, ble det tatt vannprøver fra 5 og 25 m dyp for saltholdighetsanalyse.

Både på stasjon H1 og H7 ble det også tatt vannprøver fra overflaten (20 cm dyp) for måling av partikulært totalt organisk karbon og totalt partikulært nitrogen.

6. Feltarbeidet i august 1999 - resultater

Dette kapitlet gjennomgår resultatene fra feltarbeidet, i hovedsak for en og en datatype. Noen av datasettene omtales bare her, og beskrives mer i detalj i vedlegg bakerst i rapporten. En analyse hvor data ses i sammenheng finnes i kapittel 7.

Når det gjelder presentasjon av data gjelder generelt følgende:

- Alle målte kompassretninger er korrigert for misvisning, som er beregnet til å være ca. -12 grader ut fra tilgjengelige opplysninger, dvs. at det er lagt 12 grader til målt kompassretning for å få retning i forhold til geografisk nord.
- Alle dyp i tabeller og figurer refererer til sjøkartnull for Varangerfjorden der det ikke sies noe annet. For fjorden utenfor Strømmen bru vil vannstanden stort sett variere mellom 0.5 m og 3.5 m over sjøkartnull. For fjorden innenfor Strømmen vil den stort sett variere mellom 2.1 og 2.5 m over dette nivået. Dyp profiler presenteres med økende positivt dyp nedover, og negativt dyp for nivåer som ligger høyere enn sjøkartnull.

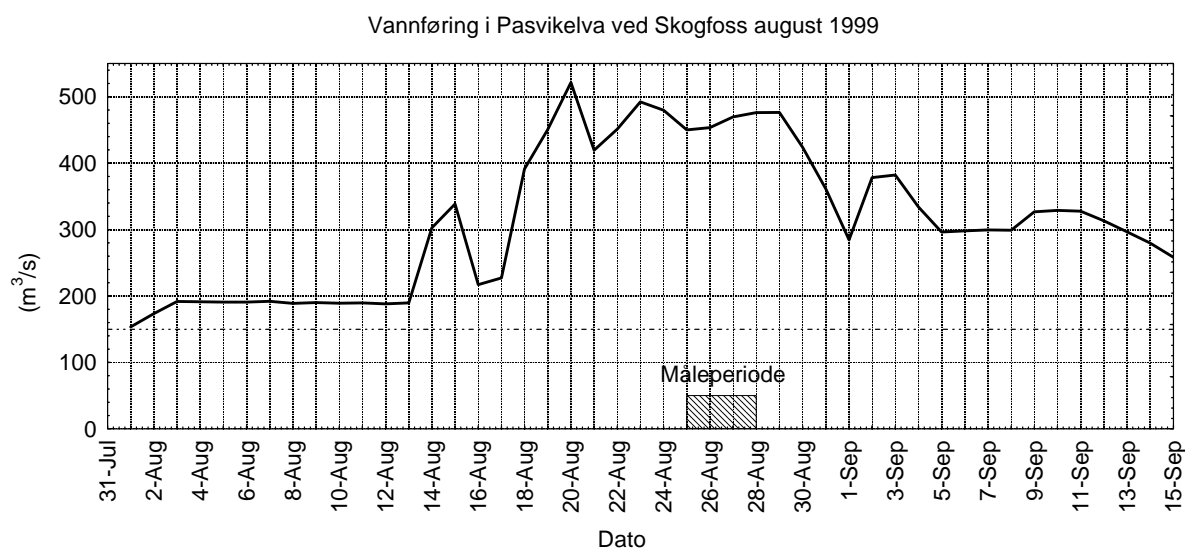
6.1 Værforhold og ferskvannstilførsel under feltarbeidet

Utskrift av 6-timers data (kl. 07, 13 og 19) fra DNMI, Klimaavdelingen for værstasjonen ved Kirkenes Lufthavn nord for Langfjorden data viser at det 24. august var sørlig bris av gjennomsnittlig styrke 5-7 m/s. Den 25. august var det vind fra vest (280-290°) av gjennomsnittlig styrke ca. 10 m/s, med ca. 17 m/s i kastene. Neste dag, under strømmålingene i den ytre delen av fjorden, viser DNMI's data at det fortsatt var vestlig vind, men dreid litt i sørlig retning (270-250°) med gjennomsnittlig styrke 7-8 m/s om formiddagen og omtrent vindstille om kvelden. Denne dagen var det gråvær, men lite regn. Torsdag 27. august var det en del sol midt på dagen. DNMI's data viser vind fra nord (330-350°) av styrke 5-6 m/s om morgenen og formiddagen. Vindmålinger fra båten 27. august viste nordlig vind med styrke 3-6 m/s i de indre delene av Langfjorden. Begge disse dagene var det bare svak vind om kvelden.

Lufttrykket varierte ifølge DNMI's data innenfor et intervall som tilsvarer 5 cm vannsøyle i måleperioden.

Det kom ca. 5 mm nedbør 25. august, men ellers var det lite nedbør under feltarbeidet og i dagene før. Det hadde imidlertid regnet kraftig i området en uke før. DNMI's data viser at det ved Kirkenes lufthavn kom 60 mm nedbør 14. og 15. august, og til sammen 91 mm i tidsrommet 17.-20. august. Samlet for det lokale nedbørsfeltet på 390 km² gir dette en vannmengde på 59 mill. m³, som tilsvarer 34 % av normal årsavrenning til Langfjorden (kfr. kapittel 4.2). Temperaturen varierte stort sett mellom 6 og 10 °C under feltarbeidet. I den foregående regnværsperioden var den i det samme området, men i ukene før det hadde det vært noe varmere, typisk 12-15 °C.

Data for lokal ferskvannstilrenning er ikke direkte tilgjengelig, men Figur 10 viser vannføringen i Pasvikelva ved Skogfoss (kilde Pasvikkraft ASA) for august og første halvdel av september. Det sees at målingene ble gjort i en periode med stor ferskvannstilførsel til Bøkfjorden. Det hadde som nevnt regnet kraftig i området i uken før, og det har tydelig gjort utslag på vannføringen, som frem til 14. august hadde ligget konstant på 190 m³/s. Vannføringen på 450-500 m³/s forekommer bare en gang pr. år eller sjeldnere (se Figur 4 side 24). Det betyr at Bøkfjorden har vært spesielt sterkt påvirket av ferskvann i måleperioden. De to første markerte flomtoppene faller godt sammen med de to nedbørsperiodene, og skyldes antagelig avrenning fra de nedre delene av nedbørsfeltet, mens den fortsatt høye vannføringen under feltmålingene må antas å skyldes avrenning fra de øvre delene av nedbørsfeltet, bl. a. via Enare-sjøen. Siden Pasvikelva må antas å ha lenger responstid enn de lokale elvene, er det rimelig å anta at disse elvene har hatt flomtopper før feltarbeidet, men ikke så stor vannføring i selve måleperioden. Målingene ble altså antagelig gjort i en periode ca. en uke etter stor ferskvannstilrenning både lokalt til Langfjorden og til Bøkfjorden, og mens det ennå var stor ferskvannstilførsel til Bøkfjorden.



Figur 10. Døgnvannføring i Pasvikelva ved Skogfoss i perioden omkring feltarbeidet i august 1999. Måleperioden er indikert med skravert felt.

6.2 Vannstandsmålinger

Vannstandsvariasjonene pga. tidevann endrer seg med månefaser og årstid. I følge tidevannstabellene (Statens kartverk ved Sjøkartverket 1999) vil lavvannstand variere fra omkring 0 til 110 cm over sjøkartnull ved Kirkenes. Middelvannstand er 186 cm og høyvannstand varierer fra 262 til 372 cm over sjøkartnull. Forskjellen mellom flo og fjære vil i hovedsak variere fra 140 cm (flo 250 cm, fjære 110 cm) til 350 cm (flo 350 fjære 0). Under feltarbeidet 25.-28. august 1999 var vannstandsvariasjonen ganske stor, med lavvannstand fra 80 til 50 cm og høyvannstand mellom 285 og 325 cm over sjøkartnull.

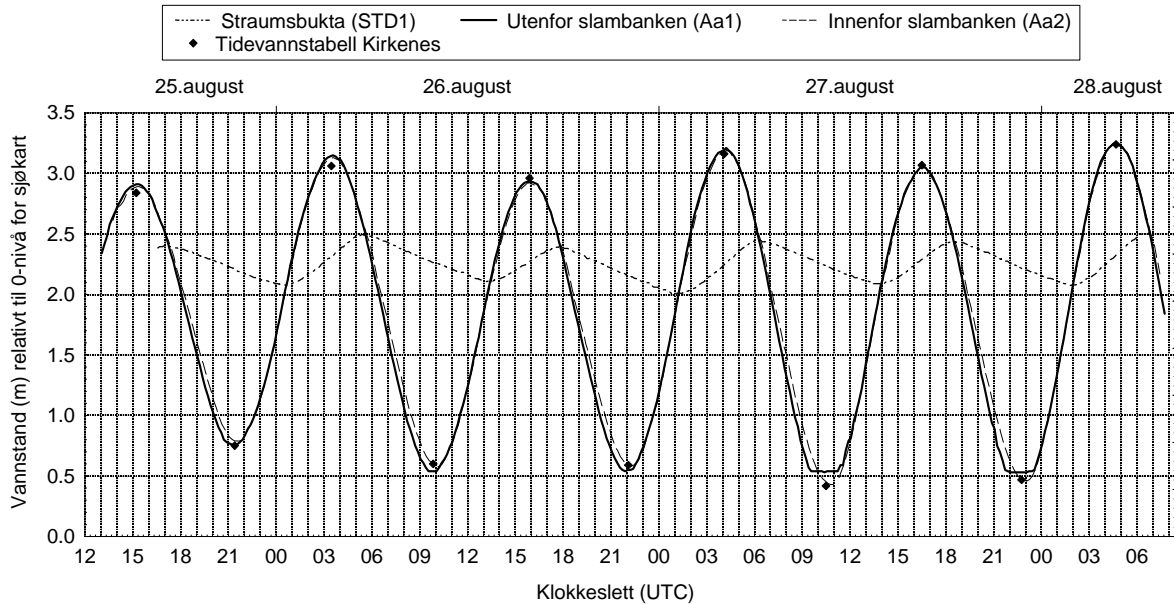
Vannstandsvariasjonene på de tre ytterste målepunktene (Aa1, Aa2 og STD1, se Figur 6) er sammenlignet i Figur 11. Instrumentene registrerer egentlig bare relativ variasjon i vannstand, siden den absolute verdien er litt tilfeldig, avhengig av det dypet trykksensoren settes på. For den grafiske fremstillingen er trykket derfor justert med en konstant for hvert instrument ut fra en visuell tilpasning av kurvene. Utgangspunktet er vannstand ved høyvann og lavvann for Kirkenes som oppgitt i tidevannstabellen fra Sjøkartverket. Det er markert med punkter på figuren. Vannstanden i punkt Aa1, utenfor Slambanken, er først justert slik at det faller best mulig sammen med verdiene i tidevannstabellen. Overensstemmelsen er meget god, med en forskjell på ca. 2.5 meter mellom høyvann og lavvann. Måleren ved Aa1 har stått litt for høyt i forhold til de siste lavvannsnivåene, slik at den er kommet i luft i en periode rundt lavvann, og kurven er derfor litt kuttet av i bunnen.

Vannstanden i punkt Aa2, innenfor Slambanken, er justert slik at den faller sammen med Aa1 litt etter høyvann, omtrent på det tidspunktet hvor volumreduksjonen i den ytre delen tilsvarer innstrømningen i Storstraumen, slik at det skulle være lite strøm over slambanken. Ved synkende vannstand viser kurvene en forsinkelse innenfor slambanken i forhold til utenfor på opp til 15 cm, og lavvann innenfor banken kommer 10-15 minutter senere enn utenfor. Lavvannstand innenfor banken ligger imidlertid bare 5 cm over lavvannstand på utsiden, og det er altså praktisk talt ingen forskjell i vannstandsvariasjoner på grunn av slambanken. I den korte perioden med stigende vannstanden både innenfor og utenfor Strømmen bru, og med maksimal strøm inn over slambanken, er det et fall på 4-5 cm fra Aa1 til Aa2.

Vannstanden¹ i Straumbukta (målepunkt STD1) på innsiden av Strømmen bru varierer mye mindre enn utenfor, og sterkt faseforsinket (2-3 timer). Kurven for STD1 er justert med en konstant slik at den skjærer vannstandskurven fra utsiden av brua ved tidspunkt for høyeste og laveste vannstand innenfor.

¹ Vannstandskurven for STD1 er funnet ved glatting av rådata, som ble registrert med 1 minutt intervall. Først er det tatt 5 punkts glidende median og deretter 10-punkts glidende middel av medianverdiene.

Variasjonene mellom tidevannssyklusene i de to kurvene stemmer godt overens. Vannstanden på innsiden varierer regelmessig, og styres av innstrømning og utstrømning gjennom Storstraumen, som funksjon av vannstandsforskjellen mellom området innenfor og utenfor. En tilsvarende måler som i STD1 ble også satt ut innenfor Sandnes bru (punkt STD2) på ca. 3-4 meters dyp, men den ga som nevnt helt urimelige resultater (se vedlegg E.3).



Figur 11. Vannstandsvariasjoner i Langfjorden under måleperioden i august 1999. Horisontalaksen viser UTC-tid. Lokal sommertid finnes ved å legge til 2 timer.

De tre vannstandsmålerne som ga gode resultater bekrefter og kvantifiserer det som kunne observeres direkte under feltarbeidet. Det typiske forløpet for en tidevannssyklus kan beskrives slik:

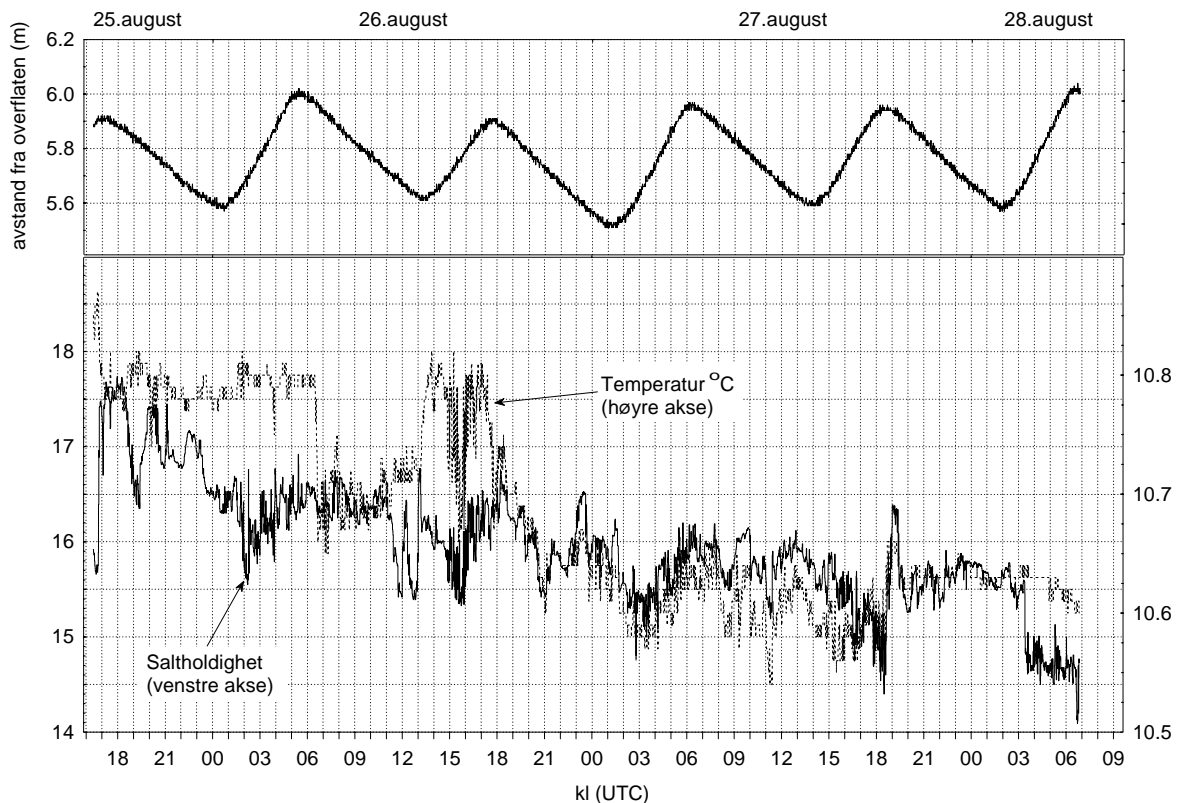
I hver tidevannssyklus stiger vannstanden innenfor Strømmen bru over et tidsrom på 4.5-5 timer omkring tidspunkt for høyvann på utsiden, og synker over et tidsrom på 7.5-8 timer rundt tidspunktet for lavvann på utsiden. Vannstanden utenfor Strømmen bru er ved lavvann opp til 1.9 meter lavere enn på innsiden. I det meste av hver utstrømningsperiode renner vannet ut av fjorden som et elvestryk i ca. 100 meters lengde i Storstraumen rett utenfor Strømmen bru. Utstrømningen er da bare begrenset av tverrsnittet og vannstanden på innsiden, og helt uavhengig av vannstandssenkningen på utsiden. Frem mot lavvann er det som nevnt også en viss vannstandsforskjell over slambanken, økende fra 10 til 15 cm ettersom vannstanden synker. Denne vannstandsforskjellen gir en trykkforskjell som driver vannet ut over slambanken.

I 3 til 3.5 timer etter at lavvann på utsiden er passert, fortsetter utstrømningen gjennom Storstraumen. I denne perioden fylles området mellom Strømmen bru og Slambanken fra begge sider. Deretter blir vannstanden høyere på utsiden enn innenfor, og innstrømningsperioden i Storstraumen starter. Innstrømningen er sterkt begrenset av den grunne og trange kanalen ved Strømmen bru, og vannstanden innenfor øker langsommere enn utenfor. I denne perioden er det en klar sammenheng mellom innstrømning og vannstand på utsiden. Innstrømningen er større enn utstrømningen, fordi det nå er vannstanden på utsiden som driver strømmen, og både tverrsnitt og hastighet i det begrensende tverrsnittet blir større.

Dette forløpet vil i prinsippet gjelde generelt, men med variasjoner ettersom flo og fjære varierer med månefaser og årstid. I perioder hvor høyvannstanden øker fra syklus til syklus vil innstrømningene vare lenger og bli sterkere. Med synkende høyvannstand fra syklus til syklus vil utstrømningene vare lenger og vannutvekslingen med indre deler av Langfjorden generelt bli mindre.

Målingene ble gjort ved forholdsvis stor, men ikke maksimal tidevannsamplitude, og nokså nært etter en periode med små tidevannsforskjeller. I dagene før, fra 19. til 22. august, var lavvannstand omkring 110-120 cm, og høyvann omkring 250 cm. Dette endret seg i løpet av 23. til 25. august til de forhold som gjaldt under måleperioden.

Sonden i STD1 målte også saltholdighet og temperatur. Figur 12 viser hvordan disse variablene varierte i sammenheng med vannstandsvariasjonene ca. ½ meter over bunnen på ca. 6 m dyp. Det er en generell trend i retning av avtagende saltholdighet og temperatur gjennom hele måleperioden, men med en god del svingninger. Det er en viss tendens til at saltholdigheten har et maksimum når vannstanden er på det høyeste, og et minimum rett etter lavvann på innsiden, og tre av innstrømningsperiodene (første, andre og siste) er preget av at temperaturen er høyere i forhold til saltholdigheten. Temperaturen ligger generelt over det som ble observert på utsiden, og det er neppe innstrømmende vann direkte som gjør seg gjeldende. Ellers ser variasjonene ut til å være uavhengige av inn/utstrømningsfasen. Det kan være rimelig å se svingningene i sammenheng med interne bølger i tetthetsflatene knyttet til tidevannsvariasjonene, kombinert med horisontale bevegelser knyttet til inn-utstrømning drevet av vind.

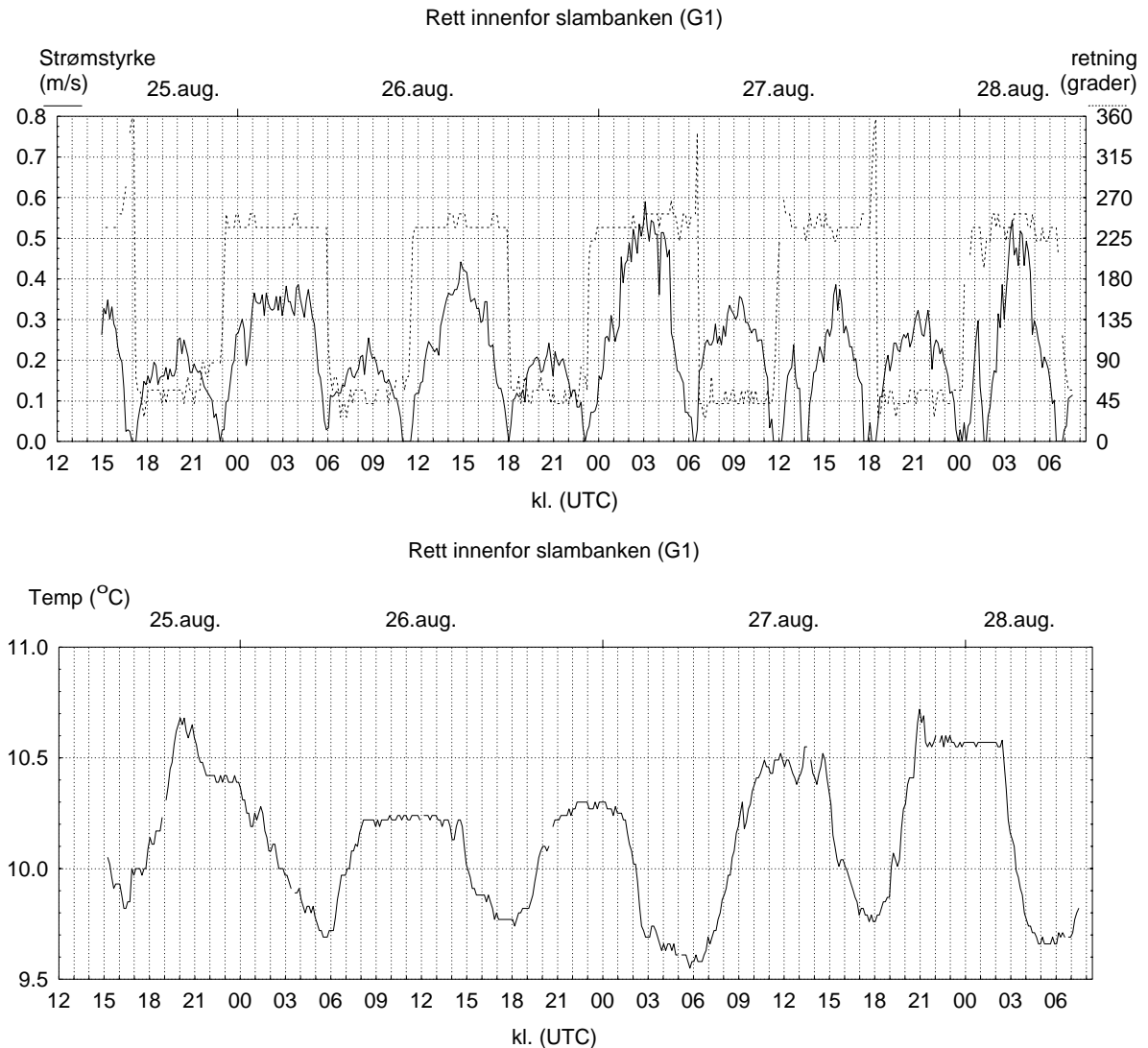


Figur 12. Variasjon over måleperioden i trykk som avstand (m) fra overflaten (øverst) og temperatur og saltholdighet i måledyp for STD-sonden i Straumsbukta.

6.3 Kontinuerlige strømmålinger

Resultatene fra de fast plasserte strømmålerne i målepunktene i ytre del av fjorden er vist i Figur 13 og 14. Dataseriene er ikke helt kontinuerlige pga. enkelte feilregistreringer som markeres av loggeren i instrumentet og fjernes fra datafilen.

En sammenligning av data fra strømmåleren ved G1 (Figur 13) rett innenfor kanalen gjennom slambanken med temperatur og strøm fra UCM-profil U10 fra samme sted 26. august kl. 15.08 (se side 93) tyder på at den planlagte plasseringen ca. 2 m under sjøkartnull ble oppnådd ganske godt.



Figur 13. Resultater fra strømmåler 3 m under nullnivå rett innenfor Slambanken ved målepunkt G1 (se Figur 6). Øverst panel viser strømstyrke (venstre akse) og strømretning (korrigert for misvisning, høyre akse) og nederste panel temperatur.

Data fra strømmåleren ved G1 viser et klart og ganske regelmessig mønster knyttet til tidevannsperioden på 12.4 timer, med utstrøm i 5.5-6 timer (strømretning ca. 60 grader) og innstrøm i 6.5-7 timer (strømretning ca. 240 grader). Sammenligning med vannstandskurvene i Figur 11 viser at innstrøm ved G1 begynte ca. 1.5 time etter at lavvann var passert på utsiden. På dette tidspunkt i tidevannssyklusen kan vannstandshevningen ikke lenger ivaretas bare av den fortsatte utstrømningen fra Storstraumen, men krever innstrøm fra Bøkfjorden i tillegg. Strømhastigheten innover økte til 15-25 cm/s ettersom vannstandsøkningen tiltok og utstrømningen fra Storstraumen ble mindre. Når det skiftet til innstrøm i Storstraumen, økte hastigheten videre opp mot 30-50 cm/s. Strømmen innover ved G1 hadde som regel sitt maksimum omtrent idet høyvann ble passert på utsiden av brua, men fortsatte etterpå i et par timer med avtagende hastighet. I denne fasen av tidevannssyklusen synker riktignok vannstanden på utsiden, men innstrømningen gjennom Storstraumen er større enn volumreduksjonen mellom Strømmen bru og slambanken, slik at det også må trekkes vann inn fra Bøkfjorden. Innstrømningen ved G1 snudde omtrent samtidig med at Storstraumen snudde til utstrøm. Integrert over en tidevannsperiode er innstrømningen mye større enn utstrømningen, slik at det alt i alt har vært en netto innstrømning på dette punktet. Det er rimelig, fordi innstrømningen vil være mer konsentrert som en stråle inn fra kanalen langs den nordvestre bredden, mens utstrømningen mot kanalen vil være mer fordelt i tverrsnittet.

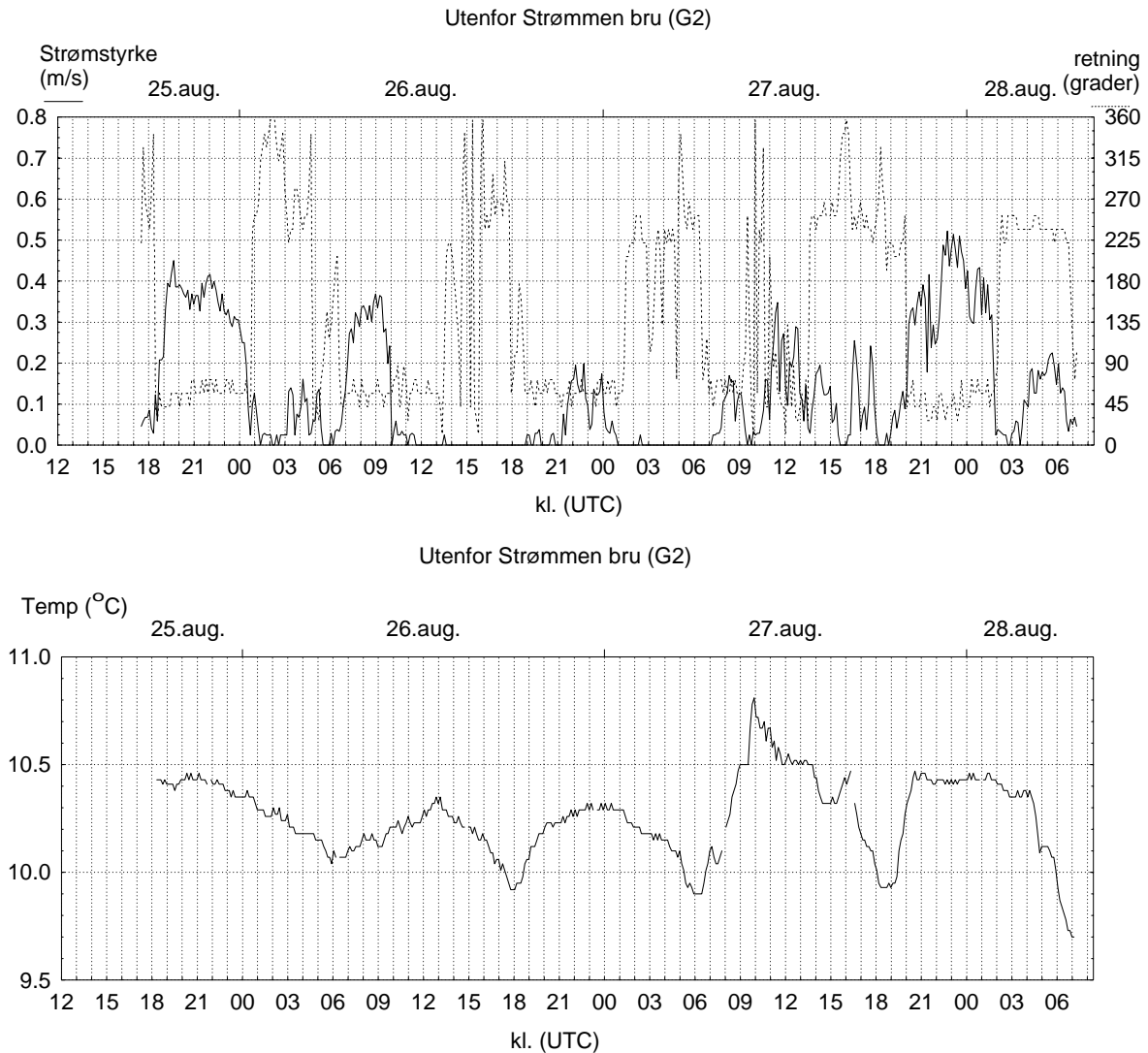
Det var en viss variasjon mellom tidevannssyklusene både mht. maksimal strømhastighet og variasjonsmønsteret. De to siste innstrømningsperiodene ble innledet av en kortvarig puls (ca. en time) etterfulgt av en kortvarig stans i strømmen på måledyp før hovedinnstrømningen begynner. Det henger antagelig sammen med at det i begynnelsen av innstrømningen bare er overflatevann som strømmer inn. Med stigende vannstand vil også tyngre vann løftes opp og kan strømme inn og fylle opp området innenfor. Hvis det skjer raskt nok vil overflatevannet stanse opp, inntil innstrømningen i Storstraumen setter i gang. Det er rimelig at dette har slått sterkest ut for de siste tidevannssyklusene i måleperioden, da minstevannstanden var lavere enn for de foregående syklusene.

Temperaturvariasjonene i måledyp (nederste del av Figur 13) viser også et klart mønster, selv om det var betydelige variasjoner fra periode til periode. Omkring de tidspunktene da strømmen snudde fra innstrøm til utstrøm passerte temperaturen et minimum på 9.6 til 9.8 °C, tilsvarende vann av saltholdighet 20 til 22 i profilene på utsiden av slambanken. Det typiske for måleperioden er at temperaturen økte med ca. 0.5 °C i løpet av de første 2-3 timene av utstrømningen, og deretter holdt seg omtrent konstant på 10.2-10.6 °C i noen timer, også en stund etter at innstrømningen har begynt ved strømmåleren. Dette tilsvarer temperaturen innenfor Strømmen bru fra overflaten og ned til ca. 6 m dyp (CTD-profil C5, Figur 27 side 85). Temperatur-reduksjonen kom gjerne ganske brått omtrent fra det tidspunktet da det snudde til innstrøm i Storstraumen. Koblet med data om lagdelingen kan dette gi et bilde av hvilke vannmasser som strømmer forbi måleren i ulike faser av tidevannsperioden. Det ser ikke ut til at vertikale bevegelser av måleren i forhold til bunnen pga. varierende skråstilling av tauet med varierende strømstyrke har spilt noen særlig rolle, da skulle en sett temperaturendringer i perioden med økende strømhastighet innover.

Strømdata fra målepunkt G2 lenger inne mot Strømmen bru viser et noe annet mønster (Figur 14). En sammenligning med strøm- og temperaturprofiler målt med UCM ved G2 den 26. august kl. 9:02 (U4, side 90) og 15:25 (U11 side 93) tyder på at denne måleren har vært plassert noe høyere opp enn planlagt, anslagsvis 1 m under sjøkartnull.

Strømretningen ved G2 var i stor grad direkte knyttet til strømretningen i Storstraumen, og skiftet med stigende og synkende vannstand innenfor. Strømhastigheten utover kom typisk opp i 0.3-0.5 m/s, men dette er svært variabelt fra periode til periode. Ved innstrøm var det gjennomgående ganske lave strømhastigheter (under deteksjonsgrensen for måleren), og i mer varierende retning. Denne forskjellen på utstrøm og innstrøm er rimelig, siden målepunktet ligger nær den nordlige bredden, i forlengelsen av strømretningen i Storstraumen. Utstrømningen herfra vil gå videre som en konsentrert stråle i retning G2. Ved innstrøm vil vannet trekkes inn mer jevnt fordelt i hele tverrsnittet, det kan til og med se ut som en har en bakevje-effekt ved G2, som gjør at det ikke blir noe særlig innstrøm her. Dette bekreftes også av målinger med UCM (se kapittel 6.4.2).

Temperaturminimum ved G2 lå høyere enn ved G1, rundt 9.9 °C, og kom gjerne litt før strømmen snudde utover. Stort sett økte den eller holdt seg konstant under utstrøm, og avtok under innstrøm. Det var imidlertid store variasjoner fra periode til periode. Den første tidevannsperioden avtok temperaturen jevnt gjennom utstrømning og innstrømning, og den 27. august økte temperaturen til 10.8 °C i en periode med utstrømning fra Storstraumen og sterkt varierende strømretning ved målepunktet. Sammenligning med måling av salt og temperatur-profil inne i fjorden (CTD-profil C5, se nedenfor) tyder på at det utstrømmende vannet hadde større innslag enn normalt av vann som om kvelden den 26. august lå på 10 m dyp inne i det midtre bassenget i Langfjorden. Nordlig vind den dagen kan ha drevet overflatelaget sørover og brakt det litt varmere vannet nærmere overflaten i den nordlige enden ved Strømmen bru. Ved de andre utstrømningene var det lavere temperaturer (10.2 - 10.4 °C), mer likt temperaturen i overflatelaget i CTD-profil C5.



