

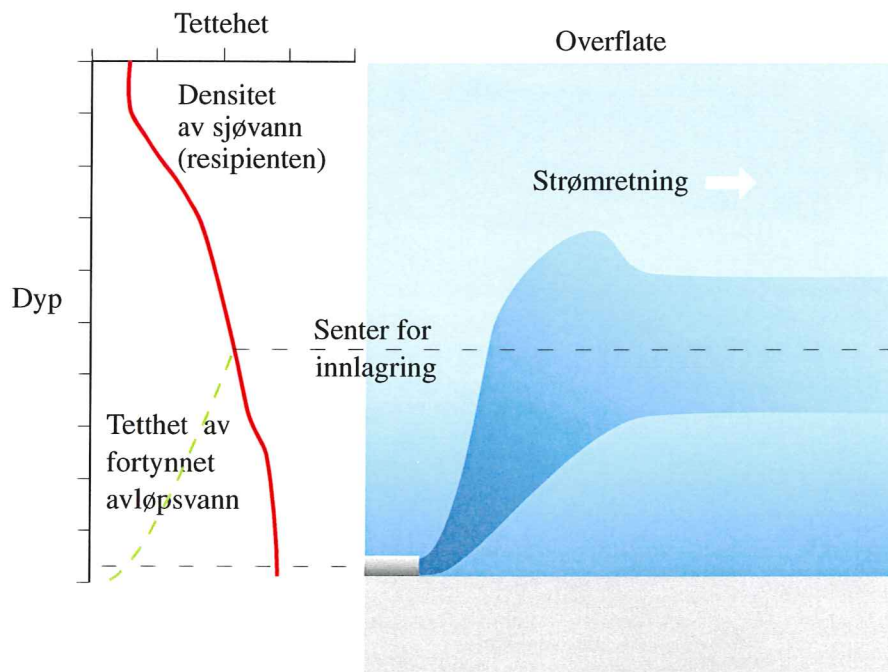
NIVA



RAPPORT LNR 4200-2000

Nytt kommunalt renseanlegg på Hylkje

Målinger og beregninger for
framtidige avløp til fjorden



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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 Nytt kommunalt renseanlegg på Hylkje Målinger og beregninger for framtidig avløp til fjorden	Løpenr. (for bestilling) 4200-2000	Dato 28.02.2000
	Prosjektnr. Undernr. 99222	Sider Pris 34
Forfatter(e) Arild Sundfjord Lars G. Golmen	Fagområde Oseanografi	Distribusjon åpen
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Bergen kommune, Teknisk utbygging, Postboks 7700, 5020 Bergen	Oppdragsreferanse 9900754/9 Trond Sekse
---	---

Sammendrag Bergen kommune skal anlegge nytt kommunalt avløp ved Hylkje i Åsane, som grenser til Sørfjorden ved Osterøy. NIVA har beregnet spredningen av avløpsvann på planlagt utslippssted, og gitt anbefaling om utslippsdyp i forhold til risiko for oppstigning til overflaten. Som inngangsdata til modellene ble det benyttet hydrografiske målinger fra hele 1992 samt noen nye enkeltprofiler, og i tillegg målte NIVA strøm med en 500 kHz ADP i desember 1999 -januar 2000. Det er foretatt utslippsberegninger for tre ulike rørdiametre med alternative utslippsdyp på 20, 30, 35 og 40 meter og ulike vannmengder. Et utslippsdyp på 35 meter framstår som mest realistisk i forhold til kommunens planer. Utslipp i dette dypet ved normal max. timebelastning på 50 l/s innebærer liten eller ingen risiko for oppstigning til overflaten. Høyeste beregnede senter-innlagring for et utslipp i 35 meter med ekstra høy (200 l/s) belastning tilsvarer 8 meters dyp og som oftest vil innlagring skje vesentlig dypere.

Fire norske emneord 1. Kommunalt utslipp 2. Strømforhold 3. Salhusfjorden 4. Spredningsberegninger	Fire engelske emneord 1. Municipal outfall 2. Currents 3. The Salhusfjord 4. Outfall plume
--	--


Lars G. Golmen


Jarle Molvær


Torgeir Bakke

Nytt kommunalt renseanlegg på Hylkje

Målinger og beregninger
for framtidig avløp til fjorden

Forord

Det arbeides med å anlegge nytt avløp til fjorden fra kommunalt renseanlegg på Hylkje i Åsane. I desember 1999 ba Bergen kommune NIVA om å foreslå undersøkelser med siktemål å finne best mulig utslippsdyp for det nye utslippet. Tilbudet fra NIVA ble med noen modifikasjoner akseptert 22. desember, og NIVA kom i gang med tokt og strømmålinger på lokaliteten allerede den 27. desember.

Hos kommunen var Trond Sekse saksbehandler og kontaktperson. Avdelingsleder Torbjørn M. Johnsen hadde den innledende kontakten med kommunen. Herman Gade ved Geofysisk institutt, UiB framskaffet hydrografiske data fra 1992 fra Sørfjorden. Forskningsassistent Arild Sundfjord og sekretær Camilla Grimsby stod for mye av det praktiske arbeidet hos NIVA, mens forsker Birger Bjerkeng gjennomleste rapportutkastet og var ansvarlig for kvalitetssikringen.

Leon Pedersen, Askøy, med båten "Solvik" bistod NIVA under utsetting og opptak av måleutstyr. Takk til ham og alle andre involverte som med stor entusiasme stilte opp på kort varsel og bidro til at prosjektet kunne gjennomføres på under 2 måneder.

Bergen/Oslo, 29.02.2000

Lars G. Golmen

Innhold

Nytt kommunalt renseanlegg på Hylkje	2
SAMMENDRAG	5
SUMMARY	7
1. BAKGRUNN FOR UNDERSØKELSEN	8
1.1. Innhold i undersøkelsen	8
1.1.1. Effekt-studier	9
1.2. Det planlagte utslippet	9
1.3. Hydrografiske data for resipienten	9
2. MÅLEPROGRAMMET	10
2.1. Måling av strøm ved utslippsstedet.	10
2.2. Supplerende hydrografiske målinger	13
3. MÅLEDATA	14
3.1. Strømmålinger	14
3.1.1. Strømmens stabilitet	20
3.2. Hydrografi	20
3.2.1. Undersøkelsene i 1992	20
3.2.2. Nye supplerende profiler	20
4. MODELLERING	23
4.1. Metodikk	23
4.1.1. JETMIX	24
4.1.2. PLUMES	24
4.2. Tilrettelegging av inngangsdata	24
4.2.1. Hydrografi	24
4.2.2. Data for utslippet	25
4.2.3. Strømdata	25
4.3. Resultater for JETMIX	25
4.3.1. Beregninger med varierende utslippsdyp	25
4.3.2. Beregninger for utslipp i 35 m dyp	26
4.4. Beregninger med PLUMES og effekt av strøm	31
4.5. Beregninger med nye hydrografidata	31
4.6. Merknad til bruk av hydrografiske inngangsdata	31
5. SLUTTKOMMENTARER	32
5.1. Om resultatene	32
5.2. Forslag til oppfølgende undersøkelser	33
6. REFERANSER	34

SAMMENDRAG

Bergen kommune skal etablere et nytt renseanlegg for kloakk på Hylkje i Åsane som vil stå ferdig i år 2000. Utslipet fra renseanlegget skal føres østover gjennom ledning ut til gunstig dyp til Sørfjorden. I dag er det kun et lite utslipp i området (2-300 pe), som blir sanert i samband med bygging av nytt anlegg og avløp.

Kommunen har engasjert Norsk institutt for vannforskning (NIVA) for å vurdere spredning og fortykning i resipienten Sørfjorden for alternative utslippsløsninger. Hovedmålsettingen for oppdraget var å beskrive utslippsløsninger der en unngår opptrenging til overflaten og eventuelt påvirkning av Hylkjevågen. Hylkjevågen har dybder på 0-3 meter, og innlagring grunnere enn 3 m er derfor viktig å unngå.

Noen nøkkelopplysninger om det framtidige utslippet:

Dimensjonering.	Max.250 l/s
Normal max. timebelastning:	40-60 l/s (i et normaldøgn)
Max momentan belastning.	100 l/s
Rensing:	Mekanisk, 1 mm finnist, for inntil 10.000 pe.
Utslipp:	Gjennom rør til dyp der ønsket fortykning/innlagring skjer Flere åpninger/diffusor, hvis nødvendig

I samband med prosjektet foretok NIVA måling av strøm med en akustisk ADP måler i nærheten av nåværende utslippsted utenfor Hylkjevågen. Måleperioden var fra 27. desember 1999 til 24. januar 2000. Dette er alternativ Nr 1 for plassering av framtidig utslipp dersom innlagringsforholdene tillater det. Måleresultatene viste at hovedstrøms-aksen ligger i retningen W/NW -Ø/SØ med en svak overvekt av inngående (østgående) strøm i dyp mellom 30 og 10 m.

Basert på strømdata og eksisterende og nye hydrografiske data er det foretatt beregninger av innlagring og spredning av avløpsvannet med to modeller, *JETMIX* og *PLUMES* for ulike vannmengder, utslippsdyp og rørdiametre. Hovedresultatene av beregningene for innlagringsdyp med 23 forskjellige hydrografi-profiler fra 1992 er gitt i tabellen under.

Minste og største innlagringsdyp (meter under sjøoverflaten) beregnet med JETMIX.