Figur 14. Resultater fra strømmåler 3 m under null-nivå 500 m utenfor Strømmen bru ved målepunkt G2 (se Figur 6). Øverst panel viser strømstyrke (venstre akse) og strømretning (korrigert for misvisning, høyre akse) og nederste panel temperatur.

6.4 Dypprofiler av temperatur, saltholdighet, oksygen og strøm

6.4.1 CTD-profiler

Data fra CTD-målingene er vist som dyp-profiler i figurer i Vedlegg C (side 82ff). Oksygenkonsentrasjonene er korrigert som beskrevet i vedlegg E.1. En må regne med begrenset absolutt nøyaktighet for oksygen målt med slike sonde som benyttet her, kanskje ikke bedre enn 1 ml/l. Variasjonene med dypet innenfor hver profil pga. målefeil bør være en del mindre, uten at dette helt kan kvantifiseres. Variasjon i vertikalen kan være mer pålitelige enn absolutte verdier og sammenligninger mellom stasjoner og tidspunkter.

Profilene C1 og C4, som er fra samme område, utenfor den ytterste slambanken, er vist sammen i Figur 24 på side 83. De viser at vannet i området utenfor Sydvaranger ASA var sjiktet i flere lag, og med markerte vertikale bevegelser i løpet av måleperioden. CTD-profilene C1 og C4, som er tatt i dette området under hhv. synkende og stigende vannstand 26. august kl. 7:45 og 14:10 UTC, dvs. med ca. 6.5 timers mellomrom, har like hovedtrekk. Dypere enn 10-15 m dyp økte saltholdigheten med dypet fra 33 mot 35 og temperaturen avtok fra 9.0 ned mot 8.2 °C. Denne dypvannmassen var skilt

ved et ganske markert sprangsjikt fra et mellomlag med saltholdighet rundt 29 og temperaturer rundt 9.6-9.7 °C. Begge profilene hadde et lettere brakkvannslag på toppen.

Det er imidlertid også markerte forskjeller mellom de to profilene. Selv om profilene ikke er tatt på samme punkt, er de fra det samme fjordavsnittet, og forskjellene mellom dem antas å vise først og fremst endringer over tid. I løpet av de 6.5 timene mellom de to profilene har det kommet inn et vannlag mellom 7 og 12 m dyp, med omtrent homogen temperatur 9.2 °C og saltholdighet rundt 32. Vannlagene under har flyttet seg 4 m nedover, mens lagene ovenfor lå ca. 2.5 m høyere enn før. Slike endringer kan være forbundet med horisontale forflytninger knyttet til interne bølger i fjorden, dvs. bølger i grenseflatene mellom lagene. Saltholdighets-målingene på stasjon H7 neste dag ved høyvann er også tatt med i Figur 24. Saltholdigheten var da 31 på 2 m dyp, altså opp mot terskeldypet for kanalen gjennom slambanken, mens det i C1 og C4 lå på hhv. 6.5 og 10 m. Disse variasjonene kan ha sammenheng med interne bølger knyttet til tidevannet. Tre profiler er selvsagt for lite til å fastslå dette, det kan også dreie seg om vindgenererte svingninger. Dersom det er en sammenheng med tidevannet, ser det ut til å være slik at tungt, salt vann bringes opp mot overflaten ved innstrømming mot høyvann, mens en mer brakkvannspreget vannmasse kommer inn i de øvre 10 m mot lavvann. Ved tidligere målinger i Bøkfjorden i 1974, 1989 og 1994 (hhv. Aure og Tesaker 1975, Skei 1990, Skei et al. 1995) har saltholdigheten stort sett vært oppe i 28 til 30 bare 1-3 m under overflaten. Data for Pasvikelva viser at det mest sannsynlig var relativt lave ferskvannstilførsel til Bøkfjorden ved måletidspunkt i 1974, og moderat høye vannføringer (200-300 m³/s) i 1989 og 1994. Målingene utenfor Sydvaranger ASA fra 26. august 1999, som ble gjort ved stor og langvarig flom, har en sjiktning som avviker fra de tidligere målingene, med sekundær ferskvannspåvirkning i et markert ca. 6 m tykt lag med saltholdighet rundt 28. Det gjelder både profil C1 og C4. Det kan være nærliggende å sette det i sammenheng med den store ferskvannstilførselen til Bøkfjorden i og før måleperioden og med vinden som hadde vart i to/tre dager. Vannmassen med saltholdighet 28 i profilene C1 og C4 fra 26. august 1999 kan være resultat av vindgenerert nedblanding av brakkvannslaget. Profil C4 ble målt omtrent i det vinden løyret, og endringen fra C1 til C4 kan derfor være knyttet til horisontale bevegelser pga. endret vindpåvirkning.

Også i overflatelaget skjedde det endringer fra den første målingen til den andre. Profil C1, fra siste fase av utstrømmingen gjennom kanalen, viser et overflatelag med relativt høy saltholdighet (20-25), og temperatur ca. 9.8. I profilen C4, under siste fase av stigende tidevann, var dette laget i stor grad erstattet av et noe varmere overflatelag (temperatur opp mot 10.3 °C) med større innblanding av ferskvann (saltholdighet ned mot 10-15). Overflatelaget var 2.5 m tykt, og skarpere avgrenset enn for profil C1. Det ser ut til at C4 er en mer typisk profil enn C1 ut fra tidligere målinger. Om kvelden neste dag var salt vann kommet ennå høyere opp i vannmassen, men her mangler data for saltholdighet i overflatelaget. (Se Figur 24 side 83)

Oksygenkonsentrasjonene i dypvannet ble målt til rundt 5.8 ml/l (korrigerede sondeverdier, se vedlegg E.1). Profilen C1 har høyere oksygenkonsentrasjoner enn C4 i overflaten, men det skyldes vesentlig at dypereliggende vannmasser var løftet opp da profil C4 ble målt og at denne profilen ikke fikk brukbare oksygenmålinger fra overflatelaget.

Ut fra tidevannsfasen kunne en vente at overflaten i C1 var mer preget av utstrømmende vann fra indre deler av fjorden, mens C4, under stigende vannstand, var mer dominert av overflatevann inn fra Bøkfjorden. Det er imidlertid ikke gitt at det er en slik sammenheng. Det ble observert 28. august om morgenen ved synkende vannstand ca. 3 timer før lavvann at utstrømmingen fra kanalen gikk i et skarpt avgrenset bånd markert med tydelige overflatebølger utover fjorden forbi Sydvaranger ASA i den nordvestre del av fjordtverrsnittet (Figur 15).



Figur 15. Utstrømning fra ytre del av kanalen gjennom slambanken. Bilde tatt ved posisjon Aa1 (Figur 6) i retning mot øst kl. 8.00 UTC 28. august.

Dette er antagelig et generelt trekk, og det kan derfor være at utstrømningen i stor grad går på siden av de to målepunktene, og at forskjellen også i overflaten vil være mest preget av vekslingene i overflatelaget i Bøkfjorden.

Profilen C2 (Figur 25 side 84) ble målt under utstrømningsperioden om morgenen 26. august ved strømmåler G2. Den viser nokså homogene forhold, med saltholdighet omkring 12, økende til 16 ved bunnen, og temperatur 10.15-10.2 °C.

Profilen C3 (Figur 26) ble målt den 26. august kl. 13:46 UTC innenfor grunnområdet ved Beddari, ca. 900 m utenfor Strømmen bru, i den sørlige delen av fjordtverrsnittet (se kart side 31). Dette var 2 timer før høyvann, og ved svak, begynnende innstrøm i Storstraumen, og ca. 1/2 time før profil C4 ble målt. Her var det en markert sjiktning. Overflatelaget hadde saltholdighet 12-15 og temperaturer godt over 10 °C, mens vannet under 5 m dyp hadde saltholdighet opp mot 32, tilsvarende det som ble funnet på omtrent 8 m dyp utenfor kanalen.

Profilen C5 (Figur 27), som ble tatt i det dypeste dypområdet, viser et helt annet forløp. I de øverste metrene lignet forholdene på det en fant i overflatelaget på utsiden. Under dette var det et ca. 20 m tykt lag hvor saltholdigheten økte jevnt med dypet og hvor temperaturen var vesentlig høyere enn det en fant utenfor Storstraumen. Rundt 20 m dyp fantes et mer markert sprangsjikt med overgang til et nokså homogent dyplag med tyngre og mye kaldere vann, med saltholdighet 32 og temperaturen 0.8-1.0 °C. Sjiktningen her ligner på den som ble observert ved samme tid på året i 1995 (Velvin 1995). Den lave temperaturen både i 1995 og i 1999 kan tyde på at det er et vanlig trekk at dypvannmassene fornyes om vinteren, når det er lave temperaturer i fjorden utenfor, og at det så ikke skjer noen videre dypvannsutskifting i løpet av sommeren.

For å se på profilene i sammenheng kan det være en hjelp å plote dem i et såkalt TS-diagram, med temperatur langs den ene aksene og saltholdighet langs den andre. Et slikt diagram gjør det lettere å identifisere vanntyper uavhengig av forflytninger i dyp, og å se hvor vannet i en gitt profil kan stamme fra ved transport eller blanding. TS-diagram for CTD-profilene er vist i Figur 16.

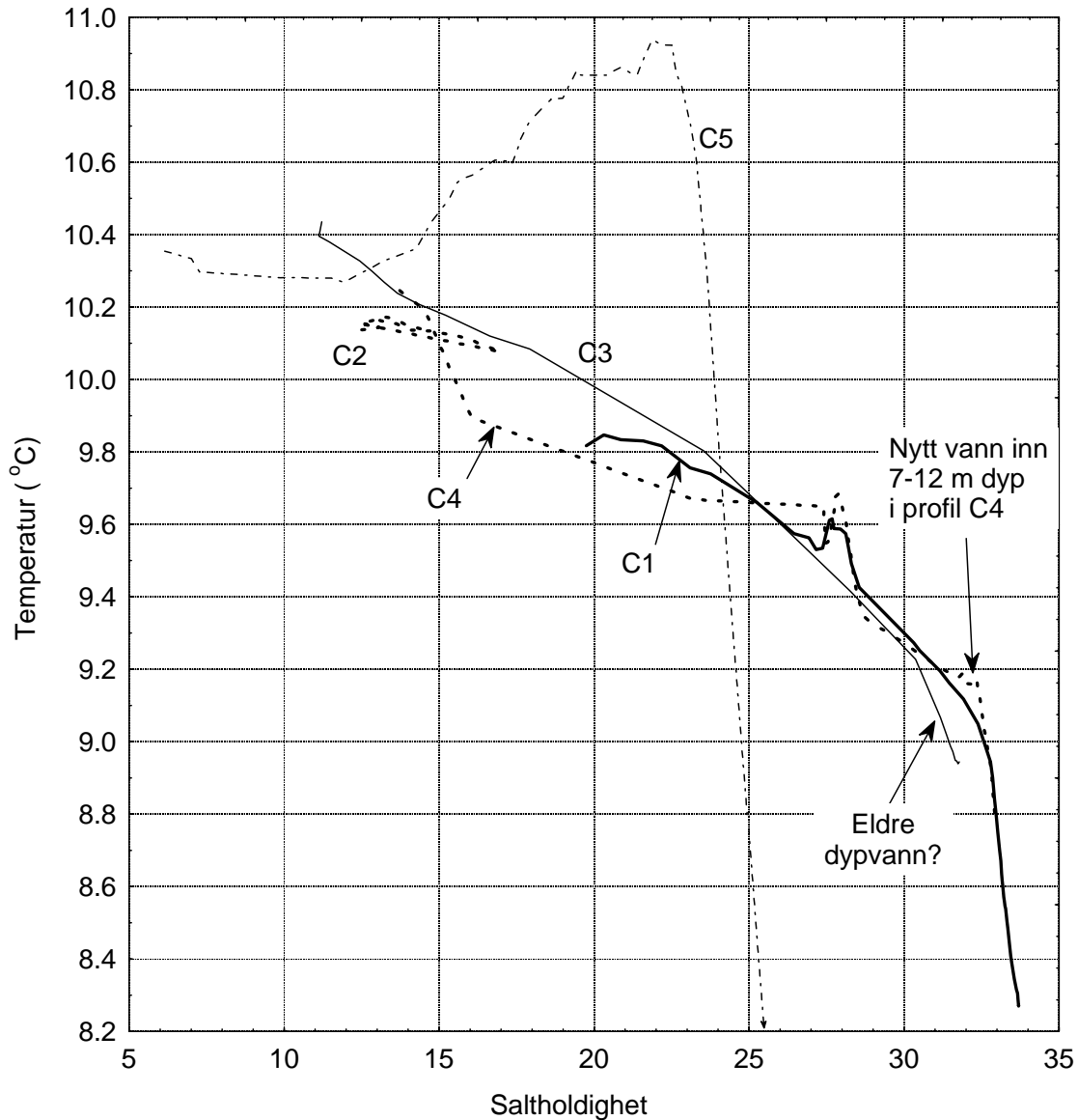
Profilene C1 og C4 følger samme T/S-kurve for dypvannet med temperatur under 9 °C, og det er sannsynligvis den samme vannmassen som bare har flyttet seg litt vertikalt. Videre oppover er markerte forskjeller. Det vannet som har presset seg inn mellom 7 og 12 m i C4 fremtrer i diagrammet som et klart avvik i TS-relasjonen. Denne vannmassen er ikke en blanding av vannet over og under, og må være kommet inn utenfra. For begge profilene finnes et slikt avvik fra blandingskurve også omkring saltholdighet 28, dvs. på hhv. 8 og 5 m dyp. Overflatelaget i C4 hadde lavere temperaturer i forhold til saltholdigheten sammenlignet med C1 i den nederste delen ned mot sprangsjiktet, mens det aller øverste laget i C4 hadde høyere temperatur, og faller godt sammen med overflatevannet i C3 innenfor Beddari. Profilen C2 ble tatt lenger inne ved Strømmen bru ved utstrømning om morgenen og vannet her kan ha vært en blanding av overflatelaget innenfor (C5) og utenfor (C1).

TS-kurven for C3 mellom saltholdighet 25 og 30 (dvs. mellom 3.5 og 5 m dyp) faller delvis sammen med C1 og C4, men har et jevnere forløp, mer preget av at variasjonen viser resultat av vertikal blanding mellom vannlag. Vannet under 5 m i C3 hadde et annet TS-forløp enn både C1 og C4. Dette, sammen med de avtagende oksygenkonsentrasjonene mot bunnen i C3 (Figur 26 side 84) kan tyde på

at vannet i profil C3 stammet fra innstrømning i tidligere tidevannsperioder, og hadde stått i området en stund.

Profilen C5 har et sterkt avvikende forløp fra de andre profilene, med varmere vann på mellomdyp, og mye kaldere dypvann.

Oksygenmålingene er mer omtalt nedenfor i kapittel 6.5



Figur 16. TS-diagram for CTD-profiler fra Langfjorden 26. august. For C5 er bare de øverste 20 m av vannsøylen med.

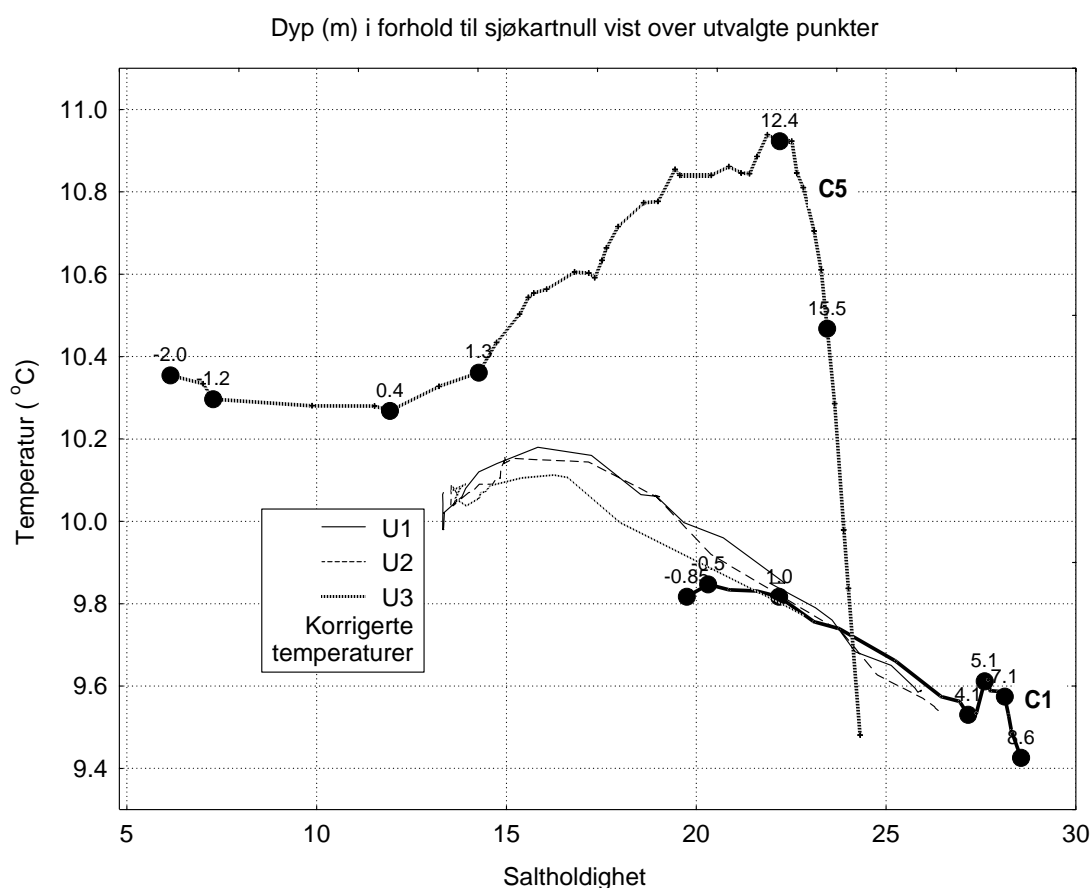
6.4.2 UCM-40 strøm-og sjiktningssprofiler

De målingene som ble gjort av sjiktning og strøm i dypprofiler med UCM-40 er vist i figurer i Vedlegg D, side 87ff. Resultatene er vist slik de fremkommer ved bearbeiding som beskrevet i vedlegg A.2. De har en del fluktuasjoner, spesielt i strømhastighet, som skyldes reell småskala-variasjon i vannmassene (turbulens og hvirvler) og må betraktes som statistisk usikkerhet hvis gjennomsnittsverdiene betraktes som estimat for middelstrøm. Iallfall for temperatur er det oppgitt en måleusikkerhet for instrumentet som er så stor at det kan ha vesentlig betydning (0.1-0.2 °C). Hvordan målefeil kan fluktuere over små tidsrom (innenfor en profil) er ikke oppgitt. Temperatur er korrigert ut

fra en kalibrering mot CTD beskrevet i vedlegg E.2, men en bør ta i betraktning en mulig feil på opp til ± 0.1 °C, selv om kalibreringsprofilen viste adskillig bedre stabilitet. Siden temperaturen varierte innenfor 1°C, kan måleusikkerheten ha vesentlig betydning, og en bør derfor være forsiktig med å legge for stor vekt på små forskjeller i temperatur når det gjelder å skille vannmasser fra hverandre i TS-diagrammer. I overflaten kommer i tillegg oppvarmings/avkjølingsffekter inn. Saltholdigheten kan anses som nokså nøyaktig bestemt i forhold til variasjonene i vannmassene, iallfall innenfor ± 0.05 .

De første målingene i kanalen ble gjort ved synkende vannstand (profil U1, U2 og U3). Et homogent overflatelag, 4-6 m tykt, med saltholdighet 14-15 og temperatur like i overkant av 10 °C lå over et sjiktet lag hvor saltholdigheten økte til 26 og temperaturen avtok til 9.5 °C ved bunnen. Strømhastigheten var størst (0.6 m/s) i U1 midt i kanalen innenfor Hamnes, og varierte lite med dypet. På dette tidspunktet var utstrømningen her ca. $220 \text{ m}^3/\text{s}$ § i følge vannstandsmålingene og arealanslagene. Hvis strømhastigheten antas å ha vært nokså konstant i bredden, tilsier det et tverrsnittsareal på omkring $350\text{-}400 \text{ m}^2$ midt mellom middelvannstand og lavvann. Det stemmer bra med anslaget i Tabell 2 på 400 m^2 ved middelvannstand litt lenger ute hvor det er noe trangere.

Strømhastigheten var mindre og avtok mot bunnen i det bredere tverrsnittet ved strømmåleren G1 (U2 og U3), men det strømmet utover i hele dypintervallet også ved G1.



Figur 17. TS-diagram av UCM-profiler U1, U2 og U3 fra kanalen gjennom slambanken under utstrømning 26. august sammenlignet med CTD-profiler C1 og C5.

Figur 17 viser TS-diagram for de tre UCM-profilene sammen med CTD-profiler fra bassenget utenfor kanalen omtrent samtidig (C1, C4) og fra dypområdet innenfor Strømmen bru (C5). Selv om C5 er tatt

§ Innenfor Strømmen bru: Areal 7.1 km^2 , vannstandssenkning 5 cm/time
 Mellom Strømmen bru og Hamnes: Areal 1 km^2 , vannstandssenkning 45 cm/time

senere på dagen, har forholdene neppe forandret seg så mye der inne i løpet av 26. august. Figuren viser at TS-kurven for overflatelaget i C1 faller mer eller mindre sammen med profilene U1-U3 dypere enn 5-7 m, dvs. ved saltholdighet >22 . Dette kan altså ha vært vann som hadde strømmet inn tidligere, og nå strømmet ut igjen med synkende vannstand. Det øverste laget i profilene U1-U3 kan ha vært en blanding av omtrent like store deler vann som stammer fra overflatelaget innenfor Strømmen bru (C5) og vann fra overflatelaget utenfor kanalen (C1). Det må tas forbehold om at C1 ikke nødvendigvis representerer forholdene slik de var under foregående innstrømning. Figur 16 ovenfor viser at det kan skje relativt store endringer her i løpet av noen timer.

Profilene U4-U6 er fra området innenfor Beddari, fra tverrsnittet ved G2 ca. 500 m utenfor Strømmen bru ca. ½ time senere. Her var det mye mindre sjiktning vertikalt, og litt lavere saltholdighet og høyere temperatur enn ved G1. Dette var rett før lavvann i ytre del av fjorden, med vannstand omkring 0.6 m over sjøkartnull. I denne situasjonen var det i følge vannstandskurvene full utstrømning i Storstraumen, ca. $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Figurene i Vedlegg D (side 90f) viser at det var utstrøm i hele tverrsnittet i de øverste 2-4 meter, med hastighet 0.4-0.7 m/s. I de to profilene nord og sør i tverrsnittet (U4, U5) gikk strømmen i overflaten nokså rett øst, til og med dreid litt mot sør, mens fjordens lengderetning er mot nordvest, dvs. at det var en rotasjon over mot høyre. Det ble observert visuelt 28. august at utstrømningen gjennom Storstraumen gikk utover i et bredt bånd over mot nordsiden av fjorden og deretter oppløste seg mer i hvirvler i overflaten over mot sørøstsiden, se Figur 18. Dette stemmer med målingene fra utstrømningen 26. august.

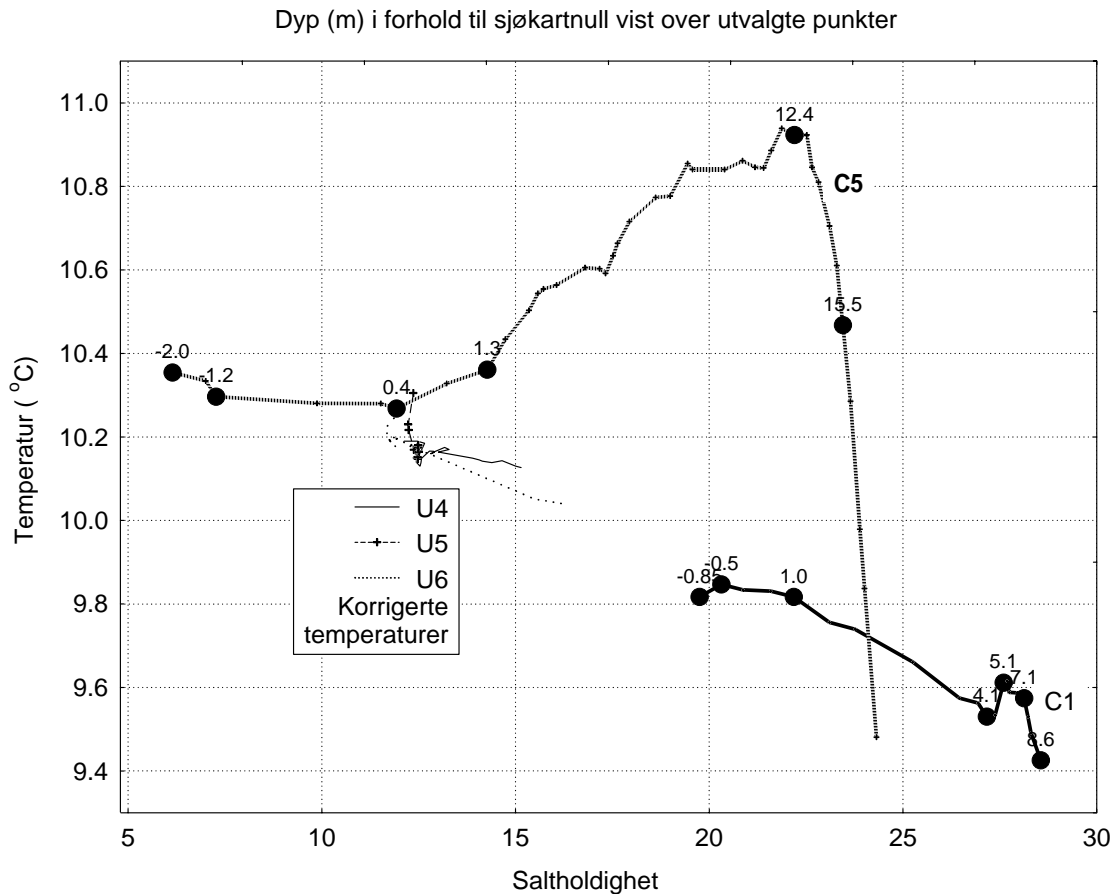


Figur 18. Utstrømning i Storstraumen 28. august om formiddagen. Fotografert fra Strømmen bru. I bakgrunnen kaiområdet til Sydvaranger ASA.

Midt i fjordtverrsnittet (U6) gikk strømmen mer i fjordens lengderetning, og avtok omtrent lineært mot bunnen, til et stillestående 1 m tykt bunnsjikt med litt høyere saltholdighet. Bunnsjiktet hadde også litt lavere temperatur, og var antagelig en rest av vann utenfra fra forrige innstrømning. På nordsiden, ved G2 (profil U4) var det dominerende strømmetretning innover mellom 2 og 8 m dyp av vann med litt høyere saltholdighet enn i overflaten. Dette kan være vann som ble trukket inn som en kompensasjonsstrøm og blandet inn i overflatestrømmen ut fra Storstraumen, men sannsynligvis bare som en lokal

sirkulasjon innenfor området mellom Storstraumen og grunnen ved Langfjordstrømmen, fordi terskelen og innsnevringen ved Beddari sperrer for strøm i to lag i motsatt retning ved de små tetthetsforskjellene en hadde.

TS-diagrammet i Figur 19 viser at overflatelaget i større grad var dominert av utstrømmende vann fra indre deler av Langfjorden enn utstrømningen lenger ute ved G1 som ble vist i Figur 17.



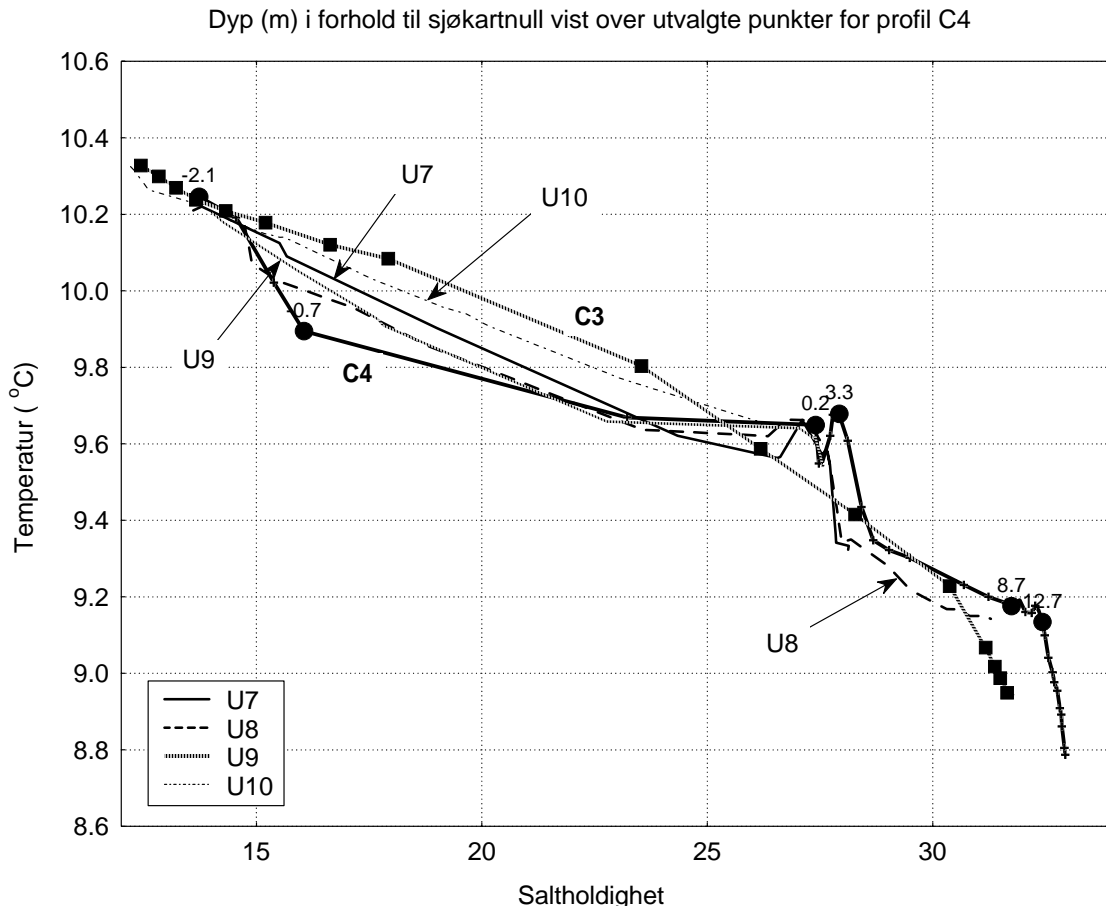
Figur 19. TS-diagram av UCM-profiler U4-U6 ved utstrømning i tverrsnittet 500 m utenfor Strømmen bru (ved G2) sammenlignet med CTD-profiler C1 og C5.

Målingene av strøm ble gjenopptatt ved innstrømningsperioden om ettermiddagen. Profilene U7 til U10 ble målt på ulike punkter langs kanalen gjennom slambanken i siste fase av innstrømning. Profilene U7-U9 er alle fra ytre del av kanalen, utenfor det trangeste partiet ved Hamnes. En sammenligning med CTD-profil C4, som ble tatt utenfor kanalen omtrent samtidig, viser at det strømmet inn vann fra laget ned til dyp 4 m under nullpunktet, altså ca. 2 m under terskeldyp ved Melkberget, ved saltholdighet 28.1, mens det under dette var stillestående vannlag (profil U8 rett utenfor kanalen). Sammenligningen av profilene viser at vann av samme tetthet ble hevet 1 til 2 m når det strømmet gjennom kanalen. Det innstrømmende vannet hadde saltholdighet 27-28 i de nederste 2 m av kanalen der den er grunnet, og med et like tykt sjiktet lag ovenfor, hvor saltholdigheten avtok lineært til ca. 14 ved overflaten. Strømhastighetene var størst (ca. 0.4 m/s) i overflaten, og i profilen U9 varierte den lineært med dyp. Hvis det antas trekantformet strømtverrsnitt i U9, kan det anslås at omtrent 1/8 av innstrømningsvolumet holdt saltholdighet større enn 27.

I profil U10 omtrent ved strømmåler G1 rett innenfor kanalen var det større strømhastighet i det tyngre bunnlaget, som her lå dypere. Nær overflaten er strømhastigheten lavere enn ved U9. Det stemmer med at overflatelaget her var mye tykkere, kontinuiteten tilsier at strømhastigheten i overflatelaget da må være lavere. Den tyngre bunnstrømmen i kanalen rant tydeligvis ned som en tung bunnstrøm fra U9 til

U10, og ble akselerert i forhold til overflatelaget. Fra U9 til U10 må vannflaten ha hevet seg litt, slik at det har vært en trykkforskjell som tilsvarer observert hastighetsreduksjon i overflaten. I bunnlaget kan det likevel ha vært et netto trykkfall fra U9 til U10 fordi grenseflaten mellom overflatelag og bunnlag senkes, slik at vannet er blitt akselerert. Kontinuitetsmessig kan dette stemme selv om bunnlaget var omtrent like tykt i begge profiler, fordi bredden 2 m over største dyp antagelig er mye mindre ved U10 enn ved U9. Det var i dette tidsrommet (26. august kl. 14:26 - 15:08 UTC) økende innstrømning til Langfjorden gjennom Storstraumen, mens volumøkningen på utsiden avtok ettersom tidspunkt for høyvann nærmet seg. Beregninger ut fra vannstandsendringer og arealer tyder på at strømmen inn ved Hamnes kan ha vært omtrent konstant i dette tidsrommet.