Utslippsdyp->	20 m	30 m	35 m			40 m
Vannfluks, l/s->	50	50	50	100	200	50
Ø 200 mm rør	7 - 13,5	10,6 - 21,8				16,2 - 26,6
Ø 279 mm rør	-	-		11,7-23,1		-
Ø 443 mm rør	-	-	13,4-23,5	-	8,3-21,2	-

Utslipp i 20 m dyp ga grunn innlagring, og frarådes derfor.

For den mest realistiske løsningen med utslipp i 35 m dyp er hovedtrekkene i resultatene at 279 mm rørdiameter og 100 l/s fluks gir 11,7 m som grunneste innlagring, og verdier mellom 15 og 20 m som det typiske. I noen tilfeller skyter skyen opp til ca 6 m dyp (noen profiler i uke 3-18) før den innlagres, men det er ingen tegn til at det blir overflatepåvirkning. Den beregnede fortykningen varierte mellom 25 og 61x.

For 443 mm rørdiameter og 50 l/s fluks var grunneste innlagring 13,4 m (uke 44) mens verdiene typisk lå i intervallet 15-22 m. Fortykningen var mellom 28 og 70x, og høyeste max. oppstigning var til 5.1

m (uke 18). For samme rør og 200 l/s var grunneste innlagring 8,3 m (uke 18) mens verdiene typisk lå i intervallet 12-18 m. Høyeste/grunneste oppstigning var til 5,1 m (uke 18). Typisk fortykning for denne kombinasjonen var 25-35x, med 20x som minimum (uke 25 og 33). 200 l/s ga 2-3 m høyere oppstigning og grunnere innlagring enn 50 l/s.

Konklusjonen er at utslipp i 35 m dyp med normalvannføring vil tilfredsstille de innledende krav til utslippet som kommunen har satt, d.v.s. at opptrenging til overflaten og eventuelt påvirkning av Hylkjevågen skal unngås.

SUMMARY

Title: Municipal discharge at Hylkje near Bergen, Norway
 Year: 2000
 Authors: Arild Sundfjord and Lars G. Golmen
 Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3819-0

A new municipal sewage outfall will be established at Hylkje near Bergen, Norway in 2000. The capacity will be dementioned for an equivalent population of 16,000, but for the first years the load will not exceed an e.p. of 10,000. On contract for the Municipality of Bergen, the Norwegian Institute for Water Research (NIVA) has performed a study to determine the fate of the discharge under various scenarios for hydrography, discharge depth and rate, and different tube diameters. The key issue is to avoid any penetration of the plume to the surface or near-surface layer, that may also cause impacts inside the shallow bay Hylkjevågen. Only theoretical assessments and no comprehensive environmental assessment of impacts were included in the scope of work.

Data on some key parameters for the future outfall:

Dimensioning load:	Max.250 l/s
Normal max. hourly load:	40-60 l/s (in a normal day)
Max. instantaneous load:.	100 l/s
Treatment:	Mechanical through 1 mm slits
Discharge:	Via tube to sufficient depth for subsurface interleaving of the plume.

In order to make better assessments current data were recorded at the proposed outfall site with a bottom-mounted NORTEK 500 kHz ADP that operated for 1 month from 27 December 1999 to 24 January 2000. Average currents were on the order of 5 cm/s and generally bi-directional, roughly along the fjord axis. Additional data from 1992 collected by the University of Bergen along with some new profiles were used to describe the hydrography in the recipient and as model-input.

Two numerical models were applied to simulate the fate of the discharge plume, NIVA's model *JETMIX* and *PLUMES* from US-EPA. The main results for the computed depth with *JETMIX* (in meters below the surface) of the neutral level of the interleaving plume were as follows:

Disch. depth->	20 m	30 m	35 m			40 m
load, l/s ->	50	50	50	100	200	50
Ø 200 mm pipe	7 - 13.5	10.6 - 21.8	-	-	-	16.2 - 26.6
Ø 279 mm pipe	-	-	-	11.7-23.1	-	-
Ø 443 mm pipe	-	-	13.4-23.5	-	8.3-21.2	-

A discharge at 20m depth may give surface impact as the plume initially overshoots beyond its neutral level before interleaving in the water column. The remaining alternatives have very low probability of surface impact, and neither of the scenarios for the preferred 35 m depth discharge seem to have any risk of surface or near-surface impact and thus will have no impact on the bay Hylkjevågen.

The report finally suggests some items for follow-up, including a baseline biological survey and an assessment of future impacts from the discharge on water quality and biota. Furthermore, as several fish farms which expell significant amunts of nutrients are also located in the fjord recipient, it is suggested to set up a total budget for nutrients and COD/BOD for the fjord in order to assess the total load and impacts.

1. BAKGRUNN FOR UNDERSØKELSEN

Bergen kommune skal bygge et nytt renseanlegg for kloakk på Hylkje i Åsane. Det nye anlegget som skal stå ferdig i år 2000, er planlagt dimensjonert tilsvarende 250 l/s, og skal i første omgang kun ha mekanisk rensing med 1 mm finrist. Dersom utslippet i framtida overstiger 10.000 pe, vil renseanlegget kunne bli oppgradert til kjemisk rensing.

Utslipet fra renseanlegget skal føres gjennom ledning ut til gunstig dyp østover til Sørfjorden (**Figur 1**). Ledningen skal ha kapasitet (dimensjonering) på inntil 300 l/s. I dag er det kun et lite utslipp i området (2-300 pe), som blir sanert i samband med bygging av nytt anlegg og avløp. Dersom det er teknisk mulig, vil kommunen vurdere å benytte eksisterende 315 mm ledning (indre diameter 279 mm) som går ut på rundt 35 m dyp.

I et møte mellom Bergen kommune og NIVA den 23.11.99 ble innholdet av et mulig prosjekt for å vurdere utslippsløsninger forhold til resipienten diskutert, og Bergen kommune ba om å få et forslag fra NIVA. NIVA sendte et prosjektforslag til kommunen 09.12.1999, der ett av siktemålene var å finne hvilke konkrete miljøproblemer som eventuelt måtte knytte seg til etablering av et såpass stort utslipp på stedet. Dernest, å beskrive mulige løsninger for å eliminere eller minimalisere disse eventuelle problemene.

Etter et nytt møte med kommunen 22.12.99 ble det enighet om å sløyfe prosjektelementer som inkluderte vannkjemi og biologi, og konsentrere seg om fysisk-oseanografisk måling og modellering. Hovedutfordringen for kommunen ligger i å finne løsninger der en unngår opptrenging til overflaten og eventuelt påvirkning av Hylkjevågen. Avtale om å gjennomføre et prosjekt ble mottatt 22.12.99, og rapporteringsfrist ble satt til medio februar, 2000.

1.1. Innhold i undersøkelsen

Prosjektet var skissert med aktivitet både på måling og modellering. I prinsippet kunne en startet med modellering basert kun på teoretiske betraktninger og evt. eksisterende data om resipienten. Ut fra dette ville en kunne få føling med om aktuelle utslippsløsninger lå godt innenfor marginene i forhold til aktuell problemstilling. Hvis ikke, kunne en gå videre med supplerende målinger på nøkkelparametre for sikre ekstra data og så foreta nye beregninger basert på dette.

På grunn av den knappe tidsfristen måtte det legges inn målinger fra starten av for å være sikret et minimum av datagrunnlag for beregningene.

Generelt sett bør undersøkelser av denne karakter inkludere følgende informasjon:

A. Om utslippet:

1. Størrelse (fluks), inkludert forventede variasjoner gjennom døgnet/året
2. Forurensingskomponenter (partikler) og konsentrasjoner i utslippet som kan ha betydning for spredningen, inkludert evt. flytestoffer eller lette komponenter

B. Om resipienten (fjorden):

1. Hydrografiske forhold i fjorden (sjikting)
2. Strømforholdene i området ved det planlagte utslippet
3. Bunnforholdene (topografien) på stedet.

I tillegg kommer tekniske valgmuligheter for utslippet og eventuelle begrensinger (off. regelverk, fysiske hindringer) ved valg av utslippsløsninger.

Opplysningene om fjorden eller resipienten kan baseres på eksisterende data hvis disse er tilstrekkelige, eller på nye data og registreringer. På basis av slike opplysninger vil en kunne foreta beregninger over influensområdet for utslippet, evt. for ulike alternative utslippsanordninger.

1.1.1. Effekt-studier

Forhåndsvurdering av miljøkonsekvenser for utslippet (evt. for ulike løsninger) er ikke del av prosjektet. Dersom slike skulle gjennomføres, ville disse bli basert på opplysninger om forventede forurensingskomponenter og konsentrasjoner i utslippet som kan medføre effekter for marin flora/fauna, samt opplysninger om eksisterende marin flora/fauna i området innafor antatt/beregnet influensområde.

Med framveksten av havbruksnæringa er det også knyttet problemstillinger til utslipp fra kommuner og industri i forhold til påvirkning av fisk i mærd, skjelldyrkingsanlegg m.m. og dermed forringelse av egnethet for lokaliteter.

I prinsippet er det mulig at den utslippsløsningen som gir best spredning og minst influensområde, kanskje ikke er gunstigst m.h.t. miljøkonsekvensene. Et dypt utslipp evt. med en liten diffusor kan gi et relativt stort influensområde men likevel ha mindre miljøeffekter enn f.eks. et grunnere utslipp som raskt fortynnes p.g.a. strømmen, men der det kan være mer organismer som kan ta skade.