Bunnlaget ved U10 hadde saltholdighet 26, som er lavere enn ved U7 og U9, men det kan skyldes tidsforskjellen. Ut fra avstand og tidsforskjell til U10 fra hhv. U9 og U7 (1500 og 2000 m, 15 og 40 minutter) og strømhastighet (0.4 m/s) kan det anslås at den vannmassen som ble målt ved U10 passerte U9 og U7 ca. 45 minutter før målingene der, og det kan være at det tyngre vannet i bassenget utenfor da ikke hadde hevet seg så mye. I hovedsak ser det altså ut til at tyngre vann som strømmer inn over terskelen ute ved Melkberget vil passere kanalen uten å være blitt vesentlig blandet opp med overflatevann. Figur 20 viser at TS-sammenhengen for profilene stemmer bra med sjiktningen i profil C4 innenfor nøyaktigheten i temperatur. Profilen U10 ligner mest på øvre del av profil C3 som ble tatt lenger inn ved strømsstille litt over en time før.



Figur 20. TS-diagram av UCM-profiler U7-U10 ved utstrømning i tverrsnittet 500 m utenfor Strømmen bru (ved G2) sammenlignet med CTD-profiler C1 og C5.

Målingene fortsatte innenfor grunnen ved Beddari i området rundt den innerste strømmåleren ved G2 og lenger inn mot Storstraumen. Målingene i dette området (U11-U16) foregikk fra kl. 15:25 til 16:30 UTC (se side 93ff), dvs. etter at høyvann var passert på utsiden, men fortsatt med full innstrømning i Storstraumen.

Det ble nå ikke funnet noen spor av det tunge vannet som knapt to timer tidligere var observert under 5 m dyp ved C3 litt lenger ut i det samme bassenget, dvs. innenfor grunnen ved Beddari. Selv ikke på profilen U11 rett ved G2 ned til 10 m dyp var det spor av dette vannet; i stedet var det et helt homogent bunnlag under dyp 4 m med saltholdighet ca. 20 og temperatur 9.8°C, hvilket stemmer godt med et lag som litt tidligere lå mellom 2 og 3 m dyp i profil U10 ved den ytterste strømmåleren.

Topografien i det indre området ble ikke kartlagt i så stor detalj at det kan utelukkes at området ved C3 er avskjermet fra den dype kanalen langs nordvestsiden ved en sammenhengende grunnere banke. Med en slik avskjerming kan et tungt bunnlag ved C3 bli stående der selv om det skiftes ut i den like dype kanalen langs nordvestre bredd. Hvis det var et sammenhengende dypt område, og det homogene bunnlaget i U11 var restene av bunnlaget i C3, virker det urimelig at full homogenisering skulle foregå bare i bunnlaget uten at overflaten ble berørt, særlig siden forskjellen i saltholdighet under 4 m dyp fra C3 til U11 betinger innblanding av vann med overflatesaltholdighet. Det ser ut til at det tyngre bunnlaget ble fullstendig homogenisert ved innstrømning i indre del av kanalen når det rant ned mot større dyp (U11), og det samme kan vel gjelde ved innstrømning gjennom den naturlige kanalen nord for Beddari. Alternativt måtte bunnvannet fra C3 være trukket med inn over terskelen ved Storstraumen i løpet av tidsrommet mellom C3 og U11 og erstattet av vann som har strømmet inn utenfra, men det virker lite rimelig ut fra volumbetraktninger. Vannstanden på innsiden av Strømmen bru steg med ca. 12 cm i denne tiden, og det tilsvarer en innstrømning av 0.8 mill m³. Vannvolumet mellom Beddari og Strømmen bru kan anslås til i gjennomsnitt ca. 4 mill. m³ for den vannstanden en hadde i det aktuelle tidsrommet. En gjennomstrømning på bare 20 % av vannvolumet burde ikke gi så komplett utskiftning av bunnlaget.

Mer målinger hadde vært ønskelig for å kartlegge nærmere hvordan tungt vann inngår i vannutvekslingen, men det avvikende forløpet i C3 ble ikke oppdaget før data ble lest ut fra CTD etter at feltarbeidet var avsluttet.

Profil U11 nær strømmåler G2 ved den nordvestre bredden hadde innstrømning i overflaten og ved bunnen, mens det gikk litt strøm utover på mellomdyp. Igjen er det altså tegn til at det har vært rotasjon i strømmen i mellomdyp. På U14 og U15 midt i fjorden litt lenger inn mot Storstraumen strømmet det innover på alle dyp. Profilene U12 og U13 inne i kanalen mot Strømmen bru viser strømhastighet 1 m/s i et ca. 3 m tykt sjikt. Med bredde 50 m gir det en innstrøm på 150 m³/s, som stemmer godt med vannstandshevningen innenfor på 7.8 cm/time over 7.1 km². Det vannet som strømmet inn gjennom kanalen hadde saltholdighet opp til 17.5 ved bunnen, i gjennomsnitt med saltholdighet ca. 13-15, økende mot nordsiden. Dette er bare 1-2 enheter høyere enn saltholdigheten i utstrømningen som ble målt tidligere på dagen, og det stemmer godt med saltbalanse knyttet til estuarin-sirkulasjon. det innstrømmende vannet vil sannsynligvis blir enda mer homogenisert etter passering av terskelen ret utenfor brutverrsnittet.

De målingene som ble gjort under denne innstrømningsperioden viser at det vannet som lå på utsiden av banken mellom 0.5 og 6 m dyp med saltholdighet 27 til 28 i en viss utstrekning ble trukket inn over slambanken. Volumene var imidlertid tydeligvis ikke store nok til å få fylt opp så høyt at det tyngre vannet ble brakt videre inn forbi grunnen ved Beddari slik at det eventuelt kunne strømme videre inn i Langfjorden. Det vannet med saltholdighet 20 som kom inn i dette området (U11) ble i en viss grad trukket videre med inn i Storstraumen (U15), og bidro til høyere saltholdighet og en viss sjiktning i innstrømmen (U12).

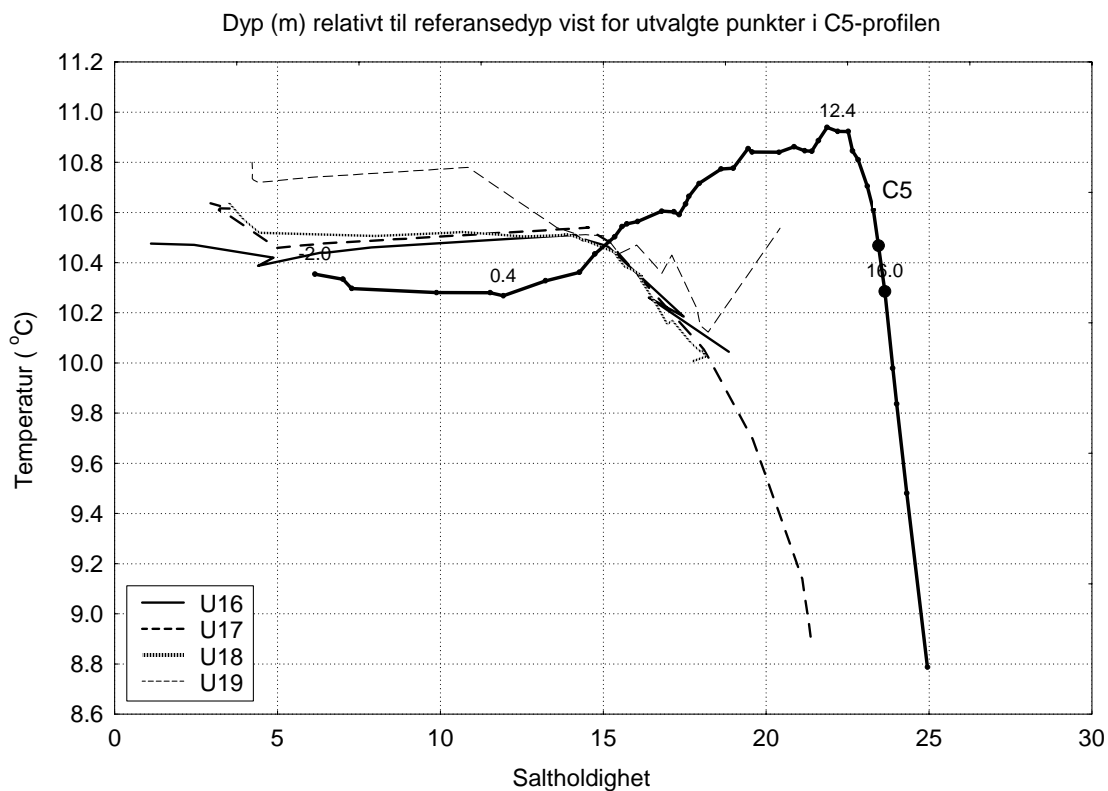
To avsluttende UCM-profiler (U20, U21) ble tatt ved Strømmen bru under innstrømningen om ettermiddagen 27. august. Disse målingene var tatt tidligere i tidevannssyklusen enn U11-U15, før høyvann var passert på utsiden, men omtrent ved samme vannstandsfor forskjell over Storstraumen. Innstrømningen mot Storstraumen (U21) var delt tetthetsmessig i to sjikt med saltholdighet hhv. 13 og 15. På innsiden gikk innstrømningen som et bånd langs nordvestbredden. Profil U20 er plassert i ytterkanten av denne strømmen.

Profil U20 viser innstrømning i et 8 m tykt sjikt fra -2 til 6 m, og med en motgående kompensasjonsstrøm mellom 7 og 11 m dyp. Vannet på 12 m dyp, hvor strømhastigheten var liten, hadde tetthet omtrent tilsvarende tettheten på samme dyp i profil C5 fra dette bassenget kvelden før. Hvis lagdelingen i fjorden innenfor Strømmen bru fortsatt lignet på C5, var underkant av det homogene innstrømmende sjiktet i omtrent trykklikevekt med omgivende vannmasser, fordi tettheten i

innstrømmende vann omtrent tilsvarer gjennomsnittlig tetthet i et lag av samme tykkelse fra overflaten i profil C5. Det innstrømmende vannlaget var mye mer homogent vertikalt enn det vannet som finnes i bassenget i følge C5, og vil tetthetsmessig ha hørt hjemme omkring 3 m dyp (5 m under overflaten) i profil C5. Innstrømningen vil derfor ha innlagret seg i dette dypet, og har antagelig i denne prosessen blandet seg med både lettere overflatevann og noe tyngre vann fra litt større dyp. Profilene tyder altså på at innstrømningen berørte et 13-14 m tykt vannlaget fra overflaten ned til dyp 12 m under referansedyptet, dvs. omtrent det laget som har homogen temperatur i profilen C5.

De UCM-profilene (U16-U19) som ble målt inne i fjorden 27. august ble mest tatt for å måle sjiktningen. Profil U16 ved utløpet av Sandneselva viser ingen strøm ut i overflaten, men elvevannet er tydelig i saltholdigheten. Profil U17 midt i brutverrsnittet har gjennomsnittshastighet 12 cm/s integrert over vannsøylen. Hvis en går ut fra bredde 90 m og dyp 8 m gir det en transport på ca. 85 m³/s, dvs. litt over 0.31 mill m³ pr. time. I betraktning av at beregningen antagelig overdimensjonerer tverrsnittet, stemmer dette bra med de 0.24 mill m³/time som kan beregnes hvis vannstandsreduksjonen 5 cm/time i målepunkt STD1 antas å gjelde også for over arealet 4.7 km² sør for Sandnes.

TS-diagrammet i Figur 21 viser at de tre sørligste profilene (U16, U17,U18) stemmer godt overens, og synes å beskrive den samme vannmassen for saltholdighet ≥ 5 , bare ferskvannspåvirkningen ved elveutløpet (U16) skiller seg ut med lavere saltholdighet enn i de andre profilene. Det kan antas at de tre profilene representerer vannmassene som var i det sørlige bassenget. For saltholdighet over ≥ 15 var vann med lik saltholdighet kaldere i det sørlige bassenget enn i det midtre bassenget. Profil U18 litt nord for terskelen består bare av vann som har strømmet inn fra det sørlige bassenget, mens profil U19 viser betydelig avvik fra dette. Den nederste delen av U19 (saltholdighet ≥ 18) ligger dypere enn den nordgående strømmen, og ser ut til å representere en blanding av innstrømmende vann og vann som er i bassenget fra før (profil C5). Det bekreftes også av strømprofilen. Den høyere temperaturen i overflaten i U19 i forhold til C5 fra kvelden før kan kanskje være en virkning av soloppvarming i løpet av formiddagen 27. august.



Figur 21. TS-diagram av UCM-profiler i området rundt Sandnes sammenlignet med CTD-profil C5 i det nordlige dypbassenget.

6.5 Oksygenmålinger

En vannprøve som ble tatt fra 60 m dyp i det nordlige dybbassenget samtidig med at profil C5 ble målt ga oksygeninnhold 5.03 ml/l. Dette er brukt som grunnlag for å korrigere målingene med oksygen-sonden (vedlegg E.1), som i dette dypet ga en del lavere verdier. Korreksjonen virker rimelig også ut fra overflateverdiene, se mer om det i vedlegget.

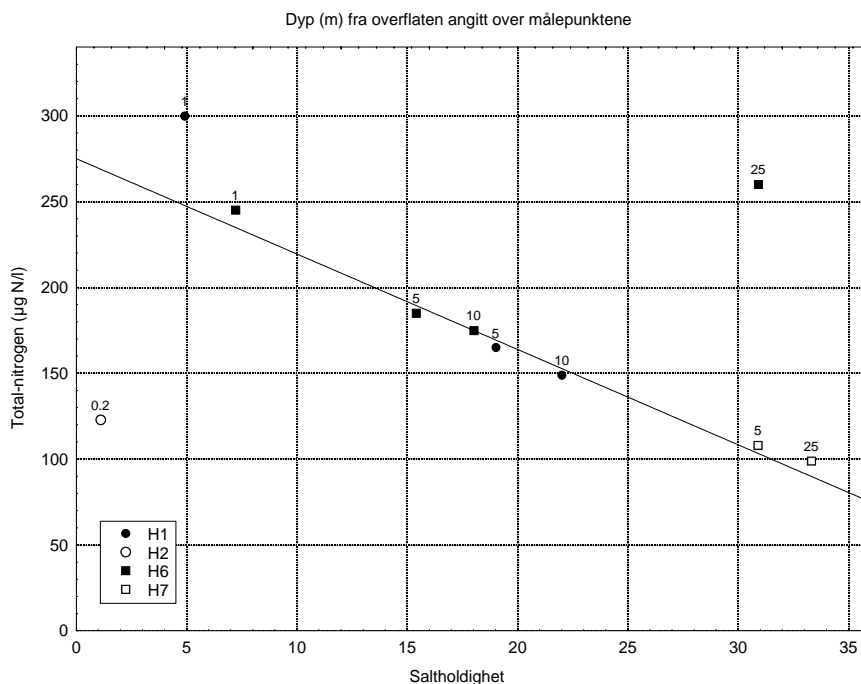
Korrigerte oksygenverdier fra oksygensonden i ytre og midtre deler av Langfjorden lå stort sett i området 5-6 ml/l, og det må anees som meget tilfredsstillende. Oksygenprofilene fra C5 i Figur 27 viser resultat fra en første senking til ca. 50 m, hvor instrumentet traff bunnen fordi båten hadde drevet noe av, og deretter en ny senking fra ca. 30 til 60 m etter å ha posisjonert båten til et område med større bunn-dyp. Begge senkingene viser omtrent samme reduksjon av oksygenkonsentrasjonen mot bunnen, med anslagsvis 0.1-0.2 ml/l, til en verdi 5.0 ml/l ved bunnen. Oksygen-data må tolkes forsiktig, da nøyaktigheten er begrenset (se vedlegg E.1).

Vannprøve fra 55 m dyp i det sørlige bassenget i Langfjorden (stasjon H1) ga oksygeninnhold 0.1 ml/l, altså omtrent helt oksygenfritt. Det stemmer godt med at svak lukt av hydrogensulfid ble observert da denne prøven ble tappet. Om dette er representativt for dypvannet i bassenget, eller påvirket av bunnforholdene, kan ikke sies helt sikkert. Ved nedfiringen tok loddet som hang under vannhenteren ned i bunnen, men vannhenteren ble så hevet ca. 3 meter opp over bunnen før prøven ble tatt. Fordi båten kan ha drevet av før vannhenteren ble utløst, er det vanskelig å si nøyaktig hvor langt fra bunnen den var da. Vannet som ble tappet viste ingen spor av partikler som kunne tyde på innblanding av opphvirvlet bunnslam.

6.6 Næringsalter og organisk stoff

Innholdet av totalnitrogen og nitrat var størst i overflatevannet inne i fjorden. For de målingene hvor saltholdigheten i vannprøven ble målt eller kan fastsettes ut fra CTD- eller UCM-målinger, følger begge variablene i stor grad saltholdigheten som ved en fortynningskurve, og stasjon H7 utenfor slambanken følger den samme kurven.

De fleste resultatene for totalnitrogen ligger på en lineær fortynningskurve som tilsvarer 275 $\mu\text{g N/l}$ for ferskvann og 75 g for sjøvann med saltholdighet 36. De høyest verdier ble målt nær overflaten, hvor saltholdigheten er lavest. Sammenhengen er vist i Figur 22.



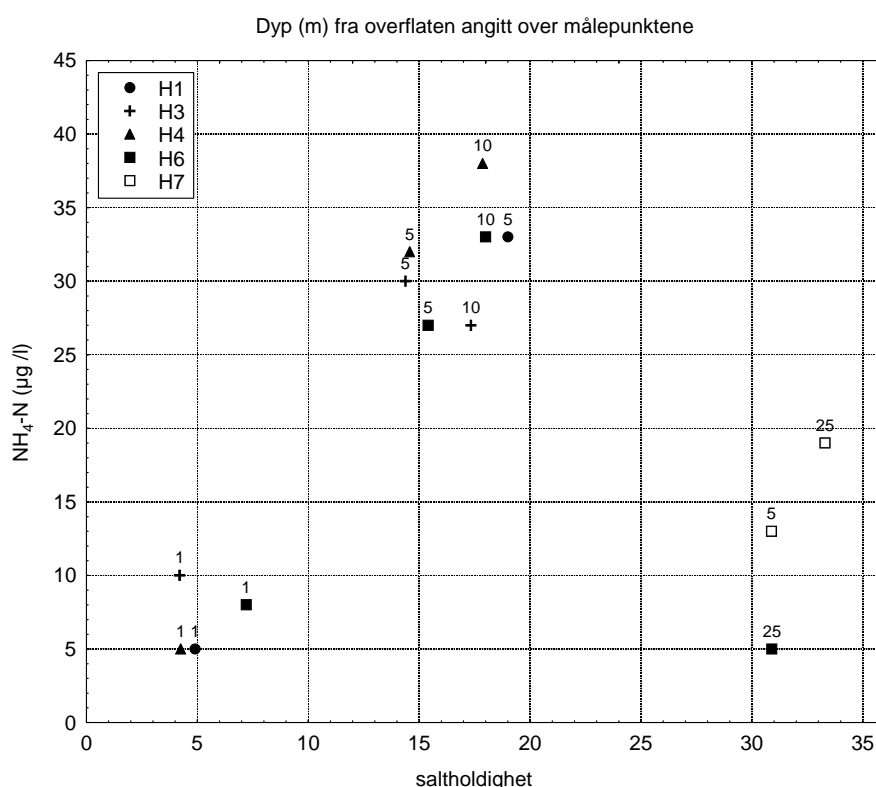
Figur 22. Sammenheng mellom totalnitrogen og saltholdighet i Langfjorden 27. august 1999.

Et unntak er prøven fra 25 m på stasjon H6, hvor nedbrytning av organisk stoff har gitt økte konsentrasjoner av både fosfat og nitrat. Avviket fra fortynningskurven for totalnitrogen tilsvarer nokså nær den målte nitratkonsentrasjonen på 185 $\mu\text{g N/l}$ i denne vannprøven.

Det var også lav nitrogenkonsentrasjon i overflateprøven fra stasjon H2 ved utløpet av Sandneselva med nesten rent ferskvann. Verdien er innenfor det normale i mindre elver i Finnmark generelt (Holtan et.al 1995). Sett i sammenheng med de andre overflateprøvene ser det altså ut til at ferskvannstiltørslene i tiden før målingene ble gjort har inneholdt mer nitrogen enn 275 $\mu\text{g N/l}$, kfr. overflateprøven fra H1 med 300 $\mu\text{g N/l}$. En sammenligning av dette med den lave nitrogenkonsentrasjonen i overflaten i H2 må ta hensyn til at vannmassene rundt H1 antagelig er resultat av tilrenningen noe tidligere, kanskje under det kraftige regnværet en-to uker tidligere, mens H1 mer representerer Sandneselva i måleøyeblikket.

Alt i alt gir målingene et bilde av at totale nitrogenkonsentrasjoner i tiden før målingene ble gjort i stor grad er knyttet til elvevannet, kanskje spesielt i sørenden av fjorden. Det samme gjelder nitraten, som vil være dominerende løst uorganisk komponent knyttet til naturlig overflateavrenning og elvetiltørslar. Langfjordelva i Sørenden kommer fra et ganske stort vann, Langfjordvatnet. Det er vel mulig at tilrenning av kaldere vann (kfr. kapittel 6.1 side 36) i forbindelse med det kraftige regnværet uka før har gitt utskifting av vann fra litt dypere lag i Langfjordvatnet og derved stor transport ut i Langfjorden av dette vannet, som må ventes å ha hatt forhøyet konsentrasjon av akkumulerte næringsstoffer. I så fall kan de høye konsentrasjonene være et unntakstilfelle.

Ammonium har en motsatt tendens av det totalnitrogen og nitrat viser, med økende konsentrasjoner med økende saltholdighet i 1-10 m dyp der hvor saltholdighetsverdier foreligger. Sammenhengen mellom ammonium og saltholdighet er vist i Figur 23.



Figur 23. Sammenheng mellom ammonium-konsentrasjoner og saltholdighet i Langfjorden 27. august.

For stasjoner innenfor Strømmen bru er klart høyere konsentrasjoner i 5 og 10 m dyp enn i overflaten, mens den er lavere på 25 m dyp ved stasjon H6. Det kan være naturlig å sette økningen i ammoniumkonsentrasjon på 5-10 m dyp i sammenheng med det lokale kloakkutslippet, som må forventes å bli innlagret i dette sjiktet. Det meste av nitrogenet i kloakkutslippet vil i stor grad finnes som ammonium. Det er ingen geografisk gradient inne i fjorden med avstand fra utslippspunktet, men det ville en heller ikke vente ut fra målte strømhastigheter og utslippsmengde. Kloakkutslippet kan anslås å tilføre fjorden ca. 0.09 g/s fosfor og 0.53 g/s nitrogen, i stor grad som ammonium. Hvis dette fordeles i en vannmengde som strømmer forbi med hastighet 0.1 m/s i et tverrsnitt 100·2 m, altså ca. 200 m³/s, gir det konsentrasjonstillegg på 0.5 µg P/l og 2.5 µg N/l, hovedsakelig som fosfat og ammonium, og da er strømmen relativt lavt anslått. Det er altså ikke grunn til å vente observerbare konsentrasjonsøkninger lokalt rundt utslippet. Ammoniumkonsentrasjonen kan likevel være en følge av kloakkutslippet, men det fordeles så effektivt pga. transportene at det ikke blir noen lokal opphopning. Hvis transporten gjennom Storstraumen på 3 mill m³ pr. tidevannssyklus antas å gi 30-50 % effektiv vannfornyelse, skulle kloakktilførslene bety en overkonsentrasjon på rundt 20 µg N/l, og det stemmer ganske godt med ammoniumkonsentrasjonen rundt 5-10 m dyp hvis vannet her tenkes fortynt til den gjennomsnittlige saltholdigheten utstrømmende vann er anslått å ha.

Prøven fra 55 m dyp i det indre bassenget (H1), hvor det var tilnærmet oksygenfritt, hadde høyt fosfatinnhold, og lavt nitrogeninnhold, så å si helt uten nitrat, og i stedet med akkumulering av frigjort nitrogen som ammonium. Dette er normalt for oksygenfritt vann, og skyldes at det løses ut fosfor fra sedimentene og at nitrat omdannes til molekylært nitrogen ved denitrifisering.

Fosfatkonsentrasjonene viser også en økning omkring saltholdighet 15-20, anslagsvis på 2-3 µg P/l ut fra sammenligning med konsentrasjoner i H7 ute ved Sydvaranger. Det stemmer godt med det forholdet som vanligvis antas mellom P og N i kloakkutslipp (se kapittel 4.3).

Konsentrasjonen av partikulært organisk stoff i overflaten ved H1 og H7 er normalt lave for relativt upåvirkede fjorder og kystfarvann, og har et C:N-forhold på 7.6 og 11.6, forholdsvis normalt for planktonmateriale. Konsentrasjonen inne i fjorden ved H1 er ca. dobbelt så stor som ute ved H7.

Forholdene kan karakteriseres ved å sammenligne analyseverdiene med SFTs kvalitetskriterier for Fjorder og Kystvann (Molvær et al. 1997). Det må presiseres at datamaterialet ikke er tilstrekkelig til å klassifisere fjordens tilstand. Kriteriene er knyttet til en statistisk vurdering, og krever et bredere datamateriale (minst 10 målinger) som gir et representativt bilde av hvordan forholdene varierer over tid. **Det som sies nedenfor er derfor bare rent orienterende antydninger om hvordan fjorden vil bli klassifisert dersom de observerte verdiene er representative for forholdene.** For næringssalter vil det si i nærheten av gjennomsnittlige eller typiske verdier, mens en for oksygen vil legge vekt på minimumsverdier.

Konsentrasjonene av nitrogen i overflatelaget økte fra 165 µgN/l i Bøkfjorden til hhv. 245 og 300 µgN/l i de to bassengene innenfor Strømmen bru. Dersom dette er representativt, vil det tilsvare SFTs tilstandsklasse II/I (god/meget god). Nitratverdiene på ca. 60 µgN/l i overflaten innenfor Strømmen bru tilsvare tilstandsklasse "meget god" ved aktuell saltholdighet. Alle observerte fosfor- og fosfatverdier i overflaten tilsvare tilstandsklasse god/meget god. Når det gjelder løste næringssalter må det tas forbehold om at tilstandskriteriene anbefales begrenset til områder i Sør-Norge.

Siktedyp 2.5-3 m inne i fjorden tilsvare tilstandsklasse III/IV mindre god/dårlig. De lave verdiene kan skyldes farge eller mineralske partikler (leire) fra elvene.

De korrigerede oksygen-konsentrasjonene i ytre og midtre del av Langfjorden ligger stort sett alle over 4.5 ml/l, som er grensen for tilstandsklasse I "meget god". Bare bunnvannet i profil C3 kommer litt under grensen. Dypvannsprøven fra det innerste bassenget med tilnærmet oksygenfritt vann og en klar plassering i tilstandsklasse "meget dårlig" viser imidlertid at det iallfall tidvis kan være vesentlige oksygenproblemer i dyplagene i dette bassenget. Hvor høyt opp i vannmassen det strekker seg, eller hvor ofte det forekommer, kan ikke sies uten et bredere undersøkelsesprogram.

Selv om data gir indikasjoner for at forholdene kan karakteriseres som relativt gode, betyr ikke det nødvendigvis at de menneskeskapte tilførslene er uten betydning for forholdene i fjorden. Med den sjiktningen som gjaldt da målingene ble gjort blir tilførslene innlagret på 5-10 m dyp, og er ikke fullt tilgjengelig for algevekst, men i situasjoner med mindre ferskvannspåvirkning og svakere sjiktning

kan det blande seg opp i overflaten i større grad. Dersom tilførselene har endret seg vesentlig over tid kan det ha ført til forandringer mht. hyppighet og omfang av oksygenproblemer i dypvannet i den indre delen av fjorden.

6.7 Bunnprøve

Bunnprøven på stasjon H6 i dypområdet i Gukkesvuodna, bassenget innenfor Strømmen bru, ble hentet fra ca. 60 m dyp med en liten van Meren-grabb. Prøven inneholdt ca. 0.75 l bunnsediment. Prøvematerialet var grågrønt, og uten H₂S-lukt, men det ble observert litt innslag av mørkere striper. Prøven ble oppbevart ca. 1 døgn ved ca. +10 °C, og deretter frosset og oppbevart for analyse.

Materialet fra bunnprøven lignet på et normalt fjordsediment. Det var svært finkornet (silt og leire). Etter tining ble prøven vasket gjennom 0.5 mm sil og resterende materiale gjennomgått for å registrere eventuelle bunndyr (bløtbunnsfauna). Følgende dyr ble funnet:

- Musling (Bivalvia)
- Børstemark (Polychaeta), flere arter
- Krepsdyr (Ostracoda)
- Krepsdyr (Tanaidacea)
- Krepsdyr (Amphipoda)
- Sjøpølse (Holothuroidea)

Dette er omtrent hva en kan forvente på en normal fjordlokalitet. Resultatene tyder ikke på at denne lokaliteten i Langfjorden er påvirket av sterk oksygenmangel eller andre ugunstige betingelser.

7. Analyse av vannutveksling og dypvannsfornyelse i Langfjorden - vurdering av slambankens betydning

En vurdering av hvilken betydning slambanken har, må ta utgangspunkt i hvordan vannutvekslingen skjer i dag. Ut fra data fra feltarbeidet i august 1999 og annen informasjon beskrevet foran i rapporten kan det tegnes et bilde av dette.

7.1.1 Strømbildet i ytre fjord ved ulike tidevannsfaser

Strømbildet i fjorden utenfor Strømmen bru har et sammensatt mønster drevet av tidevannsvariasjoner, og med betydelig faseforskyvning mellom strøm utenfra og videre innover mot de dype bassengene i Langfjorden.

Under det meste av utstrømningsperioden i Storstraumen synker vannstanden på innsiden med 5 cm/time. Med et flatearealet 7 km² på innsiden tilsvarer det en utstrømning på ca. 100 m³/s.

I første del av utstrømningsperioden i Storstraumen synker vannstanden også på utsiden. Ved midlere vannstand 1.5 - 2 m over sjøkartnull synker vannstanden i ytre del av fjorden med 55-60 cm/time.

Forbi grunnområdet ved Beddari går det da en strøm på ca. 200 m³/s, hvorav halvparten kommer fra indre deler av fjorden, og resten representerer volumminskningen mellom Storstraumen og Beddari.

For hele området mellom Storstraumen og Hamnes er overflatearealet ca. 1.3 km² ved middelvannstand, det gir en volumreduksjon på ca. 210 m³/s for dette området. Samlet utstrømning forbi Hamnes er altså på dette tidspunktet ca. 310 m³/s. Av dette står transporten gjennom Storstraumen for omkring 1/3.

I denne fasen av tidevannssyklusen ble det om morgenen den 28. august observert at utstrømningen gikk ut forbi Melkberget som et konsentrert bånd, synlig ved kraftig bølgedannelse i overflaten ganske langt utover i fjorden (Figur 15, side 44). Dette er ganske sikkert et generelt trekk, og det vannet som strømmer ut i siste fase ved synkende vannstand vil altså ikke bli liggende rett utenfor slambanken, men havne lenger ut i munningen til Bøkfjorden, i området nord for Sydvaranger ASA. Det vil derfor bare kunne trekkes inn tilbake i fjorden sterkt fortynnet ved etterfølgende innstrømning. På den måten kan den innsnevringen som kanalen gjennom slambanken utgjør faktisk bidra til en mer effektiv vannutveksling i overflaten enn om fjorden var åpen.

Etter at vannstanden i Bøkfjorden og Langfjorden utenfor Strømmen bru begynner å stige igjen, vil det fortsatt strømme vann ut gjennom Storstraumen i over 3 timer, og i denne perioden fylles området mellom Strømmen bru og Melkberget fra begge kanter. I denne fasen vil transporten forbi Hamnes være mye mindre enn under utstrømning. Ca. en time etter lavvann på utsiden vil økning i vannstand mellom Storstraumen og Hamnes omtrent tilsvare utstrømningen fra Storstraumen, og det vil da ikke være noen nettotransport over slambanken, dvs. at strømhastigheten integrert over tverrsnittet vil være nær null.

Etterhvert vil vannstanden på utsiden stige raskere, og arealet som skal fylles opp øker, samtidig som utstrømningen via Storstraumen avtar. Det punktet hvor strøm innenfra og utenfra balanserer vil flytte seg innover mot brua, og litt over 2 timer etter lavvann på utsiden vil det være omtrent null netto-transport over grunnområdet ved Langfjordstrømmen. Vannstandsøkningen på 0.5 m/time for området på 0.5 km² mellom Langfjordstrømmen og inn til Strømmen bru tilsvarer en volumøkning på 70 m³/s, omtrent tilsvarende det som strømmer ut gjennom Storstraumen på dette tidspunktet.

At det er null netto transport gjennom et tverrsnitt betyr ikke at det nødvendigvis er strømslutt. Sannsynligvis vil området med null nettotransport være mer eller mindre preget av storskala hvirvelbevegelser, som bidrar til blanding mellom vannet innenfra og utenfra.

Etter ytterligere 1 time stiger vannet på utsiden høyere enn vannstanden på innsiden og det begynner å strømme inn gjennom Storstraumen. Innstrømningsperioden her varer ca. 4 timer. Strømmen inn over slambanken avtar etter at høyvann er passert på utsiden, og snur ca. 1 time senere, dvs. en time før strømmen snur til utstrøm også i Storstraumen.

Transporten hver vei i Storstraumen er i gjennomsnitt ca. 2.9 mill m^3 pr. tidevannsyklus. Det tilsvarer omtrent anslått volum mellom -3 m og 5 m dyp i området mellom Strømmen bru og Beddari-grunnen, eller hele volumet opp til dyp -1.5 m . Ut fra strøm- og sjiktningmålingene ser det ut til at ikke går en enkel rettet strøm i dette området hverken ved inn- eller utstrøm, men at det er rotasjon og blanding i dette området. Det ble også observert visuelt.

Under siste halvdel av utstrømningsperioden i Storstraumen fylles dette området opp fra begge kanter, og det må antas å gi ganske stor blanding mellom vannmassene her i de øvre $5-7 \text{ meter}$. Det ble imidlertid observert at det ved slutten av utstrømningsperioden kan stå vesentlig tyngre vann under 5 m som ikke har blitt blandet opp med vannet ovenfor (profil C3).

Grunnområdet ved Beddari antas å være naturlig, og det betyr at selv uten slambanken ville mye av vannet som kommer ut fra Langfjorden bli stående i dette området, og etterpå bli ført tilbake med innstrømmende tidevann.

7.1.2 Terskeldyp i Storstraumen beregnet ut fra strømdata

Utstrømningen fra Langfjorden ved Strømmen bru renner som i et elvestryk gjennom den kanalen som utgjør Storstraumen. Det betyr at tverrsnittet ved kanalens begynnelse er kritisk begrensende, og terskeldypet kan da anslås i forhold til vannstanden innenfor ut fra en enkel energibetraktning.

Fra vannstandsdata vet vi at volumtransporten i Storstraumen over det meste av utstrømningsperioden er $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ og kanalbredden er $B = 50 \text{ m}$. Vannstanden i bassenget på innsiden relativt til terskeldypet kalles h_0 . For omtrent rektangulært tverrsnitt vil det ved kritisk strøm være vannstandssenkning ved terskelen på $\Delta h=h_0/3$, som gir en hastighet

$$v = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{2g h_0/3}$$

hvor g er gravitasjonskonstanten 9.81 m s^{-2} . Dette er den betingelsen som gir maksimal transport ut gjennom tverrsnittet ved gitt h_0 . Denne transporten gjennom tverrsnittet med kanalbredde B er

$$Q = (h_0 - \Delta h)Bv = \frac{2}{3}h_0Bv$$

Ved å sette inn uttrykket for v og løse ligningen mhp. h_0 finnes:

$$h_0 = \frac{3}{2} \left(\frac{Q^2}{gB^2} \right)^{1/3}$$

Når dette settes inn i ligningen fås

$$\begin{aligned} h_0 &= 1.1 \text{ m} \\ v &= 2.7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Ved maksimal innstrømning er $Q=150 \text{ m}^3/\text{s}$, som gir

$$\begin{aligned} h_0 &= 1.5 \text{ m} \\ v &= 3.0 \text{ m/s} \end{aligned}$$

over terskeldypet. Høyden gjelder da omtrent høyvannstanden på utsiden. Resultatene stemmer godt med forskjellen i oppstrøms vannstand ved utstrømning og innstrømning, og tilsier at terskelen ved Storstraumen ligger ca. 1 m høyere enn sjøkart nullnivå, altså på dyp -1 m . Beregningen gjelder utstrømning fra homogent vann med lik hastighet i hele tverrsnittet og med rektangulært tverrsnitt. I virkeligheten vil antagelig terskeldypet ligge noe dypere, men neppe under sjøkart nullnivå. Det var ikke mulig å ankre opp for å måle strøm akkurat på terskeldypet, slik at dette kunne verifiseres. En mer nøyaktig bestemmelse av terskeldypet, som det kunne se ut til ligger litt øst for selve brotverrsnittet, kan best gjøres ved strømstille 3 timer før eller 2 timer etter høyvann på utsiden.

7.1.3 Utvekslingen av overflatelaget i indre deler av Langfjorden

Ferskvannstilførselen i Langfjorden er liten i forhold til tidevannsdrevet transport over terskelen. Tilrenningen fra land til fjorden innenfor Storstraumen er anslått til i gjennomsnitt $5 \text{ m}^3/\text{s}$, dvs. ca. 0.2 mill m^3 pr. tidevannssyklus. Transporten knyttet til tidevannet kan til sammenligning være på ca. $2\text{-}4 \text{ mill. m}^3$ i hver tidevannssyklus med varierende høyvannstand mellom 2.5 og 3.5 m , og med middelvei opp mot 3 mill. m^3 . Utvekslingen vil i all hovedsak skje som en enveis transport i skiftende retning, og ikke som lagdelt toveis transport (estuarinsirkulasjon).

For å opprettholde salt- og volumbalanse ved konstant ferskvannstilførsel Q_f over lengre tid og en transport Q_v knyttet til volumendringer (tidevannsvariasjoner), må forholdet mellom gjennomsnittlig saltholdighet i utstrøm (S_{ut}) og innstrømming (S_{inn}) i Storstraumen være gitt ved

$$Q_v S_{inn} = (Q_v + Q_f) S_{ut}$$

som med transporttallene ovenfor gir

$$\frac{S_{ut}}{S_{inn}} = \frac{3.0}{0.2 + 3.0} = 0.94$$

Dersom det ikke var noen vesentlig ferskvannspåvirkning på utsiden, ville altså den lokale ferskvannspåvirkningen ikke kunne opprettholde noen sterk forskjell i lagdeling mellom fjorden innenfor og utenfor Storstraumen. Hvis innstrømmende vann f.eks. hadde saltholdighet 30, måtte utstrømmende vann ha gjennomsnittlig saltholdighet ca. 28. Observerte saltholdighet 15 i innstrømmingen til Langfjorden i august 1999 skulle over tid gi saltholdighet rundt 14.3 i utstrømmende vann ved konstant gjennomsnittlig ferskvannstilførsel til fjorden innenfor Storstraumen. Det er ikke så langt unna det som ble målt i august 1999, men en skal ikke legge for stor vekt på det. Over korte tidsrom vil forholdet selvsagt variere betydelig knyttet til endringer i gjennomsnittssaltholdigheten på innsiden pga. variasjoner i lokal ferskvannstilførsel og varierende saltholdighet på utsiden, og det er ikke mulig å sette anvende slike beregninger på måledata fra noen få dager. Beregningen viser bare at lokal ferskvannstilførsel alene ikke vil kunne opprettholde sterk lagdeling gjennom lengre tid, dersom fornyingsvannet utenfra har jevnt høy saltholdighet, og Storstraumen var den eneste begrensningen på utvekslingen.

Nå vil ikke transportene ut og inn gjennom Storstraumen ha full effektivitet som vannutveksling. Noe av det vannet som strømmer ut vil komme tilbake ved neste innstrømming. Beregningen ovenfor gjelder forskjellen mellom utstrømmende og innstrømmende vann, hvor denne effekten er inkludert. Hvis vi antar en utvekslingseffektivitet på 25-50%, som kan virke rimelig ut fra det som ble observert, og ser på forskjellen mellom utstrømmende vann og det som kommer inn fra Bøkfjorden, vil forskjellene i saltholdighet være 2 til 4 ganger større, dvs. at forholdet mellom saltholdighet i utstrømmende vann fra Langfjorden og innstrømmende vann ved Melkberget i snitt kan være ned mot 0.8.

Observasjonene fra 1995 og 1999 sett samlet tyder på at Langfjorden innenfor Strømmen bru vanligvis er sterkt lagdelt, og at dypvannet bare fornyes episodisk, gjerne om vinteren. Det kan se ut til at den jevne vannutvekslingen om sommeren vil være begrenset til et 15-20 m dypt overflatelag med ganske homogen temperatur, men hvor saltholdigheten varierer mer gradvis mot dypet. Overflatesaltholdighet i det øvre laget var 15-20 i august 1995, ca. 20 i oktober 1995 og rundt 5 i august 1999. Målingene i 1999 ble gjort etter en periode med sterk nedbør, og med høy vannføring iallfall i Pasvikelva, og antagelig også i de lokale elvene. Hvis det antas at vannvolumet ned til 15 m dyp i det nordre bassenget og ned til ca. 10 m dyp i det sørlige bassenget deltar i den jevne utvekslingen, blir det volumet som deltar i utveksling ca. 90 mill m^3 . Hvis effektiv utveksling er ca. 25-50 % av transporten over Storstraumen, kan oppholdstiden for dette volumet inne i fjorden anslås til i gjennomsnitt ca. 20-40 døgn. Det må understrekes at dette bare er en gjennomsnittsbetraktning, siden det vil variere med sjiktningen innenfor og utenfor terskelen i hvor stor grad ulike lag deltar i utskiftningen.

Ut fra dette ser det ut til at målingene i slutten av august 1999 er gjort i en periode hvor fjorden innenfor Strømmen bru fortsatt var preget av regnsværsflommen en uke tidligere. Den lave saltholdigheten i overflaten er antagelig knyttet til dette.

Ved utstrømning vil sjiktet vann fra overflatelaget strømme ut og blandes fullstendig når det passerer Storstraumen. I området mellom Storstraumen og Beddari vil utstrømmende vann blande seg med det vannet som er der fra før. Det vannet som strømmer tilbake vil være homogenisert og noe oppblandet med vann utenfra. Avhengig av om vannet utenfra er lettere eller tyngre enn det som strømmer ut, vil det vannet som strømmer tilbake innlagres nær overflaten eller dypere ned i overflatelaget på innsiden, og sannsynligvis også bidra til ytterligere vertikal blanding i denne prosessen. Transporten frem og tilbake vil bidra til homogenisering av det laget som deltar i utvekslingen, mens varierende lokal ferskvannstilførsel og varierende saltholdighet i overflatelaget på utsiden vil bidra til å opprettholde sjiktningen.

Den svært grunne terskelen ved Strømmen bru og eksistensen av grunnområdet ved Beddari kan i seg selv være tilstrekkelig til å gi Langfjorden innenfor Storstraumen en merkbar ferskvannspåvirkning i overflaten og stagnant dypvann i lengre perioder.

Det er likevel rimelig å tro at den lagdelingen som ble observert i Langfjorden ved tre anledninger i stor grad også er påvirket av at det finnes et overflatelag med lavere saltholdighet på utsiden. Den dominerende ferskvannstilførselen til Bøkfjorden er Pasvikelva, og tidligere hydrografiske observasjoner fra Bøkfjorden kan tyde på at overflatesaltholdigheten i Bøkfjorden generelt er omtrent like lav som inne i Langfjorden. Brakkvannspåvirkningen på utsiden har antagelig vesentlig betydning på sjiktningen på innsiden. Det sjiktede overflatelaget på innsiden kan i perioder med lokal flom være sterkt influert av lokal ferskvannstilførsel, men til andre tider kanskje enda mer av variasjoner i gjennomsnittlig saltholdighet i det vannet som strømmer inn utenfra som fornyingsvann fra Bøkfjorden.

Reguleringen av Pasvikelva, som har ført til jevnere ferskvannspåvirkning utenfor, kan godt ha bevirket at overflatevannet i Langfjorden i gjennomsnitt er blitt ferskere enn det var tidligere, og med færre episoder med tungt vann opp mot overflaten i den ytre delen av Langfjorden, slik at dypvannet blir sjeldnere skiftet ut.

Måledata fra 1999 viser at slambanken i gitte situasjoner bidrar til å minske innstrømningen av vann med høy saltholdighet inn til området ved Storstraumen, og derved senker gjennomsnittlig saltholdighet i innstrømningen til indre deler av Langfjorden. Vannflaten i utstrømningsfasen har en høydeforskjell på 10-15 cm fra innsiden til utsiden av slambanken. Det innebærer en horisontal trykkgradient som gjør at vann med høy saltholdighet vil trykkes ut av området, slik det ble observert i august 1999. Uten den sterke innsnevringen ville brakkvannstransporten ved synkende vannstand sige utover i et tynnere lag, ikke vesentlig tykkere enn brakkvannslaget utenfor, og salt, tungt vann ville lettere fylle opp en større del av området mellom Strømmen bru og Beddari, kanskje opp til dyp 2-3 m, slik at det innstrømmende vannet i gjennomsnitt ville være saltere og tyngre. Uten mer sammenhengende data for en lengre periode er det ikke mulig å kvantifisere hvor mye dette har å si for gjennomsnittlig saltholdighet i innstrømmende vann i Storstraumen eller for hyppighet av episoder med innstrømning av vann som er så tungt at det kan fornye dypere lag innenfor.

Det kan være av interesse å nevne at Aure og Tesaker (1975) fant små forskjeller i sjiktningen innenfor og utenfor slambanken da de målte strøm og sjiktning i slutten av juni 1974. Det var da åpen forbindelse ned til 7 m dyp i kanalen, med et fritt strømningsstverrsnitt på ca. 100 m² under 2 m dyp og den smale og grunne del av kanalen var kortere enn i dag. Under målingene i august 1999 ble det funnet adskillig større forskjell i sjiktning. Med dagens topografi ser det altså ut til at det kan bli en mye større forskjell i sjiktning innenfor og utenfor slambanken enn hva den hadde tidligere. Det kan se ut som slambanken er blitt stadig mer begrensende for tilførselene av salt, tungt vann til området innenfor Beddari ettersom kanalen er blitt grunnere.

Riktignok målte Aure og Tesaker i en situasjon med mindre tidevannsamplitude enn under målingene i august 1999, slik at det kan tenkes målingene ikke er helt sammenlignbare. Data for utrenningen fra Enare for 1974 viser lav vannføring (85-120 m³/s) både under målingene og i et par uker før. Ut fra statistisk sammenheng mellom vannføring ved Skogfoss og Enare kan utrenningen i Bøkfjorden neppe ha vært over 260 m³/s i juni 1974. Ferskvannspåvirkningen på Bøkfjorden ved målingene i 1974 var altså mindre enn i august 1999, da det var nær maksimal flom. I tillegg kommer at målingene 26. august 1999 ble gjort med noe uvanlige sjiktningforhold utenfor, med nedsatt saltholdighet i et mellomsjikt som ellers ikke er observert. Imidlertid ble det også målt i innstrømningen til

Storstraumen neste dag, og det ser ikke ut til at saltholdigheten i innstrømmende vann var noe høyere da. Det salte vannet som ble observert innenfor Beddari-grunnen 26. august kan tenkes å være en rest fra en tidligere innstrømning, kanskje fra en periode noen dager før, da tidevannsamplituden ble lavere, og lavvannstand høyere. Det kan tenkes at slike perioder gir mindre transport i Storstraumen og gunstigere forhold for innstrømning av tungt vann over terskelen.

Den mest rimelige konklusjonen er at slambanken nå ganske sikkert bidrar til større akkumulering av brakkvann mellom Strømmen bru og Hamnes under utstrømningsfasene, og iallfall tidvis mindre innstrømning av tyngre vann utenfra til området innenfor Beddari. Uten slambanken, eller med en dypere og mer åpen forbindelse, ville en ha vann med saltholdighet over 30 stående noen få meter under overflaten stort sett hele tiden, og området mellom Beddari og Strømmen bru ville da raskere bli fylt opp av tyngre, saltere vann ved bunnen ved stigende vannstand. Det ville igjen bidra til at det i gjennomsnitt kom saltere vann inn i Langfjorden. Dette kan i prinsippet tenkes å ha betydning for dypvannsutskiftningen, det drøftes nærmere nedenfor i kapittel 7.1.4.

7.1.4 Dypvannsutskiftning i bassengene innenfor Strømmen bru

Vannmassene inne i Langfjorden under 15-20 m ble både i 1995 og i 1990 observert til å være ganske homogene, og det kan tyde på enten at utskiftningen har foregått forholdsvis raskt, eller at det skjer sterk blanding av dypvannmassene i forbindelse med innstrømning av tungt vann over terskelen. Det kan være av interesse å se på hvor raskt en dypvannsfornyelse i Langfjorden kan foregå.

Oksygenprøven som ble tatt i dypvannet i det sørligste bassenget tyder på at dette vannet har vært i fjorden mye lenger enn dypvannet i det midtre bassenget, og at det altså har skjedd en eller flere fornyelser av dypvannet i det midtre bassenget som ikke har nådd over i det sørligste bassenget. Det er rimelig ut fra topografien, fordi en fornyelse av det sørligste bassenget krever at det midtre bassenget først er fylt opp av tyngre vann til terskeldypet som er 8 m under laveste vannstand her inne.

Volumet dypere enn 20 m i det midtre bassenget mellom Storstraumen og terskelen ved Sandnes er anslagsvis 25 mill. m³. Ved relativt stor tidevannsforskjell på utsiden, som under feltarbeidet i august, stiger vannstanden på innsiden ca. 40 cm under hver innstrømning. Siden fjorden innenfor Storstraumen har overflateareal ca. 7 km², betyr det at det strømmer inn i underkant av 3 mill. m³ vann i hver tidevannssyklus, eller ca. 5.5 mill m³ døgn. Ut fra en slik beregning kan dypvannet i *Gukkesvuodna* opp til 20 m dyp under gunstige forhold skiftes ut med tyngre vann i løpet av 4 til 5 døgn. Det betyr at det er realistisk å regne med at en litt langvarig episode med tungt vann i overflaten på utsiden kan være tilstrekkelig til å gi en slik utskiftning, f.eks. ved sterk sørlig eller sørøstlig vind over Bøkfjorden. I en slik periode vil det renne salt, tungt vann inn i fjorden og ned i bunnområdene ved stigende vannstand og strøm inn gjennom Storstraumen, mens lettere overflatevann går ut av fjorden ved synkende vannstand.

Akvaplan-NIVAs data fra august og oktober 1995 viste omtrent lik saltholdighet, temperatur og oksygeninnhold fra 20 til 30 m dyp i de to bassengene. Det tyder på at begge bassengene på et tidspunkt før dette har blitt fylt opp samtidig av vann med saltholdighet omkring 31.5. De lave temperaturene (0.5 og 0.8 °C) viser at det må ha skjedd om vinteren, og laget må derfor være erodert noe på toppen. Når det ved måletidspunkt var omtrent homogent vann opp til 12 m dyp er det rimelig å tro at det iallfall er blitt fylt opp til 10 m dyp. For å komme inn over terskelen ved Sandnes må vannet først ha fylt opp bassenget utenfor til terskeldypet her, som er 8 m under vannflaten. En full utskiftning av begge bassenger fra bunn og opp til ca. 10 m dyp vil kreve innstrømning av 140 mill. m³ vann, og det ville ta 50 tidevannssykluser, dvs. ca. 3 uker. I såfall må det altså ha foregått fornyelse med tungt, kaldt vann gjennom en lengre periode om vinteren for 1995. Siden det ikke ble målt dypere enn 30 m i 1995, kan det imidlertid ikke utelukkes at det lå enda tyngre (og eldre) vann dypere ned i begge bassengene. Den utskiftningsepisoden som har gitt like forhold mellom 10 og 30 m dyp i de to bassengene kan da ha vært noe mindre, kanskje omkring 100 mill. m³ vann, og altså ha tatt ca. 2 uker. Det tyder på at det vinteren 1995 har vært en forholdsvis lang periode med tungt vann opp mot overflaten i det ytre området.

Dataene tyder altså på at det selv med slambanken kan være god tilførsel av tungt, salt vann inn mot terskelen ved Storstraumen. Det ser imidlertid ut til, ut fra det riktig nok spinkle datamaterialet vi har, at dypvannsutskiftning gjerne skjer om vinteren, og at det ofte ikke skjer noen ytterligere utskiftninger

om sommeren. Iallfall i bassenget sør for terskelen ved Sandnes kan det være tidvis oksygensvinn og det vil si at det antagelig kan gå flere år mellom utskiftningene her.

At dypvannsutvekslingen vesentlig skjer om vinteren, kan henge sammen med at det da er svakere sjiktning i overflaten, pga. mindre lokal ferskvannstilførsel om vinteren, og/eller pga. mer effektiv nedblanding av overflatevann pga. avkjøling. Svakere sjiktning på innsiden vil bety at den turbulente blandingsenergien som tilføres fjorden ved innstrømmingene vil gjøre seg gjeldende dypere ned, og ha en svakere lagdeling å overvinne for å gi full blanding. Samtidig vil utstrømningen ved synkende vannstand trekkes fra et tykkere lag inne i fjorden. En kan tenke seg en utvikling hvor dypvannet blandes inn i et overflatelag som gradvis blir saltere og tykkere, inntil en får full gjennomblanding til bunnen, og lettere dypvann, slik at tungt vann utenfra kan erstatte det gamle dypvannet i fjorden. Det betinger i tillegg at relativt salt, tungt vann kommer så høyt opp i vannmassene på utsiden at det kan renne inn nokså uforynnet over terskelen. Data tyder altså på at det skjer, iallfall om vinteren.

En annen mulig faktor kan være isleggingen om vinteren. Det er opplyst (Ragnar Østby, pers. medd.) at det meste av fjorden innenfor Storstraumen er islagt om vinteren, med grensen for isdekket omtrent midt mellom Storstraumen og Sandnes. I den grad det er slik at isdekket er selv bærende ved lavvann og flyter opp ved høyvann, vil det bidra til å minske volumendringen av vann ved gitt endring i vannstand innenfor Storstraumen. Det vil i praksis bety at nettotransporten inn og ut gjennom Storstraumen kan bli mindre, selv om det samtidig vil bli noe økt vannstandsvariasjon på innsiden. Det kan igjen bety at det i noe større grad kan gå tolagstransporter gjennom Storstraumen, og at tyngre vann får større sjanse til å "flyte" inn i fjorden over terskelen på undersiden av brakkvannet uten å bli så sterkt blandet opp med overflatevann. Dersom dette er riktig, kan det også bidra til at dypvannsutskiftningene gjerne skjer om vinteren.

Et mønster med dypvannsutskiftninger hovedsakelig om vinteren kan ha dominert også tidligere, uavhengig av slambanken. Den naturlige grunne terskelen ved Storstraumen, sammen med mindre lokal ferskvannstilførsel og mer effektiv vertikalblanding om vinteren, eventuelt også effekt av isleggingen, kan være tilstrekkelig til å forklare dette. Det er imidlertid mulig at slambanken har bidratt til å forsterke de faktorene som gir et slikt mønster, ved økt akkumulering av ferskvann i systemet i periodene med lokal ferskvannstilførsel. Reguleringen av Pasvikelva må antas å ha gitt økt ferskvannspåvirkning om vinteren, og skulle heller virke motsatt vei, dvs. gjøre utskiftning om vinteren mindre dominerende.

Når det gjelder de lave dypvannstemperaturene kan det også være et spørsmål om slambanken kan medføre at fornyingsvannet om vinteren blir ytterligere avkjølt fordi det blir bragt nærmere overflaten på vei inn i fjorden. De målte temperaturene under 20 m dyp innenfor Storstraumen på hhv. 0.5 og 0.8 °C er lavere enn det meste av det som er målt i Varangerfjorden. Steen et al. 1981 oppsummerer et ganske stort datamaterialet fra årene 1936-1970. Ved Vardø er temperaturen statistisk sett lavest i mars, og nesten alle målingene ligger da mellom 1.5 og 3.5 °C. Temperaturer ned mot 1 °C forekommer, men bare helt unntaksvis. Vedlegg F inneholder en overslagsberegning over hvor stor avkjøling som kan tenkes av det innstrømmende vannet over slambanken om vinteren. Resultatet er en mulig avkjøling av størrelse ca. 0.5 °C. Det kan derfor tenkes at slambanken bidrar til at dypvann etter utskiftning om vinteren nå vil være noe kaldere enn før avgangsdeponeringen foregikk.

Fordi data fra Akvaplan-NIVAs undersøkelse i 1995 ikke går dypere enn 27 m, og fordi det uheldigvis mangler temperatur- og saltdata fra dypvannet fra den sørlige delen av Langfjord i august 1999 pga. instrumentsvikt (se side 35), har vi ikke noe komplett bilde av forholdene i dypvannet på noen av måletidspunktene. Uansett kreves et måleprogram med f.eks. månedlige målinger over iallfall ett til to år for å få et bilde av fornyelseshyppighet og variasjonsmønster for dypvannskvalitet. Det er nødvendig for å bedømme noenlunde sikkert om en endring av terskeldyp og strømmingstverrsnitt fra Storstraumen og utover kan ha betydning for hyppighet og omfang av dypvannsutskiftninger.

8. Sammenfatning og konklusjon

Vannutvekslingen i indre deler av Langfjorden vil bestemmes av samvirket mellom i hovedsak tre faktorer:

- Hvordan randbetingelsene - spesielt tetthetssjiktningen - varierer på utsiden
- Blandings- og transportprosesser inne i fjorden
- Begrensninger i transporter mellom ytre områder og de indre delene av fjorden

Vurderingene i denne rapporten bygger på 2-3 dagers feltarbeid supplert med data fra tilsvarende minst like kortvarige tokt ved noen få isolerte tidspunkter tidligere. Dette har vært tilstrekkelig til å kartlegge en del sider ved transportene til å fra indre deler av Langfjorden gjennom den ytre delen og slambanken og klargjøre problemstillingen.

Langfjorden er imidlertid et komplekst system, og områdene innenfor Storstraumen har oppholdstider på måneder og år. Det sier seg selv at tilgjengelige data fra så korte og spredte tidsrom ikke kan gi et bilde av utskiftningsforholdene i disse bassengene.

Dypvannet i fjorden er fra naturens side avstengt, og det begrensende tverrsnittet er Storstraumen ved Strømmen bru. Fjorden innenfor dette punktet er preget av dette, og ville nok være det også uten slambanken. Med terskelen bare et par meter høyere opp ville det antagelig vært ferskvann på innsiden. Med den topografi fjorden har, og gitt randbetingelsene med stor ferskvannspåvirkning på utsiden, er det naturlig at det dannes et brakkvannsløkk over dypvannet, som blir stagnant i lengre eller kortere perioder. Lokal ferskvannstilførsel kan være av sekundær betydning generelt, men kan ha stor betydning i flomperioder.

Fjorden synes å være moderat påvirket av kloakk-utslipp. Det er lavt siktedyp, kanskje pga. humuspåvirkning, men tilstanden i overflatelaget ellers ser stort sett ut til å være ganske god. Oksygenforholdene var bra i dypvannet i dypbassenget mellom Strømmen og Sandnes, og her var det også frisk bunn, men det innerste bassenget var oksygenfritt i bunnvannet i august 1999. At det forekommer oksygenfritt dypvann i en så avstengt fjord innenfor to grunne terskler kan være helt naturlig, uavhengig av menneskelig påvirkning. Menneskeskapt tilførsel kan likevel ha betydning for hyppighet og omfang av slike problemer. Dersom det har skjedd en økning over tid av tilførslene, kan det være en faktor som bidrar til å forklare eventuelle endringer mht. oksygenvinn i fjorden. I den grad gruveavgangen fører til opphopning og større tilbakeføring inn i Langfjorden av brakkvann som har strømmet ut i Storstraumen, kan det forsterke virkningen av kloakktilførslene.

For å vurdere betydningen av oksygenproblemet i fjorden nærmere, trengs gjentatte observasjoner over et lengre tidsrom (noen år) av vannkvalitet og vannutskiftningsmønsteret i fjorden, og mer fullstendige data om tilførslene og deres variasjon i tid.

Det kan godt tenkes at fjorden ville ha mye av de samme forholdene som nå selv om slambanken ikke var der. Vi er ikke kjent med observasjoner fra tidligere som kan si noe om hvordan forholdene var før gruvevirksomheten kom i gang.

Målingene i august 1999 har imidlertid vist at slambanken med den grunne terskelen den har i dag iallfall delvis virker som en sperre for tungt vann under sprangsjiktet, slik at det i liten grad trenger inn mot det området som innstrømningen trekkes fra. Ved utstrømning over slambanken vil det tyngre vannet presses ut, og ved innstrømning vil det være mindre mengder av det tyngre vannet som strømmer inn. Dette vil antagelig variere med skiftende tidevannsamplitude og lavvannstand. I gjennomsnitt kan det medvirke til at innstrømningsvannet til Langfjorden innenfor Storstraumen blir mindre salt enn det ellers ville blitt, og at lagdelingen innenfor blir sterkere og mer permanent. Dette kan tenkes å ha betydning for hyppigheten av dypvannsfornyelser i fjorden. Et lettere brakkvannslag med mer stabil lagdeling vil medføre at tettheten i dypere lag avtar langsommere etter en dypvannsfornyelse. Hvis dessuten hyppigheten av tungt vann over terskelnivå blir sjeldnere, kan resultatet være lengre tid mellom dypvannsfornyelsene.

En dypere kanal gjennom slambanken vil ganske sikkert gi mer tungt salt vann på utsiden av Storstraumen, iallfall under 2-3 m dyp. Ut fra strøm- og sjiktningmålinger gjort i 1974 da kanalen var åpen ned til større dyp, kan det se ut til at et fritt strømningsstverrsnitt på ca. 100 m² under 2 m dyp kan være tilstrekkelig til å unngå ulikheter i sjiktning utenfor og innenfor slambanken.

Det er imidlertid vanskelig å si hvor mye et slikt tiltak vil få å si for forholdene inne i Langfjorden. Det vil uansett være et brakkvannslag på utsiden, og innstrømningen vil nok i hovedsak komme fra dette laget, slik at det fremdeles vil være en markert sjiktning i Langfjorden.

Til dette kommer at det også har skjedd endringer i brakkvannspåvirkningen på utsiden, gjennom den utstrakte reguleringen av Pasvikelva som skjedde innenfor perioden 1950-1980. Det må antas at det i dag er et mye mer konstant brakkvannslag i overflaten i Bøkfjorden enn det var tidligere, og det er også noe som kan ha bidratt til å gi sterkere og jevnere tetthetssjiktning i Langfjorden.

Den lave temperaturen (under 1 °C) i dypvannet som ble observert sensommeren og høsten 1995 såvel som i 1999 viser at dypvannet begge år er blitt skiftet ut om vinteren, og uten at det har skjedd noen utskiftning av dypvannet om sommeren. Det høye og relativt homogene oksygeninnholdet i det nordligste dypbassenget tyder på at det har vært en ganske massiv utskiftning. Volumberegninger viser at dette må skje fordelt over noen uker, og det bør derfor være relativt vanlige vintersituasjoner som gir utskiftning.

En dypvannsfornyelse er betinget av at brakkvannslaget er tynnere enn vanlig utenfor, slik at tyngre vann kommer opp mot terskeldyp og kan strømme inn i fjorden. Vinterperioden må antas å være preget av lav vannføring i de lokale elvene, mens ferskvannspåvirkningen utenfra, fra den regulerte Pasvikelva, vil være omtrent den samme gjennom vinteren som i store deler av sommerhalvåret. Det kan peke i retning av at den lokale ferskvannstilførselen har vesentlig betydning for brakkvannsdannelsen i Langfjorden. Dersom Pasvikelva er avgjørende, burde ikke vinterperioden være så spesiell, og eventuelle endringer over tid burde heller gå i retning av mindre dominans av vinterutskiftninger enn før.

Det kan tenkes at et mønster med utskiftning av dypvannet om vinteren i hovedsak også henger sammen med at det da er mindre lagdeling i Bøkfjorden ved gitt ferskvannstilførsel, pga. avkjøling og vindpåvirkning.

Det er også mulig at redusert tidevannsprisme pga. islegging over det meste av indre fjord gir økt mulighet for tolagstransport og innstrømning av saltere, tyngre vann uten så stor oppblanding av lettere overflatevann.

Disse faktorene er helt uavhengig av slambanken. Dersom variasjoner i lokal ferskvannstilførsel er viktige, kan slambanken ha forsterket en tendens til at utskiftningen skjer om vinteren, fordi den fører til noe større opphopning av brakkvann i systemet i andre perioder. Dessuten kan den ha betydning for hvor kaldt dypvannet blir etter en vinterutskiftning. En overslagsberegning i Vedlegg F viser at hvis utskiftningen først skjer om vinteren kan slambanken tenkes å føre til at vannet på vei inn avkjøles ca. 0.5 °C fordi det i større grad bringes opp mot overflaten på vei inn i fjorden over slambanken.

På bakgrunn av disse vurderingene kan følgende konklusjoner trekkes:

- Slambanken har ingen innvirkning av noen betydning for hvor store vannmengder som transporteres inn og ut av Langfjorden ved Strømmen bru med tidevannet. Volumtransporten her begrenses kun av bredde og terskeldyp i kanalen ved Strømmen bru.
- Slambanken kan iallfall til tider begrense innstrømningen av salt, tungt vann til området utenfor Strømmen bru. En utvidelse og fordykning av kanalen gjennom slambanken vil føre til at saltere og tyngre vann i større grad kommer inn til dette området under brakkvannslaget, slik at sjiktningen der blir omtrent som den ville vært uten slambanken. Et strømningsstverrsnitt på ca. 100 m² under 2 m dyp, med terskeldyp 5-7 m under sjøkart nullnivå, synes å være tilstrekkelig. Dette kan i sin tur bidra til saltere innstrømningsvann og hyppigere forekomst av nytt tungt vann videre inn i fjorden forbi Storstraumen, men hvor stor endringen blir, kan ikke bedømmes på eksisterende datagrunnlag.
- Dersom det har skjedd endringer i vannutvekslingen, kan det også være en følge av reguleringen av Pasvikelva, som må antas å ha gitt mer permanent brakkvannspåvirkning utenfor.

- Forekomst av kaldt dypvann pga. dypvannsutskiftninger om vinteren kan skyldes naturgitte faktorer, men kan muligens være forsterket av gruveavgangen.
- Påvist oksygensvinn i dypvannet i det innerste bassenget kan være naturlig, men lokale menneskeskapte tilførsler kan ha betydning for omfanget, eventuelt forsterket av endret vannutskifting.

Det er altså mulig at en utvidelse av kanalen gjennom slambanken har effekt, men det er ikke mulig å kvantifisere dette på det kjente eksisterende datagrunnlaget. Det er lite trolig at det kan finnes eldre data som gjør det mulig å fastslå dette.

For å konkludere sikrere er en avhengig av å skaffe et bredere datamateriale fra dagens situasjon, som kan gi grunnlag for beregninger av transportforhold og vannutskifting også ved endring av topografien. Det bør foretas målinger over 1-2 måneder med selvregistrerende instrumenter, som kan vise hvordan sjiktforhold innenfor og utenfor slambanken varierer med vekslinger mellom liten og stort tidevannsprisme, hvordan sammensetningen av inn- og utstrømmende vann varierer over tid, og hvordan sjiktningen i Langfjorden varierer som følge av dette. Det er også ønskelig å kartlegge variasjonene i vannmassene inne i Langfjorden nærmere med gjentatte målinger av sjiktning og vannkvalitet gjennom 1-2 år som grunnlag for en slik vurdering.

Data bør eventuelt analyseres i sammenheng med data om ferskvannstilførsler og meteorologiske forhold. Resultatene vil eventuelt kunne danne grunnlag for modellsimuleringer som kan beskrive hvordan forholdene vil endre seg ved en endring av kanaltopografien. Målinger må i tilfelle legges opp slik at de gir mest mulig informasjon om hva som skjer vinterstid.

Målingene bør spesielt ta sikte på å belyse:

- Hvordan i sjiktning innenfor og utenfor slambanken varierer med vannføring i Pasvikelva og lokalt til indre deler av Langfjorden, med meteorologiske forhold (vind, temperatur) og med skiftende tidevannsamplitude.
- Hvordan strømbildet over slambanken og rundt Storstraumen varierer med endringer i sjiktning og tidevannsamplituder.
- Hyppighet og omfang av dypvannsutskiftninger i de indre deler av fjorden.