1.2. Det planlagte utslippet

Følgende nøkkeldata om det framtidige utslippet foreligger:

Normal max. timebelastning:	40-60 l/s (i et normaldøgn)
Max momentan belastning.	250 l/s
Rensing:	Mekanisk, 1 mm finrist, for inntil 10.000 pe.
Flytestoff:	Ingen
Utslipp:	Gjennom rør til dyp der ønsket fortynning/innlagring skjer Flere åpninger/diffusor, viss nødvendig
Rørdiameter:	279 mm, evt. 443 mm innvendig diameter

1.3. Hydrografiske data for resipienten

Problemstillingen krever at det foreligger nøyaktige målinger av hydrografi, d.v.s. fordelingen av salinitet og temperatur i sjøen ved utslippsstedet gjennom året i ulike dyp. Salinitet og temperatur bestemmer fjordvannets tyngde og stabilitet, og dermed også hvordan et utslipp vil fordele seg vertikalt i vannsøylen ved utslippspunktet. Den regulære datainnsamlingen i samband med overvåkingen av Byfjorden har ingen fast stasjon i området ved Hylkje (nærmest er St 1, Garnes/Arna). Universitetet i Bergen (UiB) gjorde målinger i Sørfjorden i perioden 1988-93 på oppdrag fra Statens vegvesen i samband med planlegging av Salhusbrua. Målingene gikk kun ned til 30 m dyp, men har ellers god oppløsning i tid/rom, og vi har fått benytte deler av dette materialet til beregningene.

Et spørsmål er om en bør forholde seg primært til data fra perioden etter at Salhusbrua stod ferdig, i 1994/95. Brua kan ha hatt en viss innvirkning på sjiktningen i fjordene innafor. Men etter det vi kjenner til, er det ikke gjennomført noen etterundersøkelse i samband med dette. Det foreligger kun

noen få målinger fra St 1, Garnes for perioden etter at brua var ferdig. Sporadiske målinger som fiskeoppdrettere i området måtte ha, innbefatter sjelden salinitet med den nøyaktighet og oppløsning som behøves for beregningene.

2. MÅLEPROGRAMMET

2.1. Måling av strøm ved utslippsstedet.

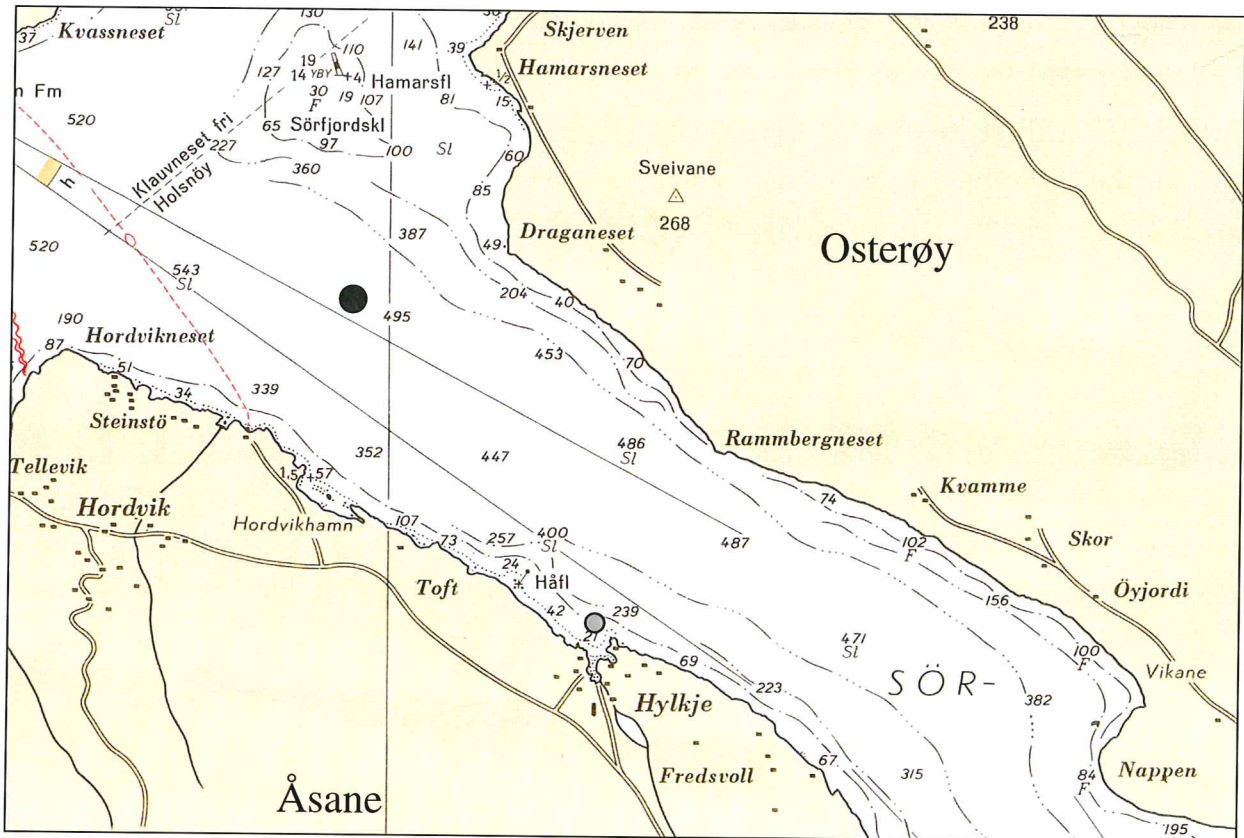
For å kunne bestemme den videre spredningen av utslippet etter innlagring var det nødvendig å gjøre nøyaktige målinger av strøm så nært det planlagte utslippsstedet som mulig, slik at det kan tas hensyn til effekter av den lokale topografien. Instrumentet som ble brukt var en Nortek 500 kHz ADP. Dette instrumentet benytter Doppler-prinsippet til å måle vannstrøm. Et lydsignal sendes oppover i vannet, reflekteres i partikler, og blir så registrert igjen i instrumentet. Data fra tre slike lydsendere, som sender akustiske pulser i ulike vinkler, kombineres og gir tilsammen et bilde på strøm i tre retninger. Ved i tillegg å dele retursignalene inn i avgrensede tidsbolker kan strømbildet i ulike dybdeintervaller registreres (se illustrasjon i **Figur 2** og mer inngående forklaring av måleprinsippet i Nortek AS 1996).

Instrumentet ble programmert til å måle i én meter tykke dybdeceller. ADPen har en innebygget trykksensor, som viste at instrumentet var plassert i ca. 51 m dyp (i gjennomsnitt, dette varierer med vannstanden). Det er en blindsoner på ca. én meter like over instrumentet, slik at første målecelle ligger i 49-50 m dyp. På grunn av reflekser og bølgeforyrrelser fra overflaten får de øverste dataene alltid dårlig kvalitet med denne typen måleinstrument. Som en tommelfingerregel brukes derfor ikke de øverste ca. 10 % av målingene. I dette tilfellet tilsvarer det ca. 5 celler (5 m). Det totale måleområdet strekker seg derfor fra ca 5–49 m dyp i denne måleserien. Mer informasjon omkring strømmålingene er vist i **Tabell 1**.

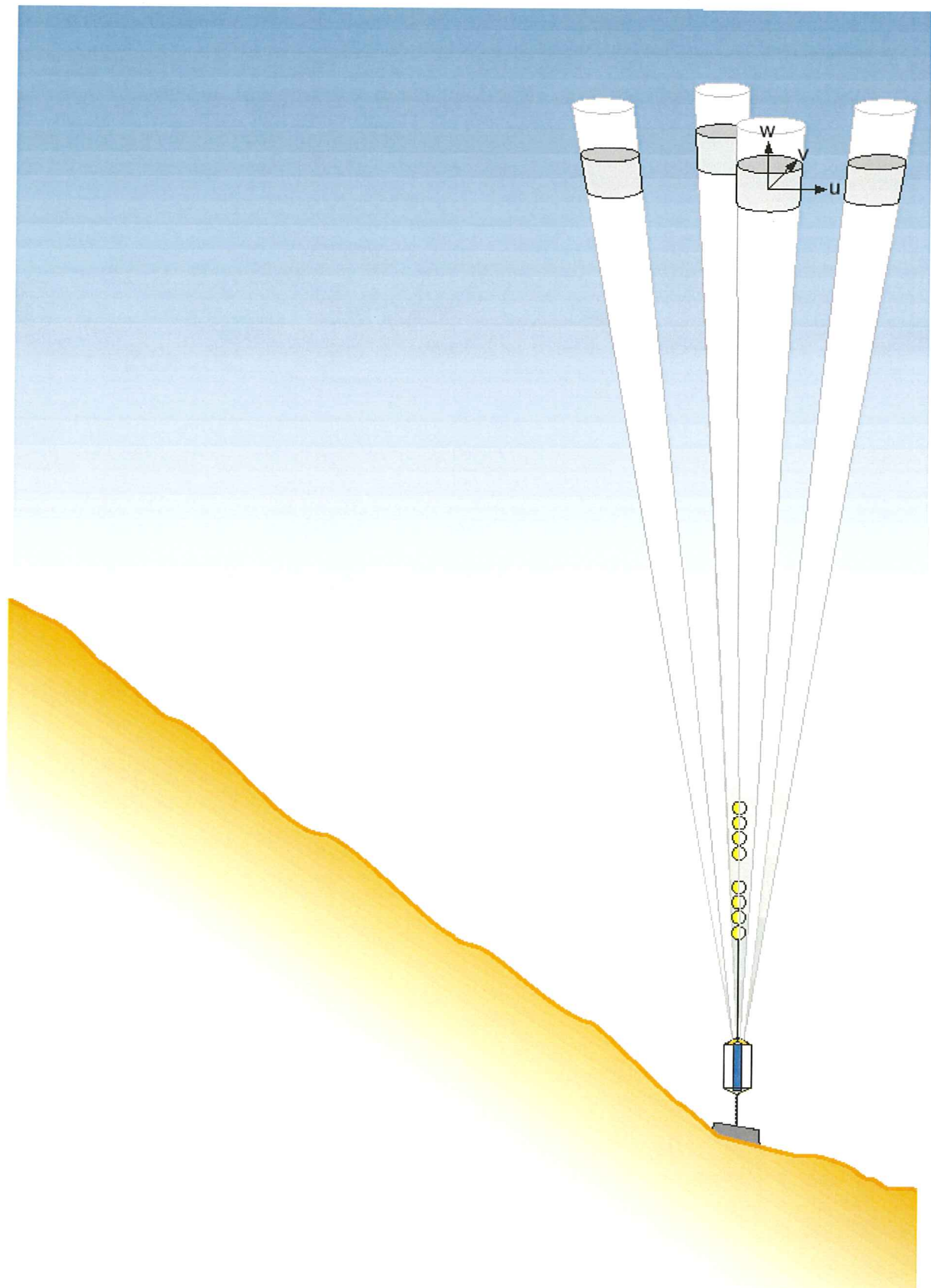
For å ha tilstrekkelig batterikapasitet gjennom hele perioden ble hvert måleintervall satt til 10 minutter. For å redusere standardavviket for hver registrering ble instrumentet programmert til å foreta kontinuerlig måling over tre minutter i starten av hver 10 minutters periode, og så midle disse dataene.