Bakgrunnen for dette arbeidet har vært oppfatninger fra enkelte hold om at fiskeforekomstene i fjorden er blitt dårligere sett over tid, og at det henger sammen med dårligere vannutskifting pga. slambanken. Dersom en skal vurdere dette spørsmålet, kan det være aktuelt å ta i betraktning følgende mulige endringer pga. slambanken og/eller regulering av Pasvikelva:

- Redusert saltholdighet i overflatelaget, og mindre vertikalblanding, dvs. mindre transport av næringsrikt dypvann opp i produksjonslaget.
- Lav dypvannstemperatur gjennom sommeren pga. endret årstidsmønster for dypvannutskiftninger og eventuell forsterket avkjøling pga. slambanken.
- Økt hyppighet og utbredelse av oksygenmangel i dypvannet knyttet til endret vannutskiftingsmønster eller økte forurensningstilførsler.

De bunnprøver som hittil er tatt gir ikke grunn til å hevde at spredning av partikler fra gruveavgangen har påvirket bunnforholdene inne i Langfjorden på noen måte som skulle tilsi dårlige forhold for bunnfauna, og derved mindre føde for fisk.

Det må presiseres at det ikke har ligget innenfor oppdraget å vurdere om fiskeforekomstene faktisk har endret seg mer enn andre steder, eller om virkningen av slambanken kan ha betydning i så måte. Det er heller ikke fastslått at endringer som nevnt ovenfor faktisk har skjedd. Til det vil det som nevnt kreves mer data.

9. Litteratur

Aure, J. og Tesaker, E. (1975): Avleiring av gruveavfall i Langfjorden, Kirkenes. Vassdrags- og Havnelaboratoriet. SINTEF-rapport STF60 A 75007.

Bratli, J.L., Holtan, H. (NIVA), Åstebøl, S.O. (Jordforsk) (1995): Miljømål for vannforekomstene. Tilførselsberegninger. SFT-veiledning 95:02. TA-nr. TA-1139/1995.

Holtan, G., Berge, D., Holtan, H. og Hopen, T. (1995): Paris Convention. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1994. NIVA-rapport O-90001, løpenr. 3361.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J. (1997): Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. Utgiver: Statens Forurensningstilsyn, veiledning 97:03, ISBN 82-7655-367-2, TA-nr. TA-1467/1997.

NVE (1990): Vassdragsregisterets Kartbok Publikasjon nr. V24, Norges Vassdrags- og Energiverk.

Skei, J. (1990): Miljøundersøkelser i fjordsystemet utenfor Kirkenes i Finnmark. 2: Partikler i vannmassen sommeren 1989. NIVA-rapport løpenr. 2343, 53 sider.

Skei, J., Rygg, B., Sørensen, K. (1995): Miljøundersøkelser i fjordsystemet utenfor Kirkenes i Finnmark. Bløtbunnsfauna, sedimenter og partikler i vann juni 1994. NIVA-rapport løpenr. 3281, 66 sider.

Statens Kartverk, Sjøkartverket (1999): Tidevannstabeller for den norske kyst med Svalbard, samt Dover, England. ISSN 0801-2024.

Steen, J.-E., Rye, H., Thendrup, A. (1981): Temperaturforhold i norske kystfarvann. Norges Hydrodynamiske laboratorier, rapport nr. 2-A81039, ISBN 82-595-2438-4.

Tesaker, E. (1978): Sedimentation in recipients. Disposal of particulate mine waste. Vassdrags- og Havnelaboratoriet. SINTEF-rapport STF60 A 78105.

Velvin, R. (1995): Resipientundersøkelse i Langfjord, Sør-Varanger kommune 1995. Akvaplan-NIVA rapport nr. 412.95.769, 63 sider.

Vedlegg A. Detaljer om målemetodikk

A.1. Bearbeiding av data fra Seacat SBE 19 CTD

Lagdelingen i vannet, ved saltholdighet, temperatur og oksygeninnhold, ble målt bl.a. med Seacat SBE 19 CTD fra Seabird Electronics. Saltholdighet (beregnet ut fra målt konduktivitet) og temperatur bestemmes ganske nøyaktig, mens oksygensonden erfaringsmessig ikke er noen presisjonsmåling. Oksygen-sonden har også nokså lang tidskonstant.

Instrumentet registrerer 2 ganger per. sekund. Det ble senket med hastighet ca. 0.5 m/s, med pumping av vann gjennom instrumentet. Ved utvalgte dyp ble den holdt stille i lengre tid (1-2 minutter) for å få best mulig innstilling til oksygen. Data fra heving av instrumentet ble ikke brukt.

Data fra Seacat CTD er først bearbeidet med et sett av programmer fra fabrikanten som anbefalt for målinger med oksygensonde og pumping:

- Temperatur, konduktivitet, trykk, oksygen-strøm og oksygen-temperatur er hentet med program DATCNV fra binærfiler lastet opp fra instrumentet.
- Konduktivitet er filtrert med lavpassfilter, tidskonstant 0.5 sekund med program FILTER for å gi samme respons som temperatur.
- Tidsforskyvning av temperatur (frem 0.5 sekund) og oksygen (frem 6 sekunder) med program ALIGNCTD for å korrigere for tidsforsinkelse pga. pumpingen.
- Beregning av oksygen, saltholdighet, og tetthet er gjort med programmet DERIVE.

Ved videre bearbeiding er trykk, temperatur, saltholdighet og tetthet beregnet som gjennomsnitt for hver halve meter.

Dypet under vannflaten er beregnet i forhold til referansedyp for sjøkart ved å regne om fra trykk korrigert for lufttrykk (dvs. trykk registrert med instrumentet holdt i luft) og integrert ved hjelp av tetthetsprofilen.

Dyp i forhold til 0-nivå for sjøkart er deretter beregnet for hver profil ved å korrigere med vannstand ved måletidspunktet for den vannstandsmåleren som best representerer hvert enkelt målepunkt. Det er dette dypet som brukes i figurfremstillinger i rapporten.

Oksygenkonsentrasjonene er bestemt så godt som mulig ut fra de spesielle målingene hvor sonden ble holdt stille, ved å anslå utflatingsnivå på oksygen som funksjon av tid i de tilfellene hvor tidskurven gir en veldefinert utflating. Det er ikke alltid tilfelle.

A.2. Bearbeiding av strøm- og sjiktningmålinger med UCM-40

Ved de profilerende strøm og sjiktningmålinger med UCM-40 MKII Ultrasonic Current and CTD Monitoring system fra Sortec AS registreres strømhastighet i tre retninger i forhold til instrumentet ved hjelp av ultralyd. Samtidig måles kompassretning og helning på instrumentet i forhold til vertikalplanet, og ut fra dette beregnes vertikal og horisontal hastighet med strømrretning. I tillegg måles temperatur, konduktivitet og trykk.

Målingene ble gjort med instrumentet innstilt på måleområde 2-600 mm/s for strømhastighet, med måleintervall (Sampling Interval) 50 ms, og integrasjonsperiode 0.5 sekund, dvs. at hver registrert verdi er basert på 10 øyeblikksmålinger. Enkeltregistreringer for strøm kan variere ganske mye med passerende hvirvler. For å få et bedre bilde av midlere strøm ble dybdeprofiler målt ved å fire instrumentet i kabel fra oppankret båt, ca. 0.5 meter av gangen, og holde det stille i noen sekunder på hvert dyp. Data ble registrert direkte på PC ved hjelp av kommunikasjonsprogrammet PROCMM.

Instrumentet gir ut følgende verdier for hver integrasjonsperiode:

- Dato
- Kl.slett
- Feilkode
- Horisontal hastighet med kompassretning
- Vertikal strømhastighet (+ oppover)
- Temperatur
- Dyp (m), beregnet ut fra trykk og en antatt tetthet på 1027.3 kg/m^3 (27.3 sigma-t enheter)
- Konduktivitet
- Saltholdighet beregnet ut fra temperatur, trykk og konduktivitet
- Tetthet beregnet ut fra temperatur og saltholdighet.
- Instrumentets helning i to vinkelrette plan.

Data-filene er renset manuelt for registreringer i luft, for enkelte feilregistreringer (med feilkode $\neq 0$), og noen registreringer hvor helningen i begge retninger er angitt til 99 (definert som feilkode). Videre er registreringer hvor helning eller dyp endres sterkt i forhold til foregående eller etterfølgende registrering silt ut. På den måten vil en bare sitte igjen med målinger hvor instrumentet har stått nokså stasjonært, slik at de målte hastighetene er mest mulig reelle. Det vil likevel være en god del fluktusjon pga. hvirvler i vannet, og hastighetene blir derfor midlet over målesekvenser hvor instrumentet har stått stille. Den horisontale hastigheten midles vektorielt over alle godtatte observasjoner innenfor hvert dyp. Enkeltverdier i de strømprofilene som presenteres kan anslås å ha en statistisk nøyaktighet på omkring 3 cm/s som standardavvik ut fra slike antatt reelle variasjoner. Fluktusjoner i hastighet innenfor 10 cm/s kan være tilfeldige, mens nøyaktigheten for gjennomsnittlig strøm over dypintervaller på 2-3 m bør være adskillig mer nøyaktig.

Konduktivitet og temperatur ser ut til å være ganske stabile og ha lite målefeil. Beregnet saltholdighet og tetthet fra instrumentet har en del åpenbart avvikende verdier, og i stedet er det her brukt saltholdighet og tetthet beregnet etterpå med standardformlene fra UNESCO.

Dyp er beregnet som for CTD-data.

A.3. Vannprøver - prøvetakingsmetoder og analysemetoder

Det ble tatt prøver for analyse av følgende kjemiske komponenter:

Kolonne i tabell i vedlegg B.3	Beskrivelse	Labdatakode
O ₂	Oksygeninnhold	O2-Sj
Tot-P	Totalfosfor, ufiltrert vann	Tot-P/L
PO ₄ -P	Ortofosfat i ufiltrert vann	PO4-P
Tot-N	Totalnitrogen i ufiltrert vann	Tot-N/L
NH ₄ -N	Ammonium i ufiltrert vann	NH4-N, NH4N-Sj
NO ₃ -N	Nitritt+nitrat i ufiltrert vann	NO3-N
PN	Nitrogen i partikulært stoff, filtrert med glassfiberfilter	TN/F, GFF
POC	Organisk karbon i partikulært stoff, filtrert med glassfiberfilter	TC/F, GFF

Alle prøvene ble konserverte i felt. De ble oppbevart ved ca. +5 til 10 °C i ett døgn, tatt med som reisegods på fly og deretter satt på kjølerom for senere analyse.

- Prøver for analyse av oksygen ble tappet på glassflaske med glasskork og konserverte, prøveflasken ble oppbevart og oppbevart i lukket vannfylt plastbeholder for Winkler-analyse.
- Prøver for totalfosfor og ortofosfat: 100 ml plastflaske, konserverte med 1 ml H₂SO₄
- Prøver for totalnitrogen og nitrat: 100 ml glassflaske, konserverte med 1 ml H₂SO₄
- Prøver for ammonium: 20 ml plastflaske, konserverte med 0.2 ml H₂SO₄
- Prøver for analyse av partikulært organisk stoff ble tatt på 1/2-liters lystette plastflasker, og konserverte med 1 ml Hg-klorid.

Analysene ble gjort på NIVAs laboratorium, etter metoder beskrevet på etterfølgende sider.

NIVA-metode nr.	Analysevariabel:	Måleenhet:	Labdatakode:
F 1-2	Oksygen	ml/l	O2-sj
Tittel:			
Titrimetrisk bestemmelse av løst oksygen i sjøvann.			
Anvendelsesområde:			
Metoden kan anvendes til bestemmelse av innholdet av løst oksygen i sjøvann som ikke inneholder vesentlige mengder reduserende eller oksiderende stoffer. Nitritt (opp til 6 mg/l NO ₂ -N) og jern(II) (opp til 1 mg/l) påvirker ikke resultatet, men hvis prøven inneholder andre reduserende stoffer, slik som lett oksiderbart organisk materiale eller sulfitt, bør man heller anvende potensiometrisk oksygenbestemmelse. Minste bestembare konsentrasjon er 0.1 ml/l O ₂ .			
Prinsipp:			
Metoden er en modifisert utgave av Winklertitrering. Til prøven, hvor løst oksygen skal bestemmes, tilsettes Mn(II)ioner. Deretter gjøres prøven alkalisk med natriumhydroksid som inneholder natriumjodid og natriumazid. Det hvite bunnfallet av manganhydroksid som dannes, oksideres av det løste oksygenet til mangan(IV)oksidhydrat, og bunnfallet blir brunt. Når prøven senere surgjøres, oppløses bunnfallet og mangan(IV) reduseres til mangan(II) ved at jod, i en mengde ekvivalent med det oppløste oksygenet, frigjøres. Dette titreres med tiosulfat.			
Instrument(er):			
Byrette med volum 20 ml og gradering 0.05 ml. Magnetrøreverk med magnetrører.			
Måleusikkerhet:			
Ved 12 dobbeltbestemmelser av naturlige prøver ble middelverdien for differansen 0.006 ml/l, og standardavviket ble 0.038 ml/l. Dette gir et uttrykk for metodens repeterbarhet.			
Referanser:			
NS-ISO 5813. Bestemmelse av oppløst oksygen. Iodometrisk metode. 1. Utg. 1993.			

NIVA-metode nr. D 2-1	Analysevariabel: Totalfosfor	Måleenhet: $\mu\text{g/l P}$	Labdatakode: Tot-P/L
Tittel: Bestemmelse av totalfosfor i ferskvann og sjøvann med Skalar Autoanalysator etter oppslutning med peroksodisulfat.			
Anvendelsesområde: Metoden gjelder for bestemmelse av totalfosfor i naturlig ferskvann og sjøvann med Skalar autoanalysator, og er ikke egnet for avløpsvann med høyt innhold av organisk materiale. Den maksimale fosforkonsentrasjon som bestemmes uten fortykning er 500 $\mu\text{g/l P}$. Prøver med høyere innhold av fosfor må fortynnes. Nedre bestemmelsesgrense er 1 $\mu\text{g/l P}$.			
Prinsipp: Komplekse, uorganiske fosfater og organisk bundet fosfor omdannes til ortofosfat ved oppslutning med peroksodisulfat i surt miljø. Oppslutningen skjer ved koking i lukket teflon-beholder i autoklav. I en løsning med svovelsyrekonsentrasjon ca. 0.1 mol/l reagerer ortofosfat med molybdat og treverdig antimon til en gul farget molybdofosforsyre. Denne reduseres av askorbinsyre til et blåfarget heteropolykompleks (molybdenblått). Absorbansen til komplekset måles ved 880 nm. For prøver med høyt innhold av organisk stoff må en kraftigere oksidasjonsmetode benyttes. Interferens fra fritt klor elimineres av askorbinsyren under den fargefremkallende reaksjon.			
Instrument(er): Skalar San Plus Autoanalysator, med Skalar Autosampler San System 1070, Skalar Module holder/pump San System 4000, Skalar Matrix photometric detector SA 6250-02, Skalar Controller San System 8600, Skalar Autodiluter SA 1091-02, Skalar 16 channel data processing package type 8600.			
Måleusikkerhet: 44 målinger av en kaliumhydrogenfosfatløsning med konsentrasjon 4 $\mu\text{g/l}$ ga middelværdi 3,86 $\mu\text{g/l}$ og standardavvik 0,17 $\mu\text{g/l}$. Tilsvarende for 40 målinger av 40 $\mu\text{g/l}$ ga 39,6 og 0,46 $\mu\text{g/l}$, og 44 målinger av 400 $\mu\text{g/l}$ ga 401,4 og 3,2 $\mu\text{g/l}$.			
Referanser: Norsk Standard, NS 4725. Bestemmelse av totalfosfor – Oppslutning med peroksodisulfat. 3. Utg. 1984. Modifisert ved at bestemmelsestrinnet er automatisert.			

NIVA-metode nr. D 1-1	Analysevariabel: Fosfat	Måleenhet: $\mu\text{g/l P}$	Labdatakode: PO4-P
Tittel: Bestemmelse av fosfat med Skalar Autoanalysator.			
Anvendelsesområde: Metoden gjelder for bestemmelse av fosfat i naturlig ferskvann og sjøvann. Den maksimale fosforkonsentrasjon som kan bestemmes uten fortynning er 500 $\mu\text{g/l P}$. Prøver med høyere innhold av fosfor må fortynnes. Nedre bestemmelsesgrense er 1 $\mu\text{g/l P}$. Silisium og arsen kan interferere, men ved de betingelser som brukes her interfererer ikke 5 mg/l SiO_2 .			
Prinsipp: I en løsning med svovelsyrekonsentrasjon ca. 0,1 mol/l reagerer ortofosfat med molybdat og treverdig antimon til en gul farget molybdofosforsyre. Denne reduseres av askorbinsyre til et blåfarget heteropolykompleks (molybdenblått). Absorbansen til komplekset måles ved 880 nm. Metoden utføres automatisert med autoanalysator.			
Instrument(er): Skalar San Plus Autoanalysator, med Skalar Autosampler San System 1070, Skalar Module holder/pump San System 4000, Skalar Matrix photometric detector SA 6250-02, Skalar Controller San System 8600, Skalar Autodiluter SA 1091-02, Skalar 16 channel data processing package type 8600.			
Måleusikkerhet: 43 målinger av en syntetisk fosfatløsning med konsentrasjon 4 $\mu\text{g/l}$ ga som middelvei 4,03 $\mu\text{g/l}$ og standardavvik 0,14 $\mu\text{g/l}$. Tilsvarende for 41 målinger av 40 $\mu\text{g/l}$ ga 40,0 og 0,41 $\mu\text{g/l}$, og 42 målinger av 400 $\mu\text{g/l}$ ga 400,2 og 2,7 $\mu\text{g/l}$.			
Referanser: Norsk Standard NS 4724. Bestemmelse av fosfat. 2. Utg. 1984. Modifisert ved at metoden er automatisert.			

NIVA-metode nr. D 6-1	Analysevariabel: Totalnitrogen	Måleenhet: $\mu\text{g/l N}$	Labdatakode: Tot-N/L
Tittel: Bestemmelse av nitrogen i ferskvann og sjøvann etter oppslutning med peroksidisulfat, sluttbestemmelse med Skalar Autoanalysator.			
Anvendelsesområde: Metoden gjelder for bestemmelse av "totalnitrogen" i ferskvann og sjøvann etter oppslutning med peroksidisulfat. Metoden er tilpasset syrekonserverte prøver. Den maksimale nitrogenkonsentrasjon som kan bestemmes uten fortynning av prøven er 1500 $\mu\text{g/l}$, og nedre bestemmelsesgrense settes da til 10 $\mu\text{g/l}$. Prøvene fortynnes maksimalt 1:4. Prøver med høyere nitrogeninnhold sendes til bestemmelse av TOT-N/H.			
Prinsipp: Metodebeskrivelsen angir en automatisert metode som gjelder for analysesystemer der det anvendes luftsegmentering. Organiske og uorganiske nitrogenforbindelser oksideres til nitrat ved oppslutning med kaliumperoksidisulfat i alkalisk miljø. Nitrat bestemmes som nitritt etter reduksjon i en kobberbelagt kadmiumkolonne i en bufret løsning med $\text{pH} = 8.0 - 8.5$. Nitritt reagerer i sur løsning ($\text{pH} = 1.5 - 2.0$) med sulfanilamid til en diazoforbindelse, som kobles med N-(1-naftyl)etylendiamin til et azofargestoff. Absorbansen til dette måles spektrofotometrisk ved bølgelengden 540 nm.			
Instrument(er): Skalar San Plus Autoanalysator, med Skalar Autosampler San System 1070, Skalar Module holder/pump San System 4000, Skalar Matrix photometric detector SA 6250-02, Skalar Controller San System 8600, Skalar Autodiluter SA 1091-02, Skalar 16 channel data processing package type 8600.			
Målesikkerhet: 45 målinger av en kaliumnitratløsning med konsentrasjon 400 $\mu\text{g/l}$ ga middelveidien 405 $\mu\text{g/l}$ og standardavviket 7,9 $\mu\text{g/l}$. 45 målinger av en EDTA-løsning med 400 $\mu\text{g/l N}$ ga tilsvarende 405 og 7,2 $\mu\text{g/l}$.			
Referanser: Norsk Standard, NS 4743. Vannundersøkelse – Bestemmelse av nitrogen etter oksidasjon med peroksidisulfat.			

NIVA-metode nr.	Analysevariabel:	Måleenhet:	Labdatakode:
D 5-1	Ammonium-nitrogen	$\mu\text{g/l}$	NH4-N, NH4-N-Sj
Tittel:			
Bestemmelse av ammonium-nitrogen med Technicon Autoanalysator.			
Anvendelsesområde:			
Denne metoden gjelder for bestemmelse av ammonium-nitrogen i ferskvann og sjøvann. Minste bestembare konsentrasjon er 5 $\mu\text{g/l}$. Høyeste konsentrasjon for direkte bestemmelse er 500 $\mu\text{g/l}$ i ferskvann og 250 $\mu\text{g/l}$ for sjøvann. Ved å bruke en 1:10 fortynning kan man analysere opp til 5000 $\mu\text{g/l}$. Prøver med høyere ammoniuminnhold, forurensede prøver og sulfidholdig sjøvann analyseres med ammonium elektrode.			
Prinsipp:			
Ammonium reagerer i svakt alkalisk løsning (pH 10.8 til 11.4) med hypokloritt under dannelse av monokloramin, som i nærvær av fenol og overskudd av hypokloritt gir en blåfarget forbindelse, indofenolblått. Absorbansen til denne forbindelsen måles ved bølge-lengden 630 nm. Reaksjonen blir katalysert av pentacyanonitrosylferrat (nitroprussid).			
Instrument(er):			
Technicon Autoanalysator II med ammoniumkasett og Sampletron prøveveksler.			
Måleusikkerhet:			
43 målinger av en ammoniumsulfatløsning med konsentrasjon 200 $\mu\text{g/l}$ N i ferskvann ga middelerdi 199,8 $\mu\text{g/l}$ og standardavvik 1,9 $\mu\text{g/l}$. Tilsvarende for en 200 $\mu\text{g/l}$ løsning i sjøvann ga 42 målinger 201,0 og 5,0 $\mu\text{g/l}$ N.			
Referanser:			
Norsk Standard, NS 4746. Vannundersøkelse. Bestemmelse av ammonium-nitrogen. 1. utg. 1975. Modifisert ved automatisering av bestemmelsen.			

NIVA-metode nr.	Analysevariabel:	Måleenhet:	Labdatakode:
D 3	Nitrat + nitritt-nitrogen	$\mu\text{g/l N}$	NO3-N
Tittel:			
Bestemmelse av nitritt + nitrat med Skalar Autoanalysator i ferskvann, sjøvann og rensset avløpsvann.			
Anvendelsesområde:			
Metoden gjelder for bestemmelse av summen av nitrat- og nitritt-nitrogen i naturlig fersk-vann og sjøvann, samt i rensset avløpsvann. Metoden er ikke egnet for direkte bestemmelse i avløpsvann med høyt innhold av metaller eller organisk materiale. Avløpsvann som inneholder partikulært materiale må filtreres før analyse. Metoden er tilpasset syrekonser-verte prøver. Den maksimale nitrogenkonsentrasjon som kan bestemmes uten fortykning av prøven er 1200 $\mu\text{g/l}$, og nedre bestemmelsesgrense er 1 $\mu\text{g/l}$.			
Prinsipp:			
Metodebeskrivelsen angir en automatisert metode som gjelder for systemer der det anvendes luftsegmentering. Nitrat reduseres av kobberbelagt kadmium til nitritt i en bufret løsning der pH = 8.0 - 8.5. Nitritt reagerer i sur løsning (pH = 1.5 - 2) med sulfanilamid til en diazoforbindelse, som kobles med N-(1-naftyl)-etylendiamin til et azofargestoff. Absorbansen til dette måles spektrofotometrisk ved bølgelengden 540 nm.			
Instrument(er):			
Skalar San Plus Autoanalysator, med Skalar Autosampler San System 1070, Skalar Module holder/pump San System 4000, Skalar Matrix photometric detector SA 6250-02, Skalar Controller San System 8600, Skalar Autodiluter SA 1091-02, Skalar 16 channel data processing package type 8600.			
Måleusikkerhet:			
Området 1 – 150 $\mu\text{g/l}$: 44 målinger av en kaliumnitratløsning 5 $\mu\text{g/l N}$ ga middelværdien 5,6 $\mu\text{g/l}$ og standardavviket 1,0 $\mu\text{g/l}$. 43 målinger av 50 $\mu\text{g/l}$ ga tilsvarende 49,7 og 1,3 $\mu\text{g/l}$. For området 5 – 1200 $\mu\text{g/l}$: 45 målinger av 5 $\mu\text{g/l}$ ga 4,8 og 1,1 $\mu\text{g/l}$, 43 målinger av 50 $\mu\text{g/l}$ ga 49,2 og 1,7 $\mu\text{g/l}$, og 42 målinger av 1000 $\mu\text{g/l}$ ga 1013 og 16 $\mu\text{g/l}$.			
Referanser:			
Norsk Standard, NS 4745. Bestemmelse av summen av nitritt- og nitratnitrogen. 2. Utg, 1991. Modifisert ved automatisering av bestemmelsen.			

NIVA-metode nr.	Analysevariabel:	Måleenhet:	Labdatakode:
G 6	Totalt karbon og nitrogen	mg/l	TC/F, TN/F
Tittel:			
Bestemmelse av karbon og nitrogen i fast stoff med Carlo Erba elementanalysator.			
Anvendelsesområde:			
Metoden gjelder for bestemmelse av nitrogen og karbon i tørt stoff og i ikke-flyktige, tungt-flytende væsker, samt frafiltrert materiale på glassfiberfiltre. Konsentrasjonsområdet for bestemmelsen er 0.1 % - 100 %. Tørkede prøver må kunne homogeniseres til pulverform da uttaket pr. prøve er fra 0.5 mg til 10 mg. Deteksjonsgrenser : 0.1% nitrogen - 1.0 µg/mg N, 0.1% karbon - 1.0 µg/mg C.			
Prinsipp:			
Tørr prøve veies inn i tinnkapsler som forbrennes i oksygenmettet heliumgass ved ca. 1800 °C. Ved hjelp av katalysatorer vil forbrenningen bli fullstendig. Overskudd av oksygen fjernes ved hjelp av kobber ved ca. 650 °C. Her reduseres også nitrogenoksyder til N ₂ -gass. Forbrenningsgassene passerer deretter en kromatografisk kolonne, og N ₂ - og CO ₂ -gassene detekteres i en varmetrådsdetektor. Arealet under toppene integreres, og integralverdiene behandles av et PC-program. Resultatene regnes ut i prosent, skrives ut og lagres på diskett.			
Instrument(er):			
Carlo Erba Elementanalysator 1106, med prøveveksler AS 400 LS.			
Måleusikkerhet:			
84 målinger av sulfanilamid med teoretisk verdi 41.84 % C ga middelverdi 41.66 % og standardavvik 0.22 % C. For nitrogen er teoretisk verdi 16.27 %, og 84 målinger ga her 16.37 og 0.36 % N.			
Referanser:			
CARLO ERBA STRUMENTAZIONE, ELEMENTAL ANALYZER 1106. Instruction manual. APPLICATION LAB REPORTS, Elemental analysis lab, Carlo Erba. January 1987.			

Vedlegg B. Detaljert oversikt over måleprogrammet i august 1999

B.1. Utplassering av instrumenter for kontinuerlige målinger av vannstand og strøm.

Målepunkter er vist på kart i Figur 6 på side 15. Dyp relativt til vannflate på utsettingstidspunkt.

Målepunkt:	Beskrivelse	Tid (UTC):		Vannstand ved utsetting (m)
		Satt ut 25. Aug	Tatt opp 28.aug	
Aa1	Satt ut Aanderaa vannstandsmåler, Sensortype 3191, Snr. 757 ved Melkberget på nordsiden av fjorden, rett overfor ytre del av Slambanken, på ca. 2 m dyp	12:52	7:51	2.3
Aa2	Satte ut Aanderaa vannstandsmåler, Sensortype 3196, Snr. 748, på nordsiden av fjorden, rett ut for Beddari, på ca. 3 m dyp	13:34	7:31	2.6
G1	Satt ut Sensordata strømmåler (identifikasjon: S5) i indre del av kanalen gjennom slambanken, ca. 10 m bunndyp, måler plassert ca. 5 meter over bunn, 25 fra land på nordsiden av fjorden.	14:34	7:35	2.85
STD1	Satt ut Sensordata STD, serienr. 106, sørøst av Straumbukt, på ca. 6 m dyp, ca. 1/2 m over bunn.	16:21	6:54	2.36
STD2	Satt ut Sensordata STD, serienr. 33, på østsiden sør for Sandnes, på ca. 3 m dyp, ca. 1/2 m over bunn.	17:00	7:02	2.40
G2	Satte ut Sensordata strømmåler (identifikasjon S3) ca. 500 nedenfor Strømmen bru, 7 m over bunndyp 13 m, ca. 25 m fra land på nordsiden av fjorden, 20 m innenfor markert odde	17:23	7:20	2.4

B.2. Måleprogram 26-27. august - profiler av salt, temperatur, oksygen og strøm, siktedyp og vannprøver.

Alle dyp i denne tabellen refererer seg til vannflaten ved måletidspunkt.

Dato	Tid (UTC):		Vannstand på målepunkt		Beskrivelse	Bunn (m) ekko-lodd	Sikte-dyp (m)	UCM				Vann-prøver
	Start	Stopp:	fase	(m)				Punkt	Dyp	Punkt	Dyp	
26.aug	7:42	7:50	Synkende	1.15	CTD rett utenfor Sydvaranger ASA - midt i fjorden	31				C1	28	
	8:06	8:09		1.00	UCM i kanalen i slambanken ved Hamnes	9		U1	9.4			
	8:24	8:28		1.04	UCM 30 m nordøst for strømmåler G1 (i antatt strømreretning)	9		U2	8.1			
	8:38	8:42		0.92	UCM i samme tverrsnitt som U2, lenger fra land	5		U3	6			
	9:02	9:17		0.85	UCM ca. 30 m nordøst for punkt G2 (i antatt strømreretning)	10		U4	8.9	C2	9	
	9:32	9:35		0.65	UCM i samme tverrsnitt som U4, mot sør	5		U5	4.1			
	9:47	9:51	Lavvann	0.62	UCM i samme tverrsnitt som U5, i midten	9		U6	8.4			
	10:15	12:00	Stigende	0.60 1.30	Opplodding av bunn mellom Strømmen bru og Melkeberget							
	13:30				Visuelt observert: omtrent strømsstille ved Strømmen bru i overflaten							
	13:46	13:52		2.27	CTD i dypeste området innenfor Beddari	12	4			C3	12	
	14:05	14:14		2.4	CTD i området utenfor Sydvaranger ASA	26				C4	20	
	14:26	14:29		2.5	UCM rett innenfor vannstandsmåler Aa1, ca. 100 m fra land på nordsiden	6		U7	5.4			
	14:37	14:41		2.70	UCM litt lenger ut, ca. 100 fra land på nordsiden	13		U8	13			
	14:54	14:56		2.80	UCM lenger inn i kanalen gjennom slambanken, omtrent på grunneste parti	5		U9	4.4			
	15:08	15:11		2.85	UCM ved strømmåler G1, 20 m sørøst for markeringsbøye. Visuelt observert: svak strøm utover i overflaten	10		U10	9.7			
	15:25	15:30		2.90	UCM ved strømmåler G2, ca. 5 m sørøst for markeringsbøye. Visuelt observert: lite strøm i målepunktet, samtidig kraftig strøm inn gjennom Storstraumen	14		U11	13			
	15:39	15:42		2.94	UCM i tverrsnitt rett under kraftledning, mot nordlig bredd	4		U12	4			

Dato	Tid (UTC):		Vannstand på målepunkt		Beskrivelse	Bunn (m) ekko-lodd	Sikte-dyp (m)	UCM				Vannprøver
	Start	Stopp:	fase	(m)				Punkt	Dyp	Punkt	Dyp	
26.aug	15:56	15:58	Høyvann	2.94	UCM i samme tverrsnitt, lenger mot sør. Visuelt observert: Svakere strøm inn i overflaten langs nordlig bredd, sterk strøm inn på sørsiden av tverrsnittet	4		U13	4.1			
	16:05	16:07		2.93		UCM i tverrsnittet ved strømmåler G2, men ca.2/3 over mot sørlig bredd.	7		U14	6.3		
	16:23	16:25		2.91		UCM ca. 60 m utenfor kraftledningen, dvs. i innstrømningen til snittet U12-U13, litt mot nordsiden av fjorden	7		U15	6.3		
	16:30			2.90	Kjørte inn gjennom Storstraumen, observerte kraftig strøm inn gjennom brutverrsnittet og videre inn langs land på nordsiden av fjorden							
	17:30	18:00	Høyvann indre fjord	2.40	Sør for øya i Midtre del av fjorden, over største bunndyp ifølge kart. Tok vannprøve for oksygenanalyse fra 60 m dyp.	65-70				C5	65	H6
	18:00		snur på innsiden		Passerte Storstraumen på vei ut. Observert visuelt: Svak strøm ut - lite vind, blank sjø.							
27.aug	6:45				Passerte Storstraumen på vei inn i Langfjorden. Observert visuelt: Tydelig strøm ut gjennom Storstraumen, men ikke fossende							
	7:55	9:20	synkende	2.30	I indre del av Langfjorden, ca. sør for Sandnes, omtrent over største bunndyp i det indre bassenget. Overflateprøve for TOC-analyse. Vannprøver for næringssalter fra 1, 5, 10,25 og 55 m dyp, fra siste dyp også for oksygenanalyse. Vannhenteren gikk i bunn på 58 m dyp (Ifølge meterhjul på vinsjen), ble heist opp 3 m før utløsning. Vannprøven hadde svak H2S-lukt.	65-60	2.5			ikke reg.	H1	
	10:30	11:02		2.20	Ved utløpet av Sandneselva. Vannprøver fra overflaten (0m). Vind fra nord, 3-5 m/s		3			ikke reg.	H2	
	10:55	11:02		2.21	UCM-profil ved H2	6		U16	5.7			
	11:23	11:29		2.18	UCM-profil midt i brotverrsnittet ved Sandnes. Ekkolodd viste 8 m dyp ca. 20 m lenger nord	10		U17	8.4			
	11:45	11:49		2.17	Posisjon litt nord for kloakkutslipp ved Sandnes. Vannprøver fra 1, 5 og 10 m. UCM-profil	14		U18	12			H3
	12:30	13:00			Vannprøver fra 1, 5 og 10 m		3					H4

Dato	Tid (UTC):		Vannstand på målepunkt		Beskrivelse	Bunn (m) ekko-lodd	Sikte-dyp (m)	UCM				Vann-prøver		
	Start	Stopp:	fase	(m)				Punkt	Dyp	Punkt	Dyp			
27.aug	13:07	13:10	lavvann	2.11	UCM-profil ved H4	65-60		U19	13	ikke reg.		H5		
	13:20	14:00			Vannprøver for næringssalter og total N og P fra 1,5 og 10 m. Vind nordlig, 5 m/s									
	14:30	15:10	stigende	2.15	Vannprøver fra 1,5,10 og 25 m for næringssalter og total N og P. Bunnprøve hentet fra 60 m med grabb			U20	16			U21	8.8	H6
	15:26	15:29			UCM i ytterkant av innstrømmen langs land på innsiden av Storstraumen.									
	15:38	15:42	stigende vannstand	2.90	UCM midt i innstrømmen utenfor Storstraumen, omtrent på samme posisjon som U15			28						H7
	16:30	17:00	høyvann ved Melkberget	3.05	Utenfor Sydvaranger ASA, omtrent i posisjon C1. Vannprøve fra overflaten for analyse av TOC. fra 1,5, 10 og 25 m for næringssalter. Vannprøver fra 5 og 25 m dyp for saltholdighetsbestemmelse.									