Tabell 1. Informasjon om målingene med NORTEK ADP, Serie Nr. N4515. Oppgitt tid er lokal tid.

Instrument	Nortek ADP 500 kHz
Starttid	27.12.99 kl. 10:00
Utsettingstid	27.12.99 kl. 13:45
Opphenting	24.01.00 kl. 10:00
Bunndyp (ca)	53 m
Instrumentdyp	51 m
Første målecelle	49 m
Posisjon, Nord	60 30.811 N
Posisjon, Øst	05 21.099 E
Antall måleceller	55 (inkl. "luftceller")
Cellestørrelse	1,0 m
Midlingsintervall	3 minutter
Profilintervall	10 minutter



Figur 1. Utsnitt av sjøkart nr. 119, med Sørkjolen og Hylkje. Posisjon for strømmåling (grå) samt hydrografisk stasjon nr 16 (svart) er angitt med sirkler.



Figur 2. Illustrasjon av ADCP-strømmåler. Instrumentet var plassert like over bunn, og registrerte strøm i ca 50 ulike dybdesjikt ved hjelp av lydbølger.

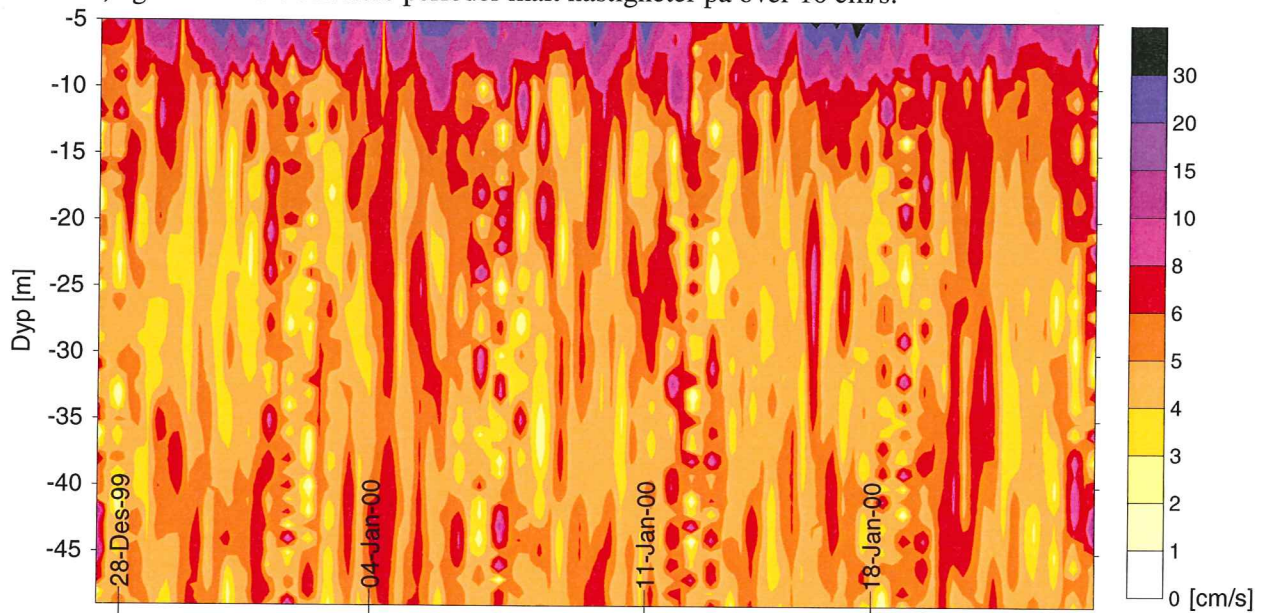
2.2. Supplerende hydrografiske målinger

I samband med utsetting og opphenting av strømmåleren ble det gjort nye målinger av hydrografi like ved det planlagte utslippsstedet på Hylkje. Målingene ble gjort rett utenfor strømmålerriggen, for å komme ned til et noe større dyp. Instrumentet som ble brukt til dette er en SeaBird