B.3. Hydrokjemi - analyseresultater for vannprøver

Stasjon (UCM- profil)	Dyp(m) fra over- flaten	Sal.	Temp °C	O ₂ (ml/l)	Tot-P (µg/l P)	PO4-P (µg/l P)	Tot-N (µg/l N)	NH ₄ -N (µg/l N)	NO ₃ -N (µg/l N)	Org-N [‡] (µg/l N)	Partikulært stoff		
											tot-N (µg/l N)	TOC (µg/l C)	C:N mol:mol
H1	0.2										51.4	344	7.8
	1				9	<1	300	<5	64	231			
	5				8	4	165	33	12	120			
	10				5	2	149	<5	56				
	25				30	27	245	<5	180				
	55				0.1	311	313	123	43	2	78		
H2 (U16)	0.2	1.1	10.44		<1	<1	123		17				
H3 (U18)	0.4	3.5	10.6										
	1	4.20	10.50			2	260	10	62				
	5	14.38	10.47			5	170	30	25				
	10	17.34	10.10			5	168	27	18				
H4 (U19)	0.3	4.2	10.76										
	1	4.25	10.70			1	280	<5	68				
	5	14.58	10.47			5	175	32	27				
	10	17.86	10.18			8	195	38	20				
H5	1					<1	260	<5	60				
	5					5	195	27	31				
	10					7	170	19	27				
H6 (C5 [*])	0.37	(6.1)	(10.4)										
	1	(7.2)	(10.3)		10	2	245	8	47	190			
	5	(15.4)	(10.5)		10	5	185	27	27	131			
	10	(18)	(10.7)		10	6	175	33	20	122			
	25	(30.9)	(1.5)		34	30	260	<5	185	70			
	60	(31.81)	(0.744)	5.02									
H7 [§]	0.2										22	219	11.6
	1				7	2	165	7	12	146			
	5	30.884			9	4	108	13	8	87			
	10				9	3	108	5	4	99			
	25	33.296			10	7	99	19	8	72			

[‡] Org-N beregnet som [Tot-N] - [NH₄-N] - [NO₃-N]

*: Saltholdighet , temp. og oksygen fra 26. august

§: Saltholdighet ved titrering av vannprøve

Vedlegg C. Sjiktning og oksygen målt med Seacat SBE 19 CTD

Etterfølgende figurer viser resultatet av CTD- målingene etter bearbeiding som beskrevet foran i vedlegg A.1. Måleposisjoner (C1-C5) er vist i Figur 1 til Figur 1, og sammenhengen med andre observasjoner er vist i tabellen i vedlegg B.2. Tabell 7 oppsummerer nøkkelinformasjon om CTD-profilene.

Tabell 6. Liste over CTD-profiler, med dyp-forhold og vannstand.

Dyp i forhold til sjøkartnull ved Kirkenes finnes ved å subtrahere vannstand lest ut av vannstandskurvene.

Profil	Dato	Kl. (UTC)	Sted	Vannstand ved angitt målepunkt (m)		Maks. dyp (m)
C1	26.aug	7:42	Rett utenfor Sydvaranger ASA - midt i fjorden	1.15	Aa1	28
C2		9:17	Ca. 30 m nordøst for punkt G2 (samtidig med UCM-profil U4)	0.85	Aa2	9
C3		13:46	dypeste området innenfor Beddari	2.27	Aa2	12
C4		14:05	I området utenfor Sydvaranger ASA	2.4	Aa1	20
C5		17:30	Sør for øya i Midtre del av fjorden, over største bunnndyp ifølge kart.	2.4	STD1	65

Figurene på etterfølgende sider viser først lagdelingen for de fire profilene. Figurene til venstre viser temperatur mot øvre akse, og saltholdighet mot nedre akse. Tetthet vil i all hovedsak variere lineært med saltholdighet, og er ikke vist spesielt.

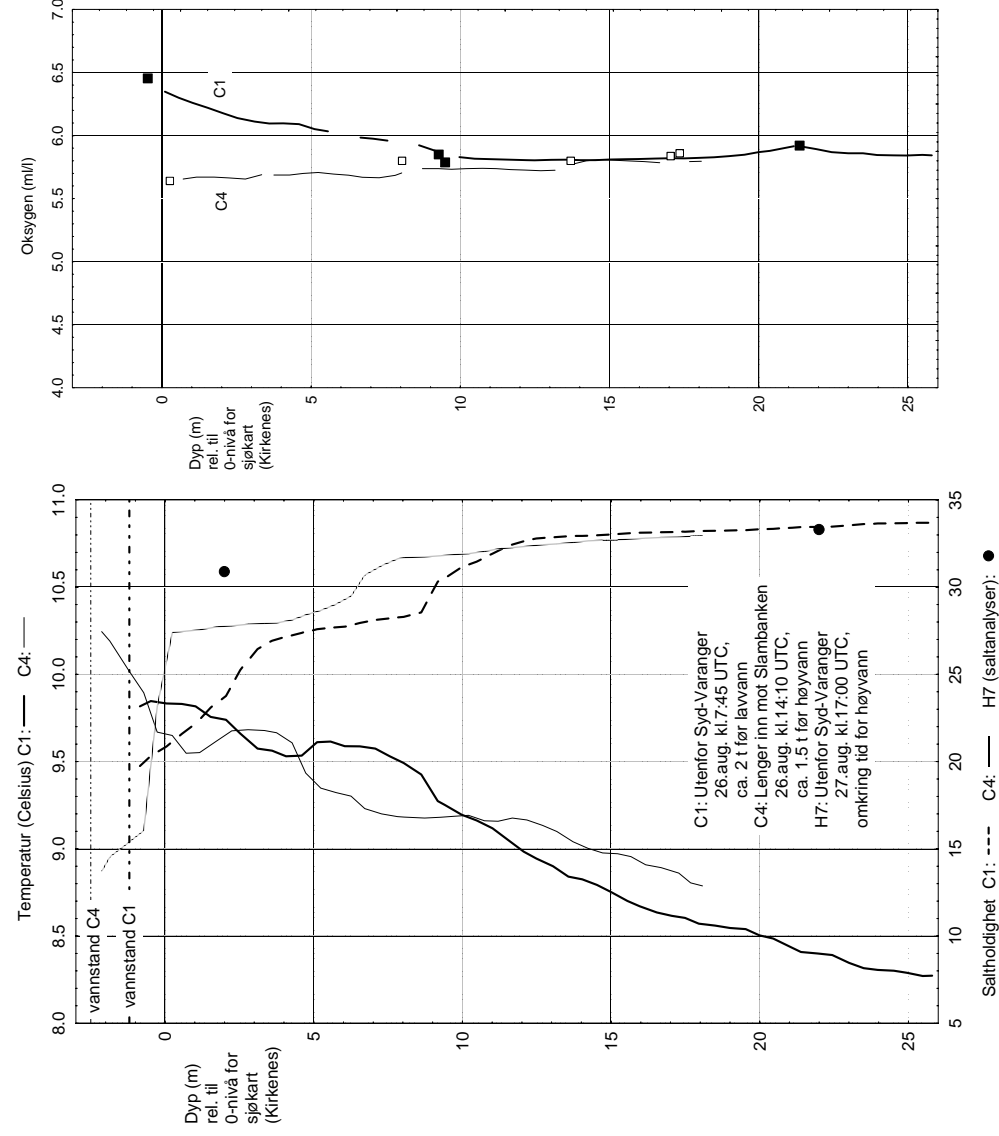
CTD-profiler ser ut til å ha en praktisk nøyaktighet på ca. ± 0.1 i saltholdighet, og ± 0.01 i temperatur ved gjentatt profil på samme sted innenfor noen få minutter (sammenligning av gjentatt kjøring over samme dypintervall for C2 og C5). Dette inkluderer da også reelle endringer i dypprofilene pga. at vannmassene strømmer forbi måleprofilen, og variasjoner med tilfeldig preg knyttet til f.eks. hvirvler (turbulens) i vannet.

Figurene til høyre viser målte oksygenkonsentrasjoner med oksygensonden, korrigert som beskrevet i vedlegg E.1. Beregnede utflatingsnivåer for langtidsmålinger av oksygen med stillestående sonde er vist som punkter, mens kurvesegmentene viser korrigert oksygenprofil fra senking av sonden. Oksygenmålingene med sonde er ikke presisjonsmålinger. Selv med korreksjon bør en ikke stole på at verdiene har bedre nøyaktighet enn ca. 0.5-1 ml/l, men forskjell mellom ulike dyp og ulike profiler vil antagelig være noe mer nøyaktige enn absoluttverdiene.

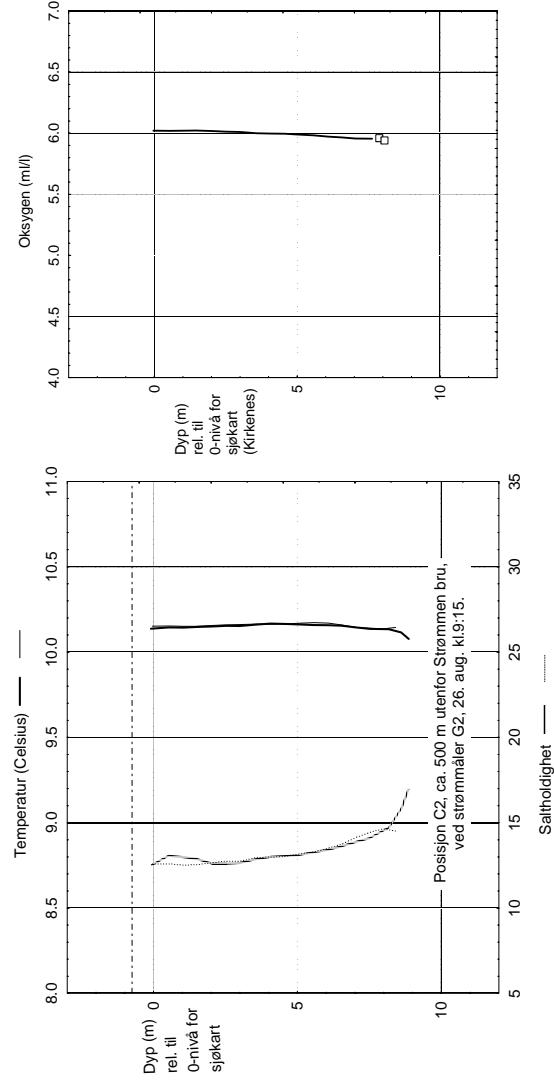
Dybdeaksene refererer til sjøkart-nullnivå for Varangerfjorden. Vannstanden ved måletidspunktet er angitt ved en stiplet horisontal linje i figurene, bestemt som angitt i Tabell 6.

Resultatene for profil C1 og C4 er vist sammen i Figur 24. Her er også tegnet inn resultatet av de to saltanalysene som ble tatt fra 5 og 25 m dyp i forhold til overflaten (2 og 22 m fra referansedyp) på stasjon H7 den 27. august. Profilene C2 og C3 er vist i Figur 25 og Figur 26 med samme akser som Figur 24.

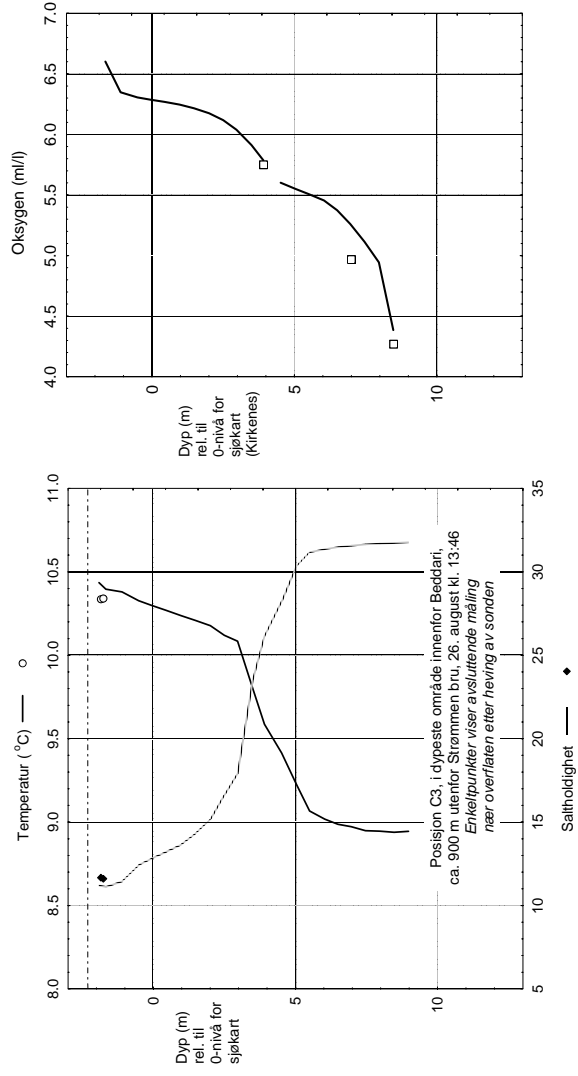
Profil C5 fra dypområdet innenfor Strømmen bru er vist i Figur 27. For sammenligning av figurene må det bemerkes at denne figuren har helt annen skala på dyp-aksen og for temperatur, saltholdighet og tetthet, fordi variasjonsområdet her er mye større enn for de andre figurene med CTD-profiler.



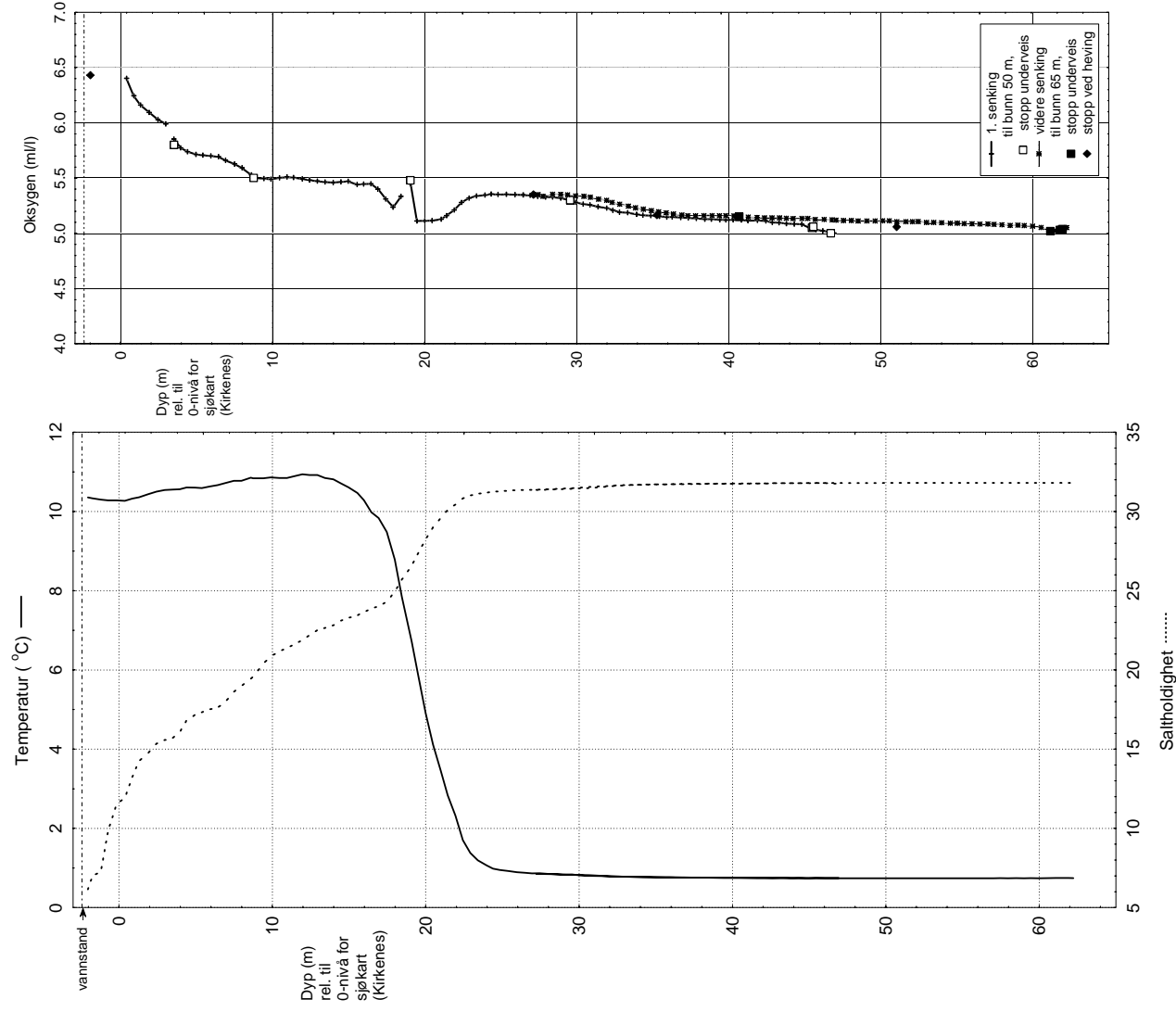
Figur 24. CTD-profiler C1 og C4 26. august UTC fra området ut for Sydvaranger ASA. Saltholdighet og temperatur til venstre, oksygeninnhold (korrigerte verdier) til høyre.



Figur 25. CTD-profil C2 26. august kl. 9:17 UTC rett innenfor kanalen gjennom slambanken, ca. 30 m nordøst for strømmåler i punkt G2 (samtidig med UCM-profil U4)



Figur 26. CTD-profil C3 26. august kl. 13:46 i det dypeste området innenfor Beddari



Figur 27. CTD-profil C5 i midtre basseng i Langfjorden, innenfor Strømme bru, 26. august kl. 17:30-18:00. NB! Aksene er annerledes enn på figurene foran.

Vedlegg D. UCM-40 sjiktnings- og strømprofiler

Etterfølgende figurer viser resultatet av UCM-målingene etter bearbeiding som beskrevet foran i vedlegg A.2. Måleposisjoner (U1-U21) er vist i Figur 7 til Figur 9, og sammenhengen med andre observasjoner er vist i tabellen i vedlegg B.2. Tabell 7 oppsummerer nøkkelinformasjon om UCM-profilene.

Tabell 7. Liste over UCM-profiler, med dyp-forhold og hovedstrømretning. Maksimaldyp i forhold til sjøkartnull ved Kirkenes finnes ved å subtrahere vannstand lest ut av vannstandskurvene.

Profil	Dato	Kl. (UTC)	Sted	Vannstand ved angitt målepunkt (m)	Maks. dyp (m)	Hoved- strøm- retning (grader)	
U1	26.aug	8:06	kanalen i slambanken ved Hamnes	1.15	Aa1	9.4	45
U2		8:24	30 m nordøst for strømmåler G1	1.04	Aa2	8.1	30
U3		8:38	Tverrsnitt ved strømmåler G1, lenger mot sør	0.92	Aa2	6.0	40
U4		9:02	Ca. 30 m nordøst for punkt G2	0.85	Aa2	8.9	70
U5		9:32	Samme tverrsnitt som U4, mot sørsiden av fjorden	0.65	Aa2	4.1	100
U6		9:47	Samme tverrsnitt, i midten	0.62	Aa2	8.4	70
U7		14:26	Rett innenfor vannstandsmåler Aa1, ca. 100 m fra land på nordsiden	2.5	Aa1	5.4	60
U8		14:37	Litt lenger ut, ca. 100 fra land på nordsiden	2.7	Aa1	13	50
U9		14:54	Lenger inn i kanalen gjennom slambanken, omtrent på grunneste parti	2.8	Aa1	4.4	65
U10		15:08	Ved strømmåler G1, 20 m sørøst for markeringsbøye	2.85	Aa2	9.7	50
U11		15:25	Ved strømmåler G2, ca. 5 m sørøst for markeringsbøye	2.9	Aa2	13	50z
U12		15:39	I tverrsnitt rett under kraftledning, mot nordlig bredd	2.94	Aa2	4.0	20
U13		15:56	I samme tverrsnitt, lenger mot sør	2.94	Aa2	4.1	20
U14		16:05	I tverrsnittet ved strømmåler G2, men ca.2/3 over mot sørlig bredd	2.93	Aa2	6.3	40
U15		16:23	Ca. 60 m nordøst for kraftledningen, i innstrømningen til snittet U12-U13, mot nordsiden av fjorden	2.91	Aa2	6.3	60
U16	27.aug	10:55	Ved utløpet av Sandneselva (H2)	2.21	STD1	5.7	60
U17		11:23	Midt i brotverrsnittet ved Sandnes	2.18	STD1	8.4	360
U18		11:45	Ca. 75 nord for kloakkutslipp ved Sandnes	2.17	STD1	12	360
U19		13:07	Ca. 300 m nord for kloakkutslipp	2.11	STD1	13	310
U20		15:26	I ytterkant av innstrøm langs land på innsiden av Storstraumen.	2.18	STD1	16	50
U21		15:38	Midt i innstrøm utenfor Storstraumen, omtrent samme posisjon som U15	2.9	Aa2	8.8	70

Figurene på venstre side viser sjiktning (temperatur, saltholdighet og tetthet som sigma). Figurene viser den temperaturen instrumentet ga, uten korrigering etter kalibrering mot CTD-sonde, som beskrevet i vedlegg E.2

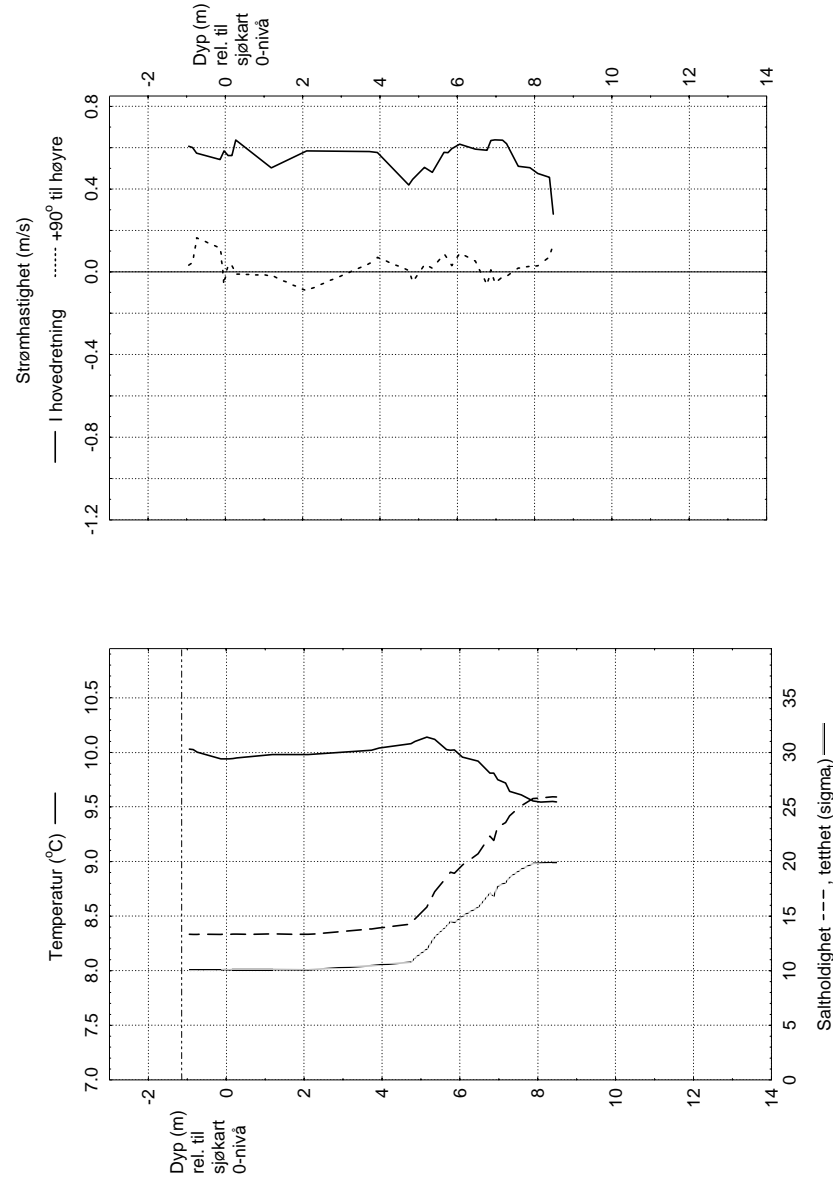
Figurer til høyre viser strømhastigheten dekomponert i en hovedretning for den aktuelle profilen (angitt i tabellen og i teksten under hver figur) og i en retning 90° til høyre for hovedretningen.

Hovedretningen er valgt ut fra vektet fordeling av strømhastighet, med et visst hensyn til naturlig lengderetning i de forskjellige fjordavsnittene.

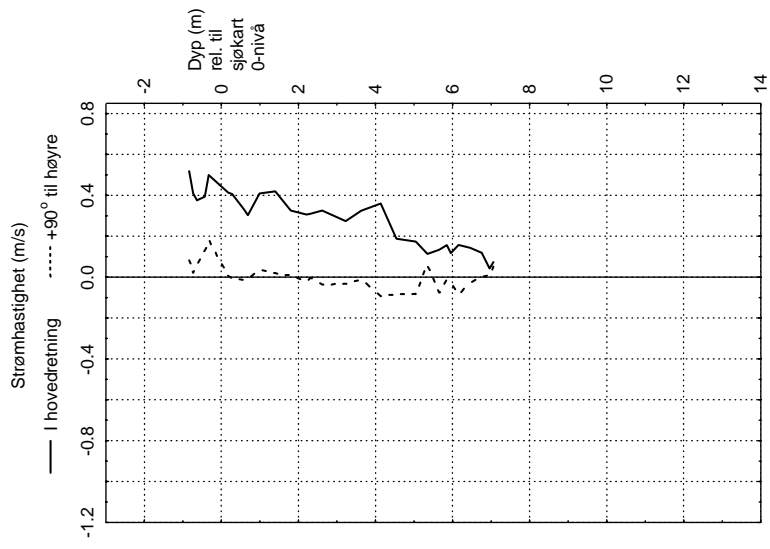
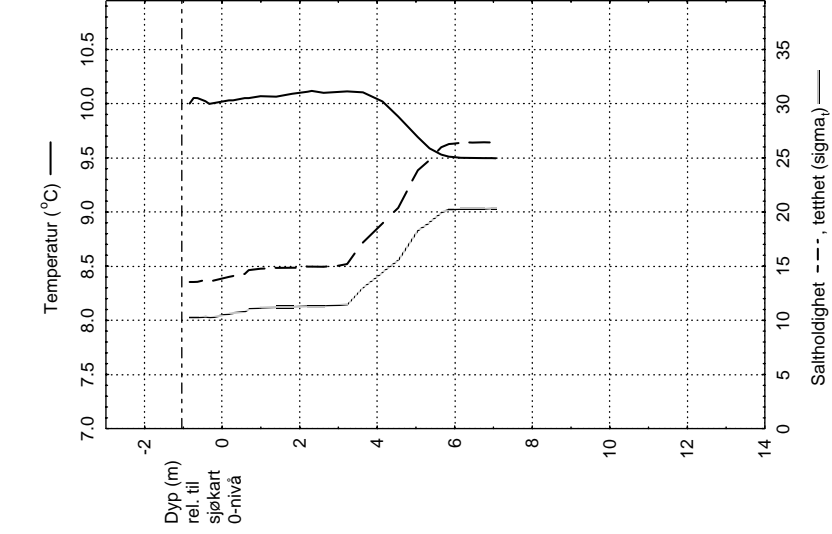
Hovedretningen er alltid valgt utover i fjorden, også for de profiler hvor dominerende strømrretning går innover. For disse profilene vil da strømhastigheten være negativ i hovedretning.

Variasjon i strømrretning er vist ved hjelp av strømkomponenten 90° til høyre for hovedretningen. På dyp hvor de to komponentene har samme fortegn vil strømrretningen være dreid mot høyre i forhold til hovedkomponenten, enten den har positivt eller negativt fortegn. Hvis de to komponentene har motsatt fortegn, vil strømmen være dreid mot venstre i forhold til hovedkomponenten.

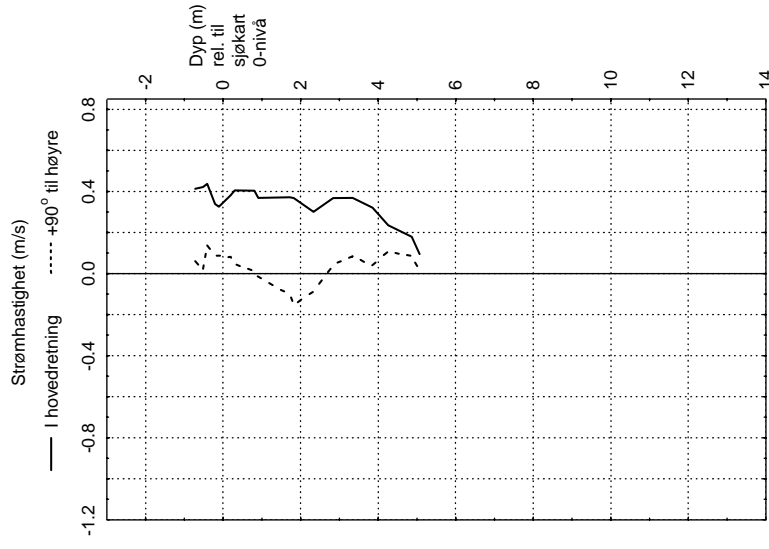
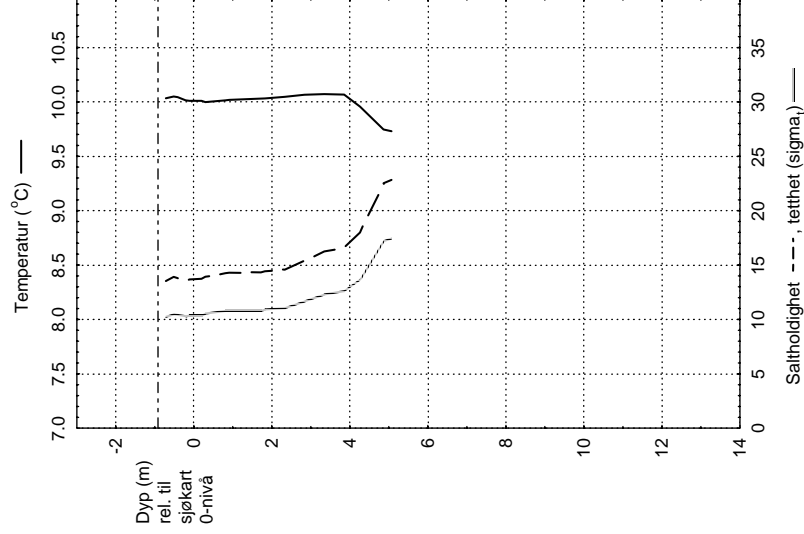
Strømprofilene er resultat av bearbeiding som beskrevet i vedlegg A.2. Hvert punkt i profilene representerer middelværdier av målinger som varierer ganske mye over kort tid og profilene må tolkes ut fra at målefeilen kan være fra ca. 3 cm/s opp til 10 cm/s for enkelte punkter.



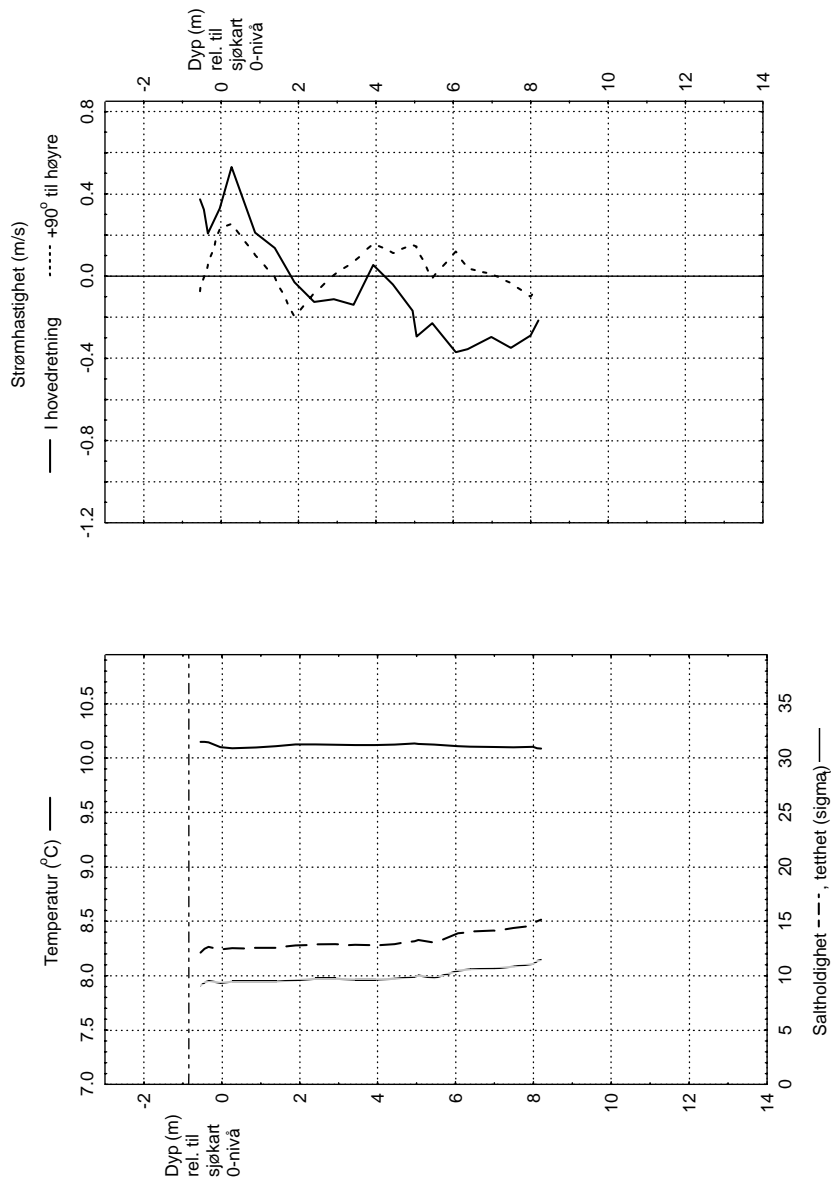
Profil U1. I kanalen ved Hamnes. 26. aug. kl. 8:06. Hovedretning 45°



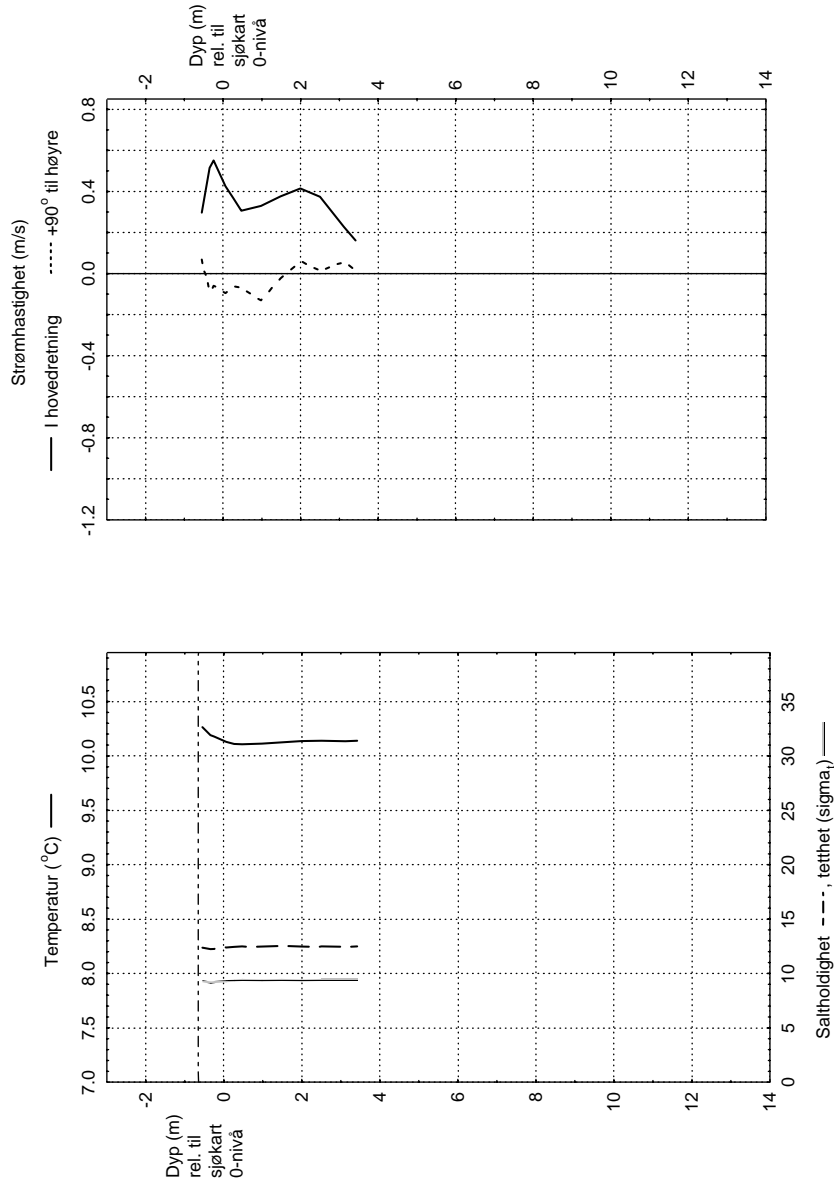
Profil U2. 30 m nordøst for G1 26. aug. kl. 8:24 UTC ved utstrøm. Hovedretning 30 °



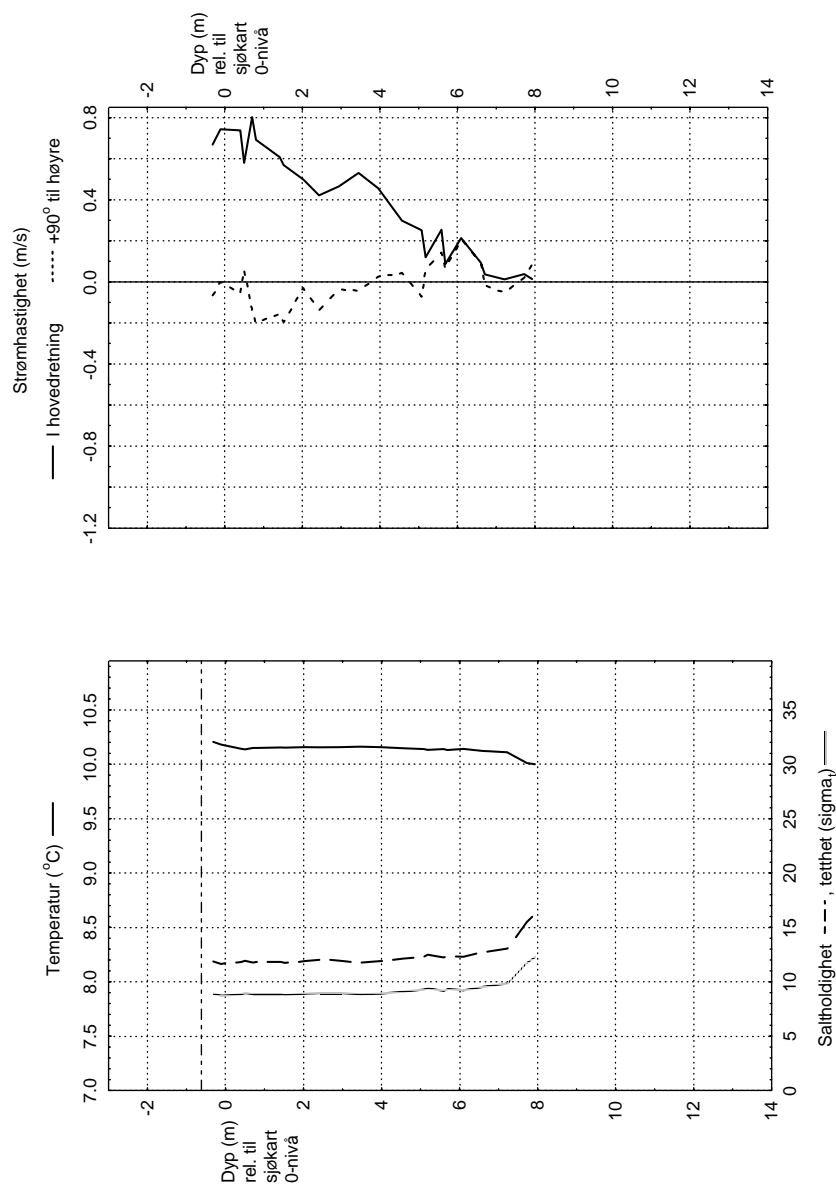
Profil U3. Tverrsnitt ved strømmåler G1, lenger mot sør. 26. aug. kl. 8:38. Hovedretning 40 °



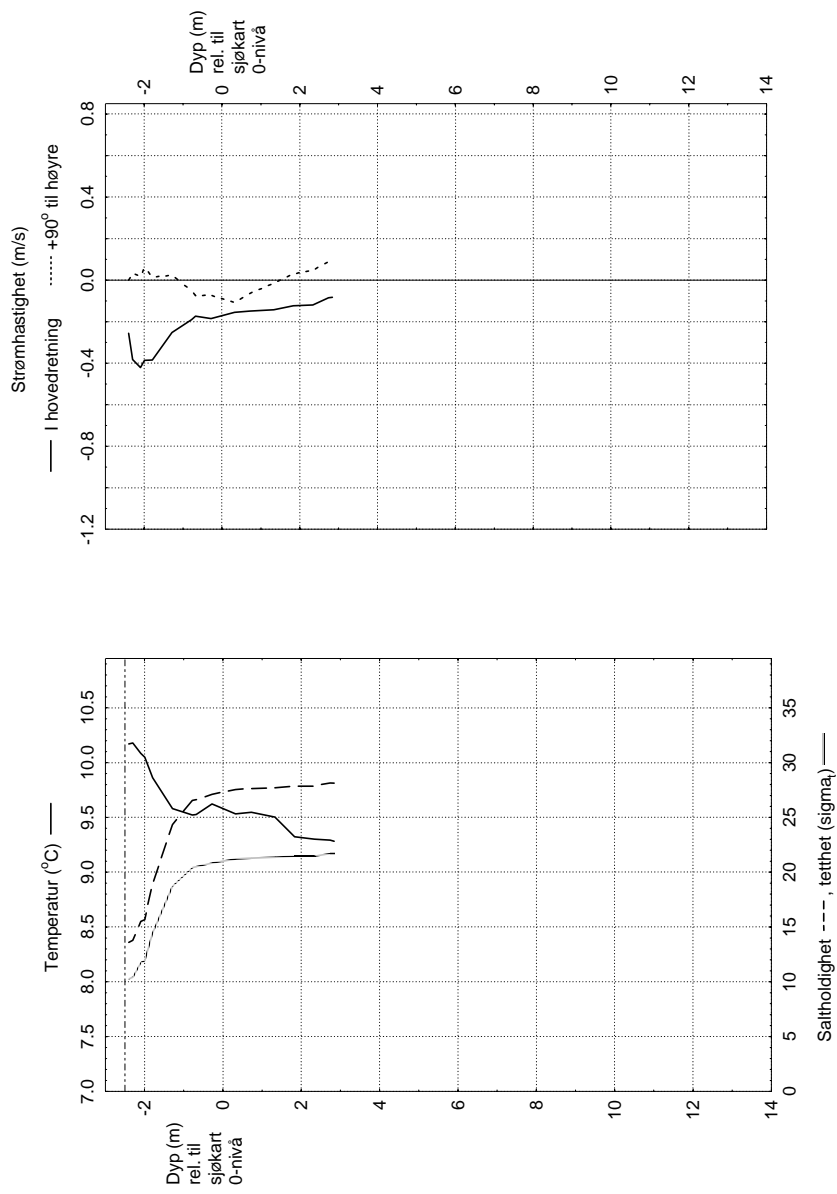
Profil U4. Ca. 30 m nordøst for punkt G2. 26. aug. kl. 9:02. Hovedretning 70 °



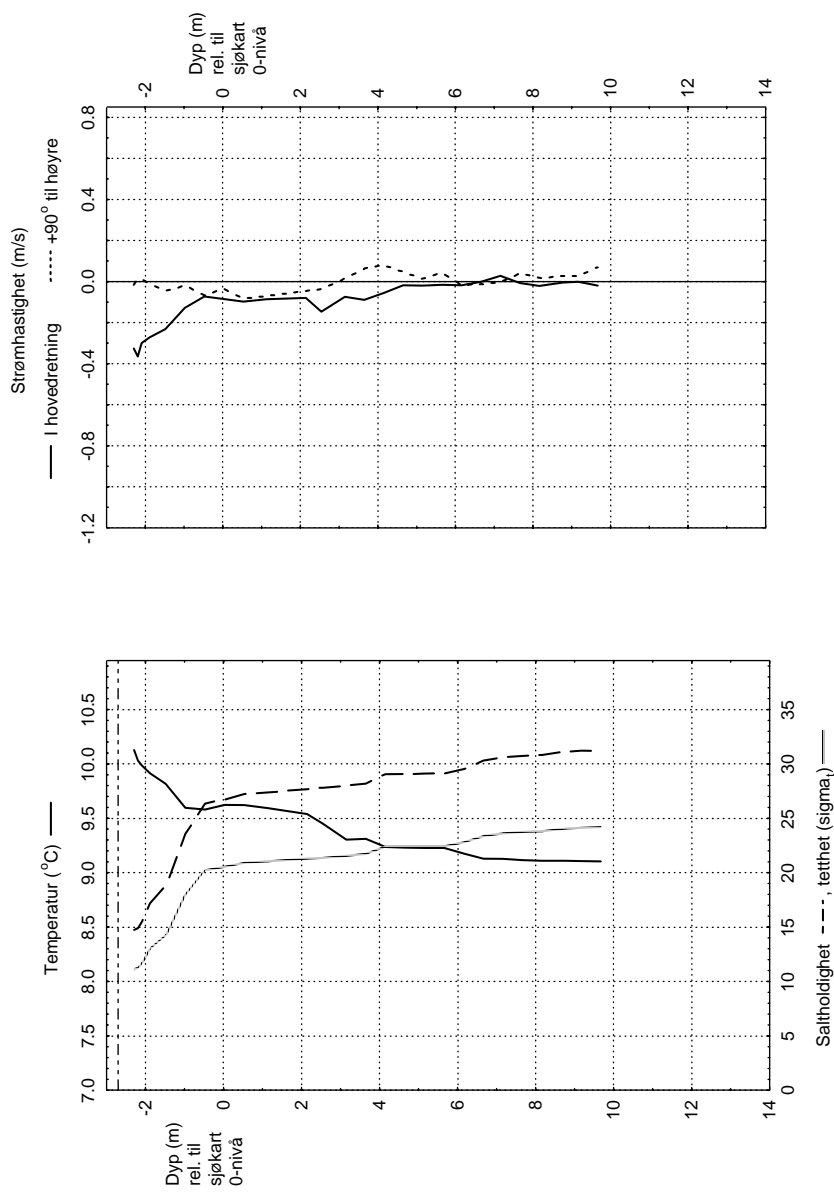
Profil U5. Tverrsnitt ved G2, mot sørsiden av fjorden. 26. aug. kl. 9:32. Hovedretning 100 °



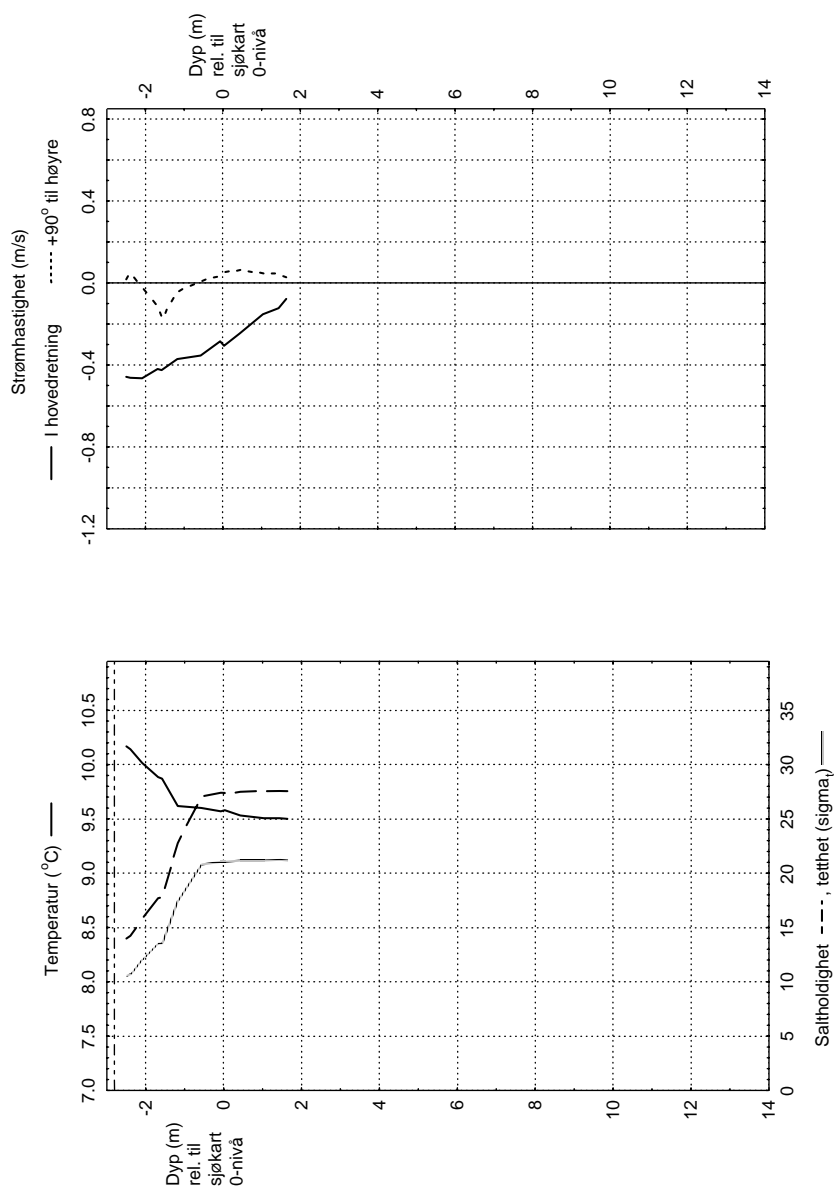
Profil U6. Tverrsnitt ved G2, midt i fjordtverrsnittet. 26. aug. kl. 9:47. Hovedretning 70 °



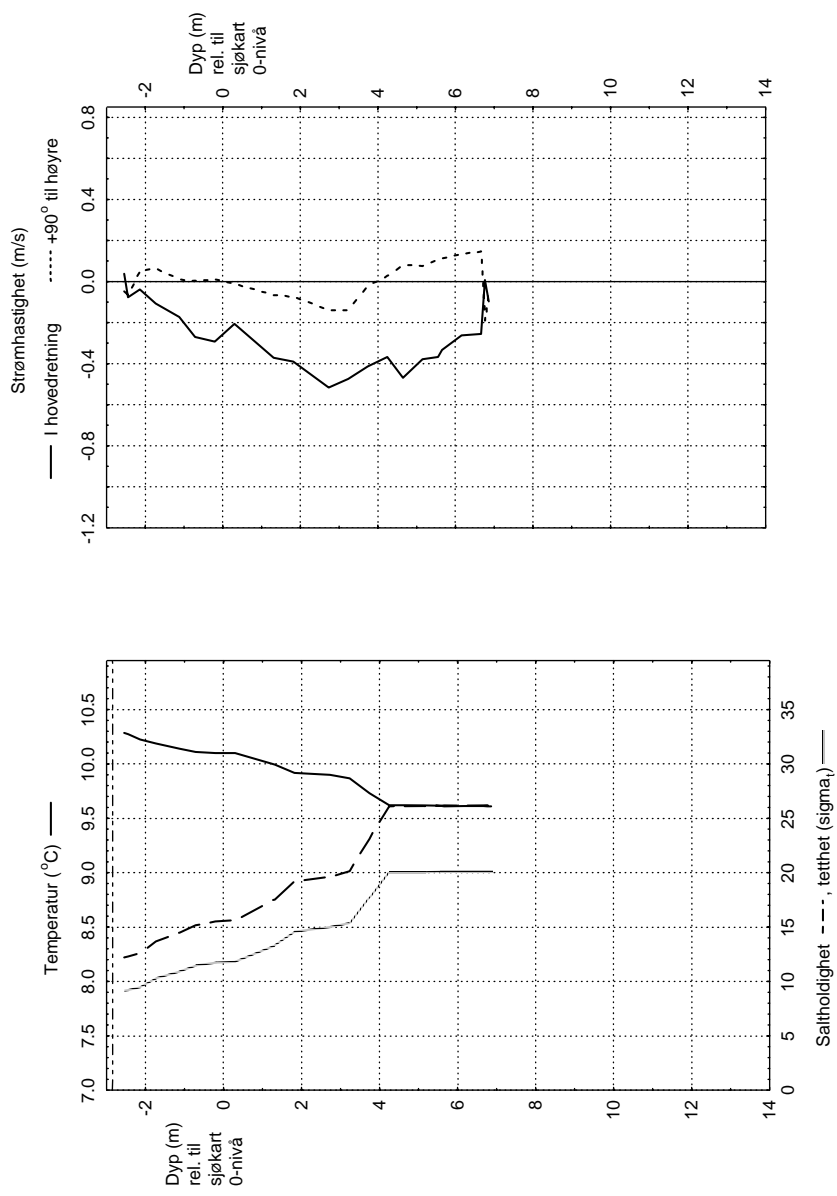
Profil U7. Rett innenfor vannstandsmåler Aa1, ca. 100 m fra land på nordsiden. 26. aug. kl.14:26. Hovedretning 60 °



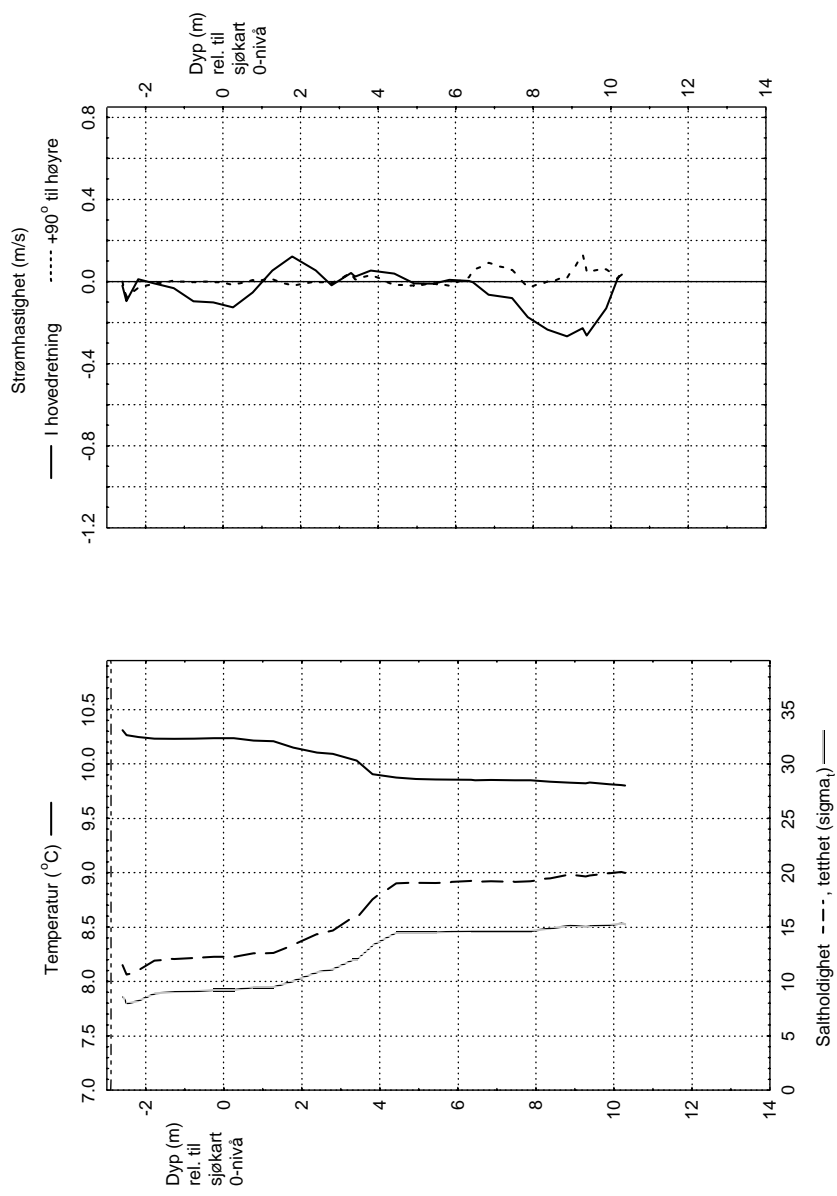
Profil U8. Rett utenfor vannstandsmål Aa1, ca. 100 m fra land på nordsiden. 26. aug. kl.14:37. Hovedretning 50 °



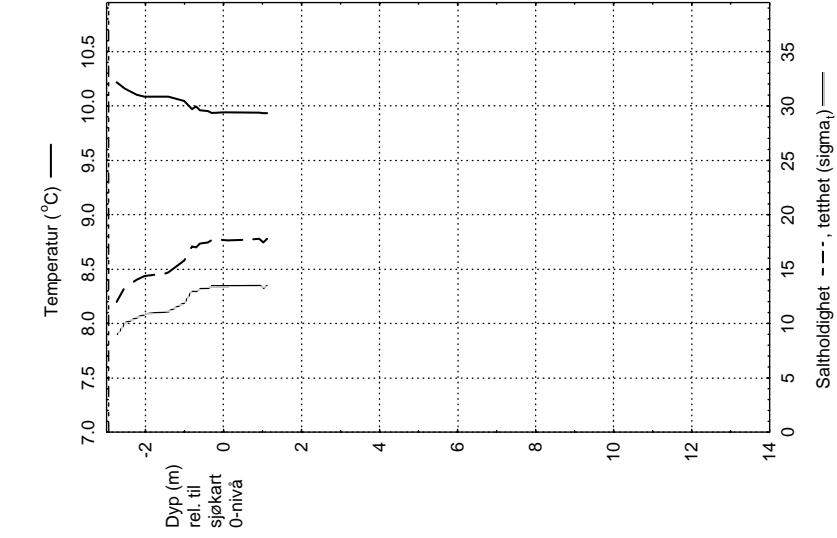
Profil U9. I kanalen gjennom slambanken, omtrent på grunneste parti. 26. aug. kl.14:54. Hovedretning 65 °



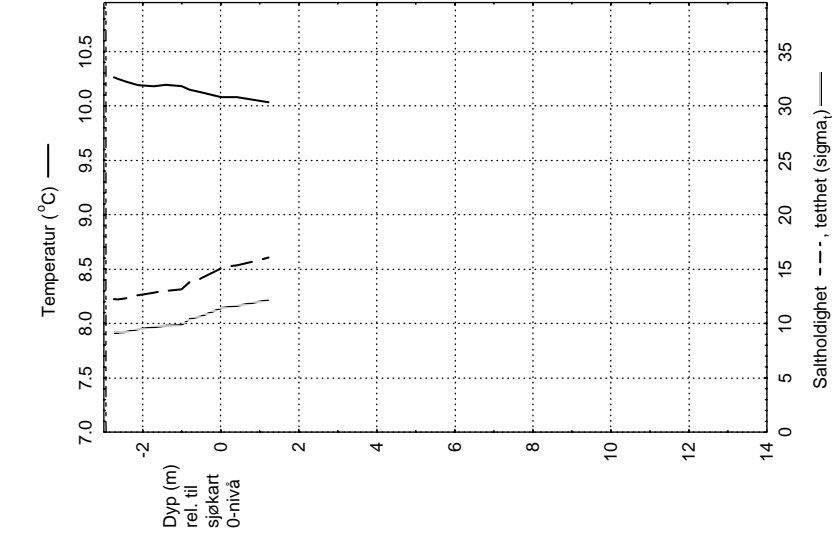
Profil U10. Ved strømmåler G1, 20 m sørøst for markeringsbøye. 26. aug. kl.15:08. Hovedretning 50 °



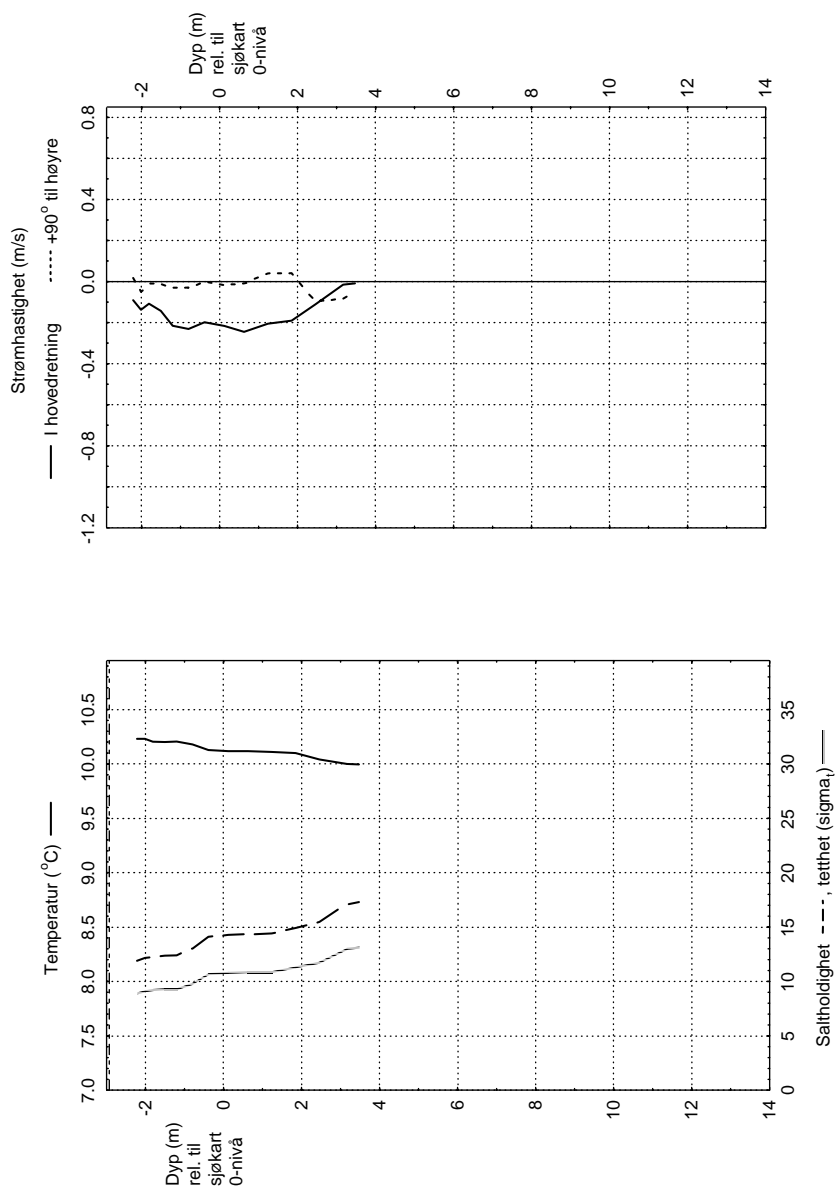
Profil U11. Ved strømmåler G2, ca. 5 m sørøst for markeringsbøye. 26. aug. kl.15:25. Hovedretning 50 °



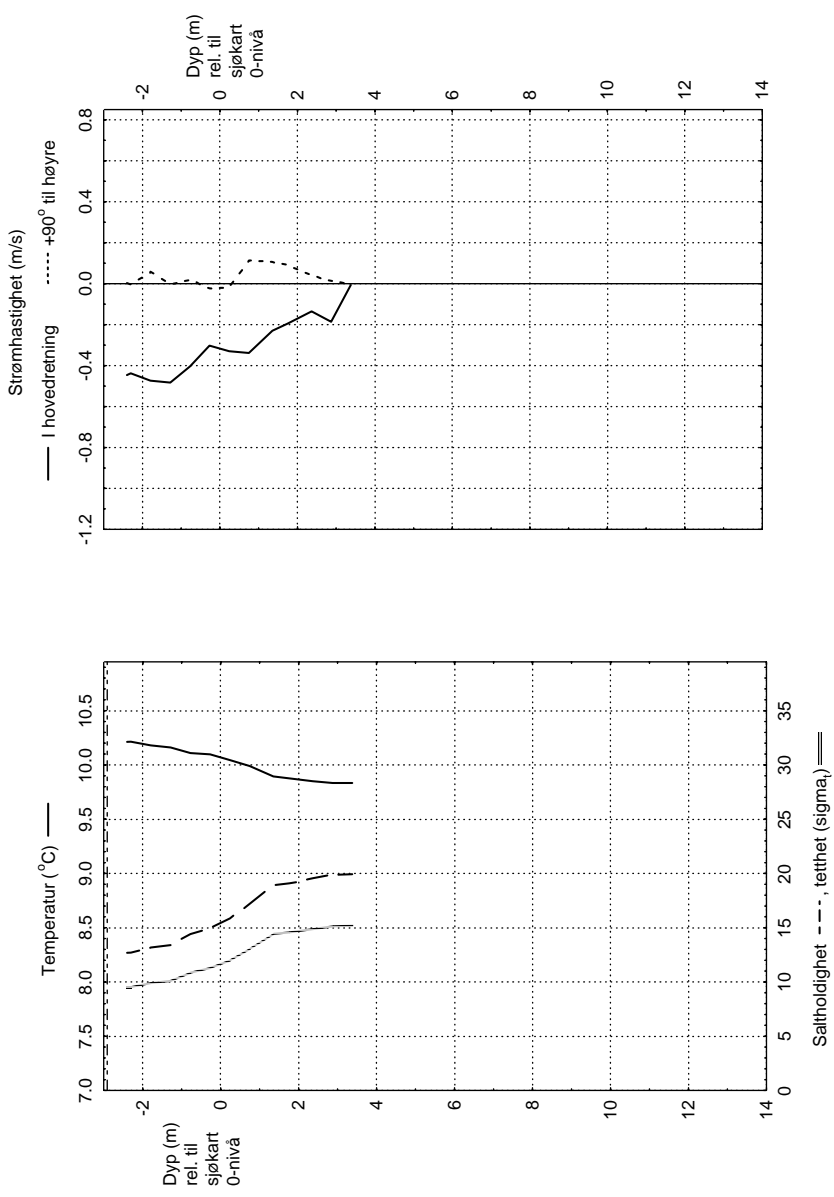
Profil U12. Tverrsnitt under kraftledn. over Storstraumen, mot nordlig bredd. 26. aug. kl.15:39. Hovedretning 20 °



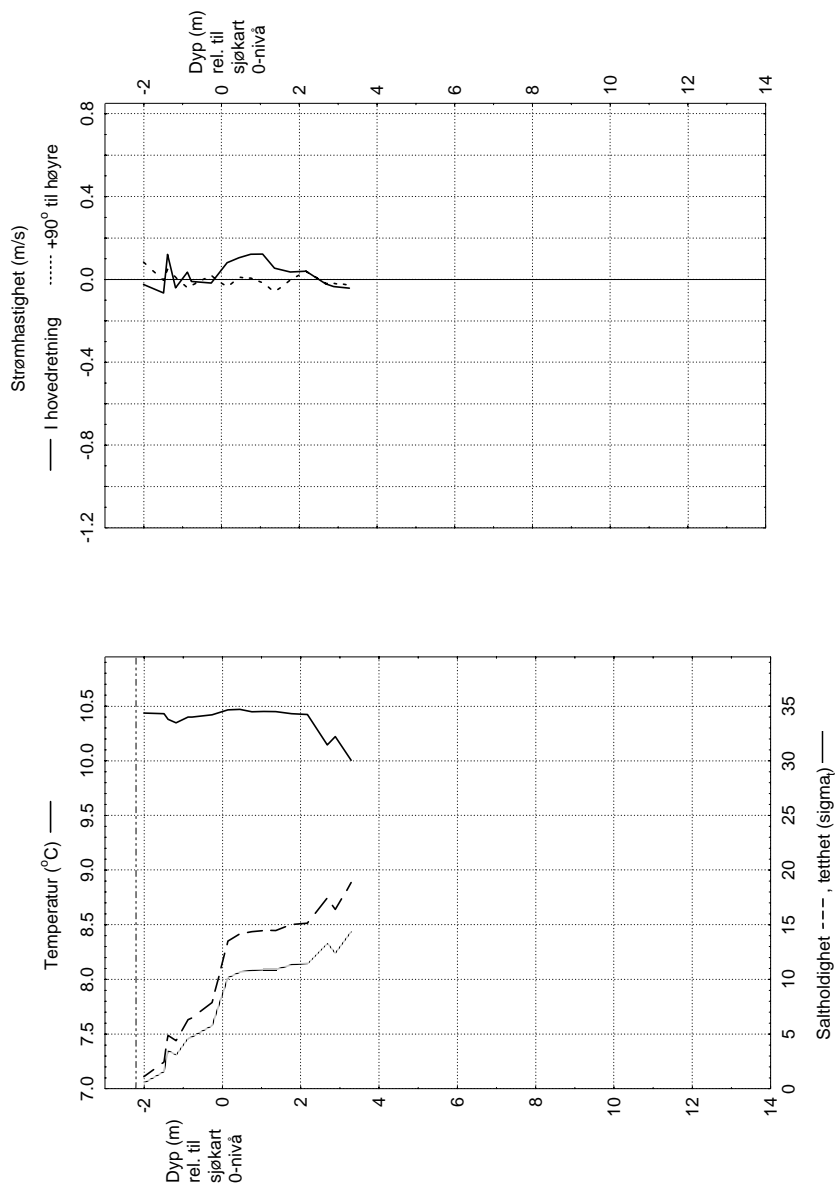
Profil U13. Tverrsnitt under kraftledn. over Storstraumen, mot sørlig bredd. 26. aug. kl.15:56. Hovedretning 20 °



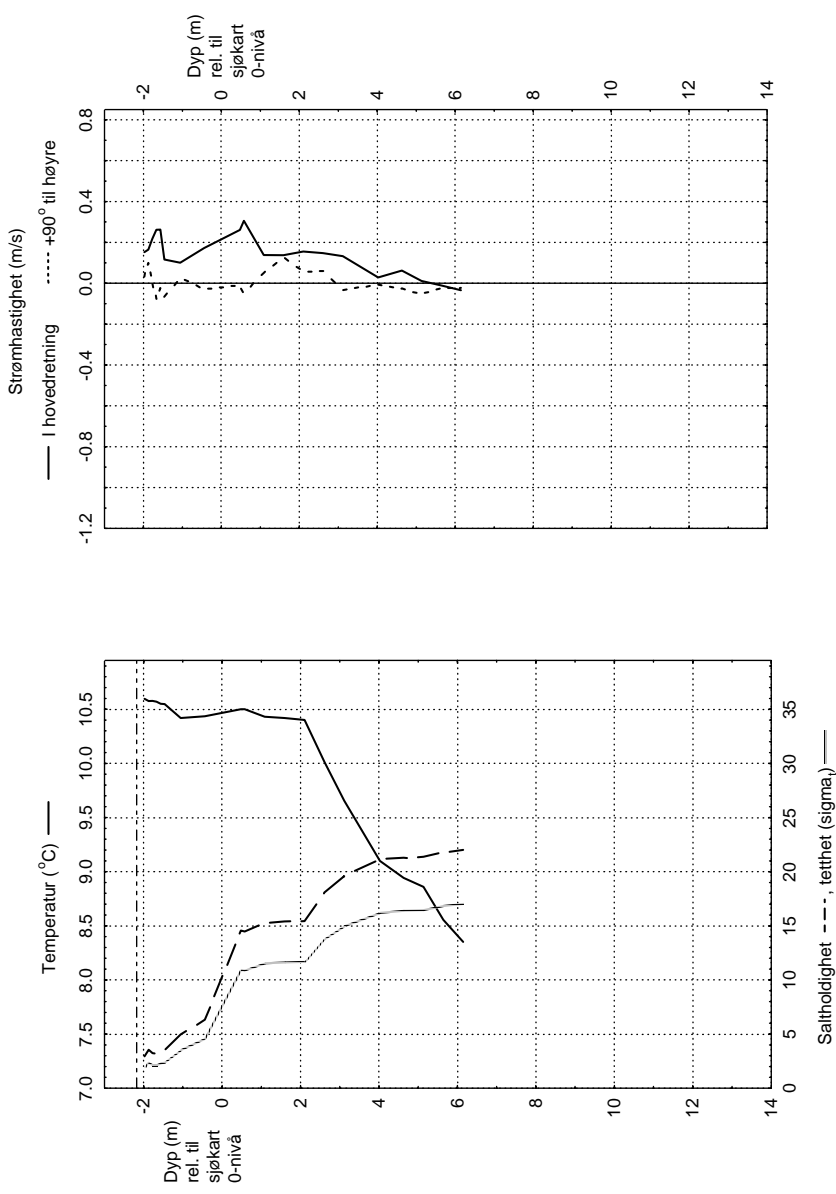
Profil U14. I tverrsnittet ved strømmåler G2, ca.2/3 over mot sørlig bredd 26. aug. kl.16:05. Hovedretning 40 °



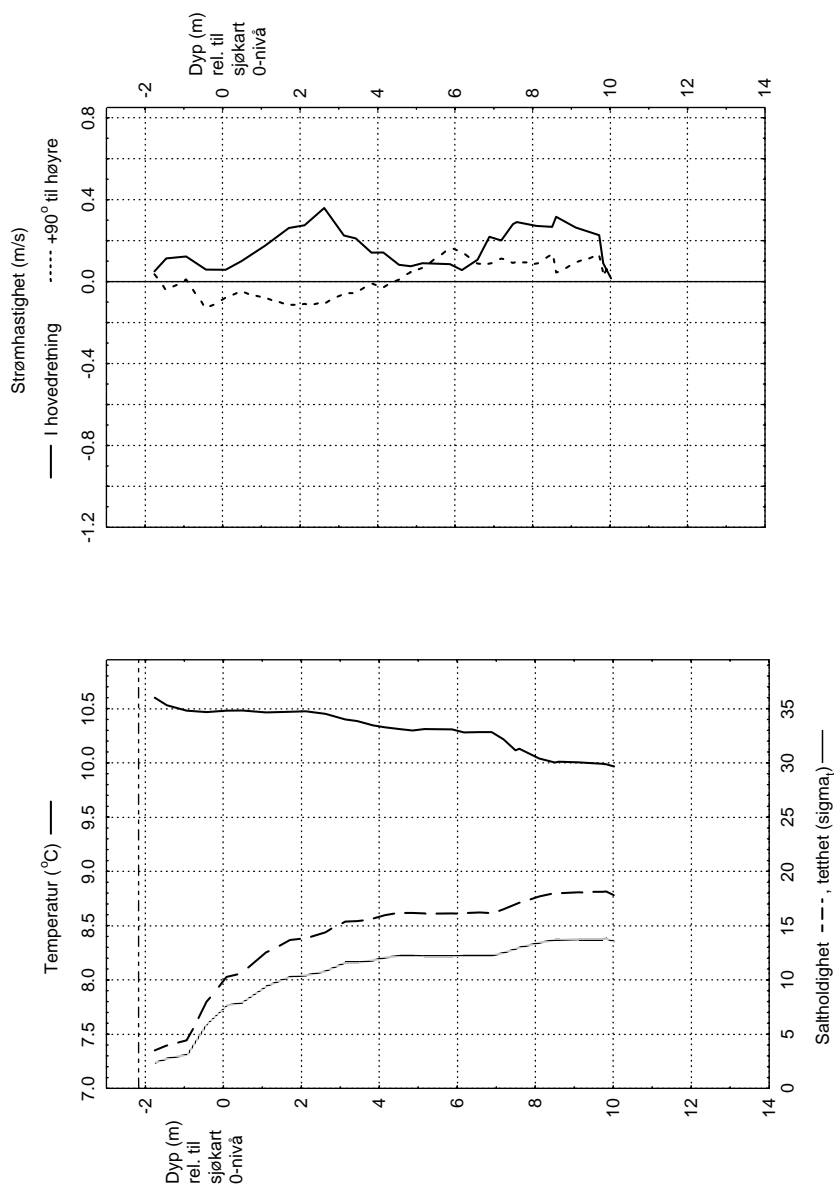
Profil U15. 60 m nordøst for kraftledn. ved Storstraumen, litt nord i tverrsnittet. 26. aug. kl.16:23. Hovedretning 60 °



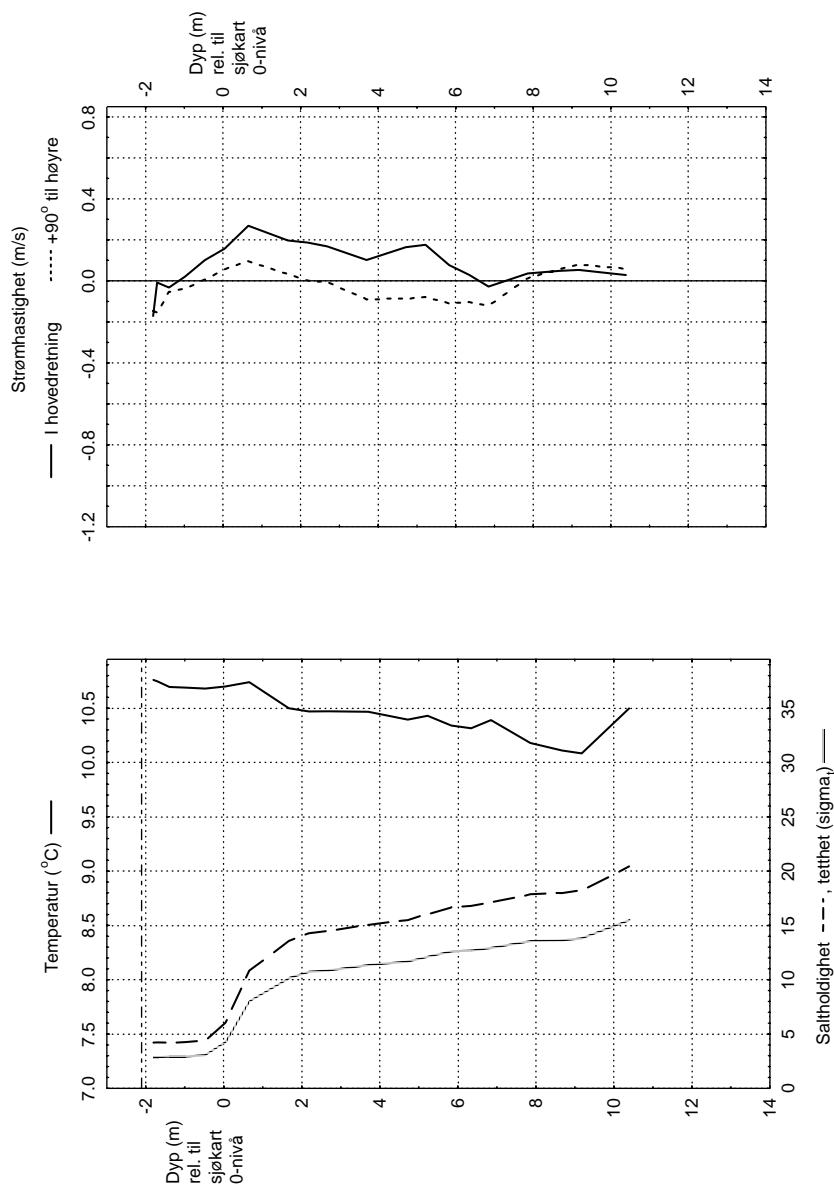
Profil U16. Ved utløpet av Sandneselva (H2) 27. aug. kl.10:55. Hovedretning 60 °



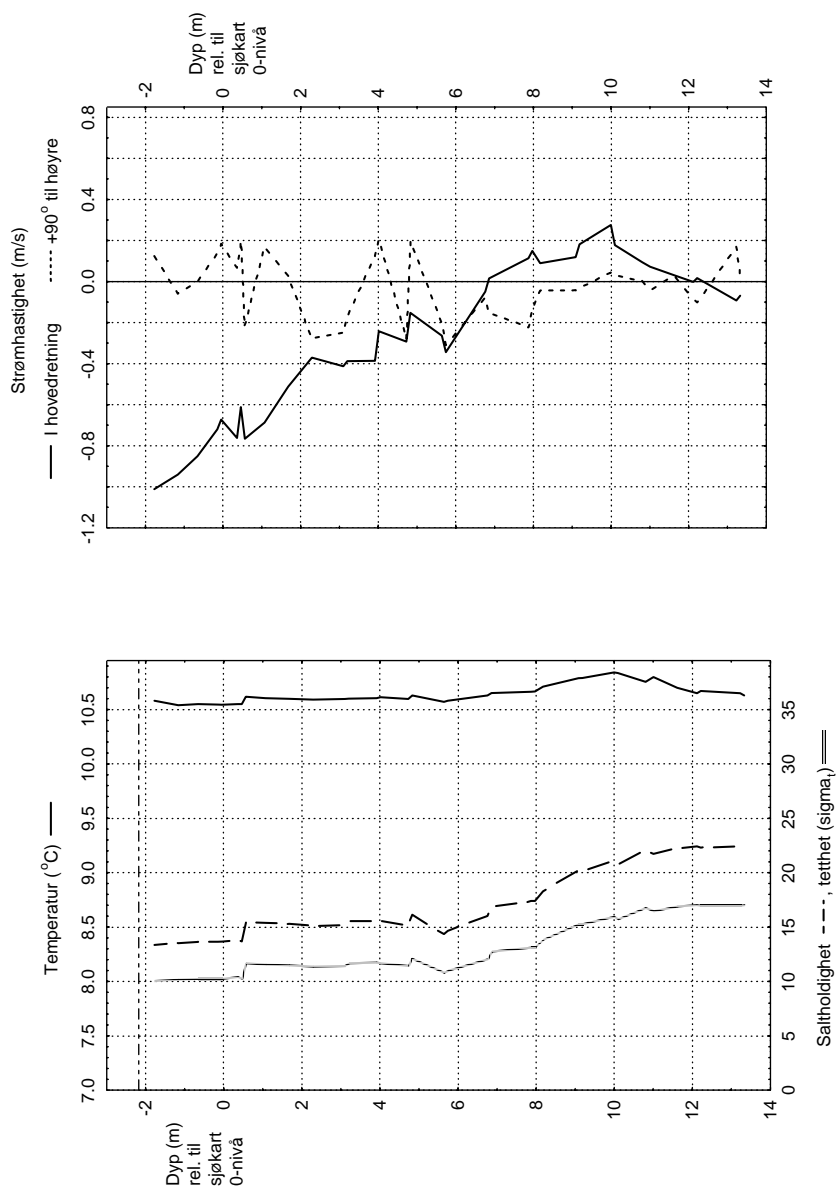
Profil U17. Midt i brotversnittet ved Sandnes. 27. aug. kl.11:23. Hovedretning 360 °



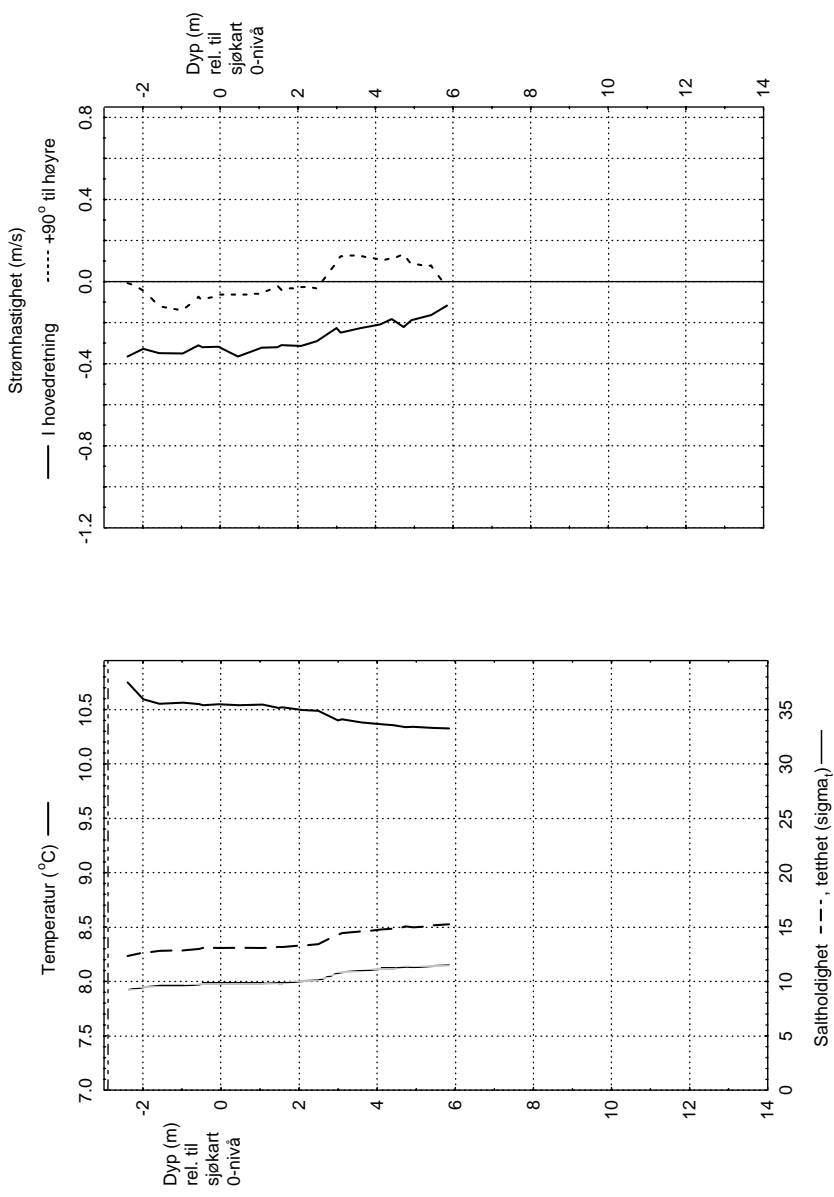
Profil U18. Ca. 75 m nord for kloakkutslipp ved Sandnes (H3) 27. aug. kl.11:45. Hovedretning 360 °



Profil U19. Ca. 300 m nord for kloakkutslipp (H4) 27. aug. kl.13:07. Hovedretning 310 °



Profil U20. Ytterkant av innstrøm langs land innenfor Strømme bru. 27. aug. kl.15:26. Hovedretning 50 °



Profil U21. Midt i innstrøm utenfor Storstraumen, omtrent som U15 27. aug. kl.15:38. Hovedretning 70 °

Vedlegg E. Kommentarer til resultatene

E.1. Nøyaktighet i oksygensonden på Seacat CTD - korreksjon av verdier

Oksygenkonsentrasjon ble målt med YSI oksygensonde på Seacat-instrumentet i profilene C1, C2, C3, C4 og C5. Slike målinger er lite presise, og må bare ses som orienterende. Det ble i tillegg tatt to vannprøver (Winkler) for presisjonsanalyse. Den første ble tatt fra 60 m dyp i posisjon C5 den 26. august i sammenheng med at Seacat CTD ble kjørt der, den andre fra 55 m dyp på hydrokjemistasjon H1 den 27. august. CTD ble også kjørt på denne stasjonen, men data ble da dessverre ikke registrert (se ovenfor).

Sammenligningsgrunnlag for å sjekke sonden mot analyser er derfor spinkelt. Den eneste kontrollen er vannprøven fra 60 m ved C5, som ga en oksygenkonsentrasjon på 5.02 ml/l, mens sonden ga resultat ca. 3.4 ml/l. Sondene ser altså ut til å vise ca. 1.6 ml/l for lavt. En slik forskjell virker rimelig om en ser på målinger med sonden nær overflaten, hvor en bør vente at det er nokså nær oksygenmetning. Dette er vist i Tabell 8.

Tabell 8. Oksygenkonsentrasjon og oksygen-metning målt med Seacat CTD med YSI-sonde fra overflatelaget i Langfjorden 26. august 1999, med og uten korreksjon for avvik fra presisjonsanalyse.

Profil	Dyp (m)	Oksygenkonsentrasjon				
		Beregnet metnings-konsentrasjon (ml/l)	Sonde ukorrigert		Sonde korrigeret (+1.6 ml/l)	
			ml/l	% metning	ml/l	% metning
C1	0.7	6.96	4.85	70 %	6.45	93 %
C2	0.7	7.27	4.42	61 %	6.02	83 %
C3 [§]	0.7	7.29	4.50	62 %	6.10	84 %
C4	2.8	6.68	4.00	60 %	5.60	84 %
C5	0.4	7.50	4.83	64 %	6.43	86 %

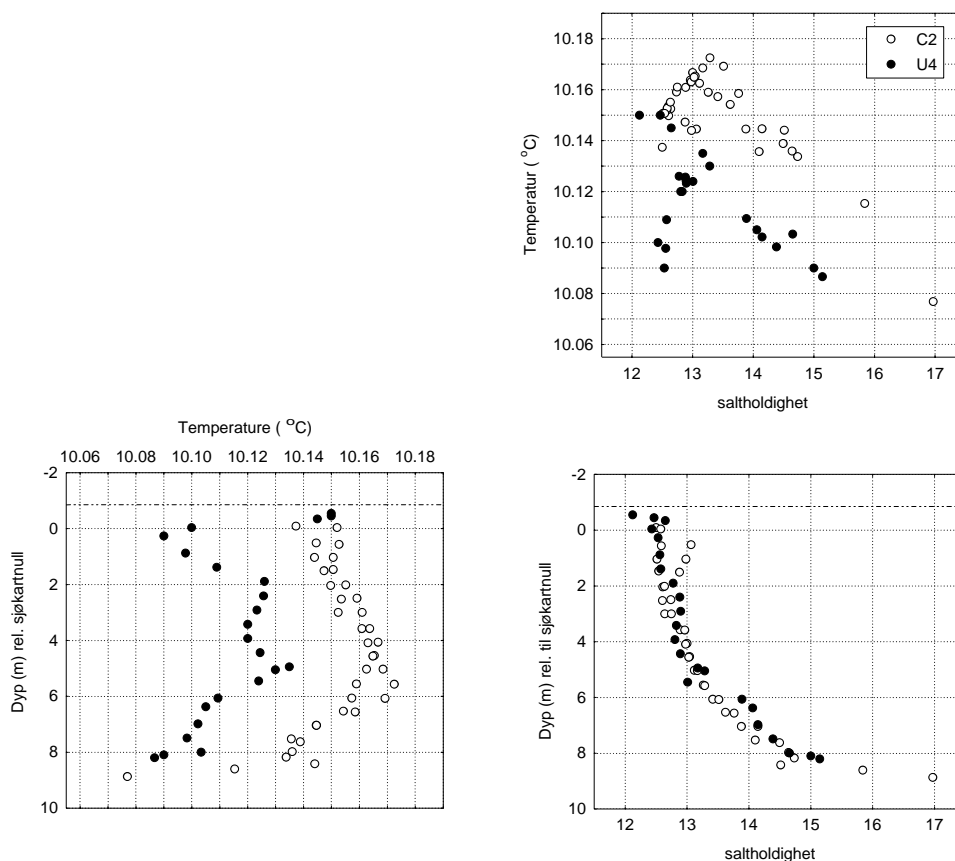
[§]: Usikker verdi - ingen langvarig måling med stillestående sonde.

Sondeverdien fra C3 er usikker. De ukorrigerede verdiene gir metningsgrad 60-70 %, og det virker urimelig lavt, spesielt siden dette var dagen etter en episode med sterk vind i området. Når sonde-verdiene korrigeres med +1.6 ml/l, fås metningsgrad fra 83 til 93 %, og det virker mye rimeligere. Det antas derfor at sondeverdiene er systematisk 1.6 ml/l for lave. Det er derfor valgt å korrigere oksygenverdiene fra sondene i grafiske fremstillinger i denne rapporten.

Det er de korrigerede resultatene fra oksygensonden for profilene C1 til C5 som er vist i Vedlegg C.

E.2. Kalibrering av UCM-40 mot Seacat CTD - korreksjon av temperaturverdier

Profilen U4 like ved strømmåleren ved G2 ble tatt sammen med CTD-profil C2 for kalibrering. Resultatene er vist i Figur 28 som inneholder tre plott, med de samme data vist i parvise sammenhenger mellom temperatur, saltholdighet og dyp. C2-punktene stammer fra to repeterte senkninger av instrumentet, og variasjonen er antagelig i hovedsak uttrykk for reell variasjon over kort tid, fordi sjiktningen varierer litt fra sted til sted i vannmassen som strømmer forbi. For saltholdigheten er det ingen vesentlig forskjell mellom de to instrumentene i forhold til variasjonen mellom de to CTD-profilene. Temperaturangivelsen i UCM for disse profilene ligger systematisk 0.04 °C under temperaturen fra Seacat CTD-sonde. Det siste instrumentet kan betraktes som mest pålitelig, og det er derfor valgt å korrigere temperaturene fra UCM-40 med +0.04 °C for sammenligning med CTD-data. Profilene i Vedlegg D viser ukorrigerede temperaturer, mens figurene i kapittel 6.4.2 hvor data sammenholdes, viser korrigerede verdier. Temperatursonden i UCM-40 er oppgitt å ha nøyaktighet 0.2 °C av fabrikanten, og selv for de korrigerede data må det regnes med avvik på omkring 0.2 °C.



Figur 28. Sammenligning av CTD-profil C2 og UCM-profil U4

E.3. Forkastede måleresultater fra STD-sonde ved posisjon STD2

Som nevnt i kap. 5.1.1 ble det satt ut en STD-sonde i det sørligste bassenget (målepunkt STD2) som ikke ga brukbare resultater. Antall registrerte målinger på denne sonden tilsvarer en måleperiode på bare 17 timer, selv om lagringskapasiteten er større. Trykket varierte mye mer og delvis motsatt rettet av variasjonen i Straumbukta over tidsskala timer, og uten noen sammenheng med tidevannsperiodene. Dersom data var riktige, måtte vannstandsendringen forbi Litlestraumen store deler av tiden være minst 0.5 m, dvs. av samme størrelsesorden som i Storstraumen. Svingningene måtte da eventuelt skyldes langsgående bølger i Langfjorden, f.eks. knyttet til variasjon i vind, eller ganske massive forstyrrelser fra ferskvannstilførsel. Ferskvannstilførselen har neppe vært så stor at det kan gi slike forskjeller. Det var rett nok sterk vind fra nord rett før måleperioden startet (rundt 50 knop ved ankomst Kirkenes), og mye svakere vind senere. Med det større strømtverrsnittet i Litlestraumen måtte variasjonene sør for Sandnes ha forplantet seg til det midtre basseng og inn mot Straumbukta til den andre måleren. Ved Straumbukta er det imidlertid ingen tegn til uregelmessige variasjoner. Forklaringen kan være at bunnloddet som måleren var festet til i starten har seget langsamt ned mot større dyp. Det er også mulig måleren har stått plassert slik at den har vært utsatt for støt, f.eks. nær en større stein på bunnen. Det har vært observert at dette kan starte og stoppe instrumentet.

Ut fra at strømtverrsnittet ved Sandnes er mye større enn ved Strømmen bru vil en vente at hele Langfjorden innenfor Storstraumen burde følge omtrent samme vannstandskurve, når en ser bort fra eventuelle vindpåvirkninger. Hvis vi antar at vannstandsvariasjonen ved STD1 gjelder hele fjorden innenfor, stemmer det godt med målte strømprofiler ved Storstraumen. Dette er nærmere analysert andre steder i rapporten. Det er derfor valgt å se bort fra målingene ved STD2. En noe mer omfattende måling av vannstand og sjiktning inne i fjorden ved eventuelt senere feltarbeid, f.eks. på et par punkter lenger sør i Langfjorden, ville kunne avklare dette.

Vedlegg F. Avkjøling av dypvann ved innstrømming over grunnområder om vinteren - et regneeksempel.

Undersøkelsen til Akvaplan-NIVA viste at bunnvannet i Langfjorden høsten 1995 var svært kaldt (0.5 °C) og tydeligvis ikke utskiftet på flere måneder. Også i 1999 ble det målt temperatur under 1 °C i det nordligste dypbassenget. Disse temperaturene er så lave at det vil ha hindret iallfall torsk fra å oppholde seg i dypvannet i Langfjorden (Jon-Arthur Berge, pers. medd.). Det er også i underkant av hva som er målt i kystvannet. I følge statistikk fra NHL (1981) er så å si alle temperaturer målt ved Vardø over 1 °C, selv om vinteren. Saltholdighetene viser at det ikke er overflatevann, men heller ikke hentet fra særlig stort dyp utenfor. Den grunne terskelen ved Strømmen bru, i sammenheng med vedvarende relativt høy vannføring i Pasvikelva, kan være tilstrekkelig som forklaring på dette. Temperaturen er imidlertid så lav at det er naturlig å spørre seg om bankene med gruveavgangen kan ha hatt betydning. Under episoder med dypvannsfornyelser vil bankene medføre at innstrømmingen må gå i et tynt lag nær overflaten, og det kan under gitte forhold medføre større avkjøling enn en ville hatt dersom vannet stort sett strømmet inn på større dyp, og bare ble trukket opp mot overflaten rundt terskelen.

For å belyse det er det gjort en enkel overslagsberegning, ved å se på mulig avkjøling mot atmosfæren ved strøm over bankene i lengde 1500 m og bredde 300 m under isfrie forhold. Islegging vil virke isolerende og minske varmetapet ved nydannelse av is, så varmetap mot atmosfæren antas å gi en øvre grense. Netto energiutstråling til klar, tørr himmel er gitt ved

$$Q_{rad} = \sigma(\varepsilon(T_w + 273.15)^4 - f(T_a + 273.15)^4) \quad [\text{W/m}^2]$$

hvor

$$\sigma = \text{Boltzmanns konstant } 5.67 \cdot 10^{-8} \quad [\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}]$$

$$\varepsilon = \text{emissivitet for vann } = 0.97$$

$$f = \text{emissivitet for luft } \geq 0.6$$

I tillegg kommer et vindavhengig varmetap ved varmeledning, som kan beskrives med ligningen

$$Q_{adv} = \rho_a c_a C_h U (T_w - T_a)$$

hvor

$$\rho_a = \text{luftens tetthet} = 1300 \text{ g m}^{-3}$$

$$c_a = \text{varmekapasitet for luft} = 1 \text{ J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{adv} = \text{dimensjonsløs varmeledningskoeffisient} = 10^{-3}$$

og et varmetap knyttet til fordampning som for $T_w > T_a$ (ustabilt grensesjikt) kan beskrives:

$$Q_e = F_e \cdot L_t \quad [\text{W m}^{-2}]$$

hvor

$$L_t = \text{spesifikk fordampningsvarme} = 2494 - 2.2(T_w - 273.15) \quad [\text{J/g}]$$

$$F_e = C_e \cdot (q_s - q_a) U = \text{fordampning (- kondensasjon)} \quad [\text{g/m}^2/\text{s}]$$

$$q_w = \text{absolutt mettet fuktighet for luft ved vannets overflatetemperatur } T_w \quad [\text{g/m}^3]$$

$$q_a = \text{absolutt fuktighet ved lufttemperatur } T_a \quad [\text{g/m}^3]$$

$$C_e = \text{dimensjonsløs fordampningskoeffisient} = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ for vindstyrker } > 10 \text{ m/s}$$

I regneeksemplet brukes vanntemperatur $T_w = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ og lufttemperatur $T_a = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$, som gir $q_w = 4.847$ og $q_a = 1.074 \text{ [g m}^{-3}]$. Med en vindhastighet $U = 20 \text{ m/s}$ blir varmetransportene

Resultatet blir med de gitte antagelsene

$$\begin{aligned}Q_{rad} &= 165 \text{ W m}^{-2} \\Q_{adv} &= 520 \text{ W m}^{-2} \\Q_e &= 245 \text{ W m}^{-2}\end{aligned}$$

altså et totalt mulig varmetap på 930 W m^{-2} . Hvis det skjer over en flate på 1500-300 meter, dvs. over et areal omtrent tilsvarende de ytre avgangsbankene sør for den dypere kanalen, og fordeles på en innstrømning på $200 \text{ m}^3/\text{s}$, vil det med varmekapasitet $4185 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ og tetthet ca. 10^3 kg m^{-3} gi en temperaturendring på ca. $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$. I situasjoner hvor dypvannet i Langfjorden skiftes ut ved innstrømning fra Bøkfjorden, vil altså avgangsbankene kunne medføre at innstrømmende dypvann blir opp til 0.5 grader kaldere enn det ellers ville vært, fordi det tvinges opp mot overflaten. Dette er beregnet under forutsetning av vindstyrke 20 m/s , isfri overflate og 20 graders temperaturforskjell mellom vann og luft og er altså bare ment som et dimensjonerende regneeksempel.