CTD-sensor (SeaBird Electronics, Inc, 1997). Dette registrerer og lagrer konduktivitet (som regnes om til salinitet), temperatur og trykk med stor nøyaktighet. Fra disse dataene kan også vannets egenvekt (tetthet) i ulike dyp finnes. Det ble tatt slike vertikalprofiler ved utsetting (27.12.99) og innhenting (24.01.00) av strømmåleren. Resultatene er fremstilt grafisk i kapittel 3.2.

3. MÅLEDATA

3.1. Strømmålinger

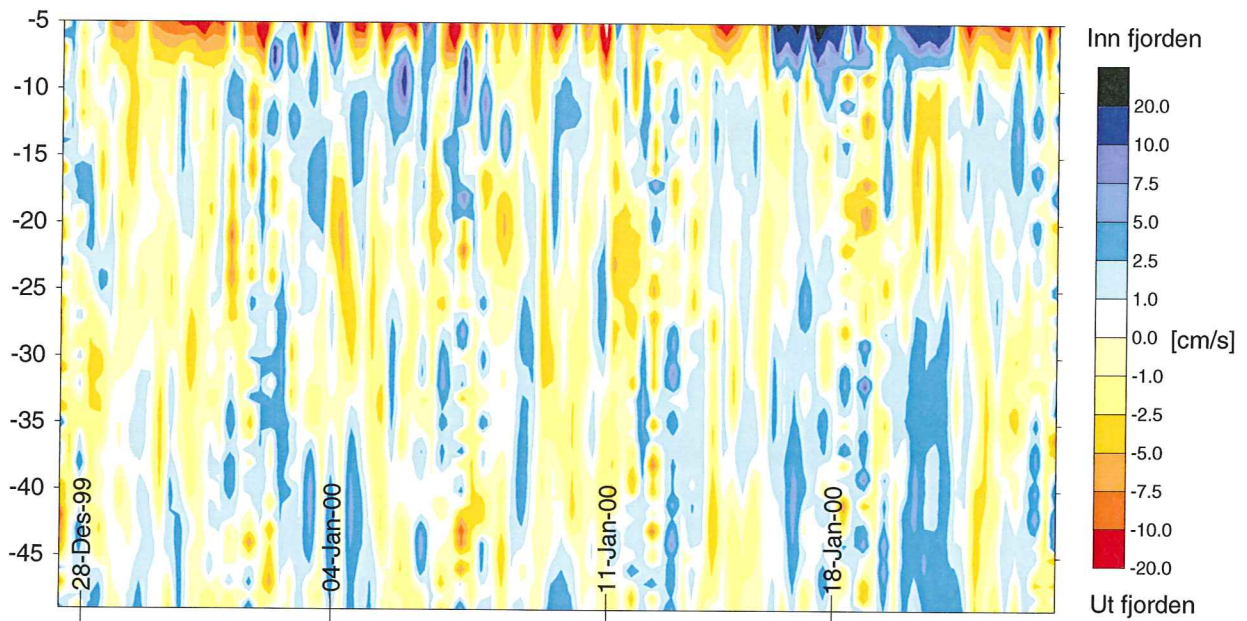
Figur 3 viser hvordan strømstyrken varierte i vannsøylen gjennom måleperioden. Som nevnt i forrige kapittel er målingene like under overflaten usikre på grunn av reflekser og bølger, og er derfor utelatt fra figuren. Strømmen var sterkst ned til ca 8-10 m. Det er her påvirkningen fra tidevann og vind er sterkst, og i tillegg vil det utstrømmende brakkvannslaget bidra til sterkere strøm i dette sjiktet. Videre nedover i dypet ble det registrert mer moderate hastigheter. Stort sett lå strømhastigheten på 2-10 cm/s, og det ble bare i kortere perioder målt hastigheter på over 10 cm/s.



Figur 3. Strømstyrke for hele måleperioden, dyp 5 til 49 m, målt med Nortek ADP.

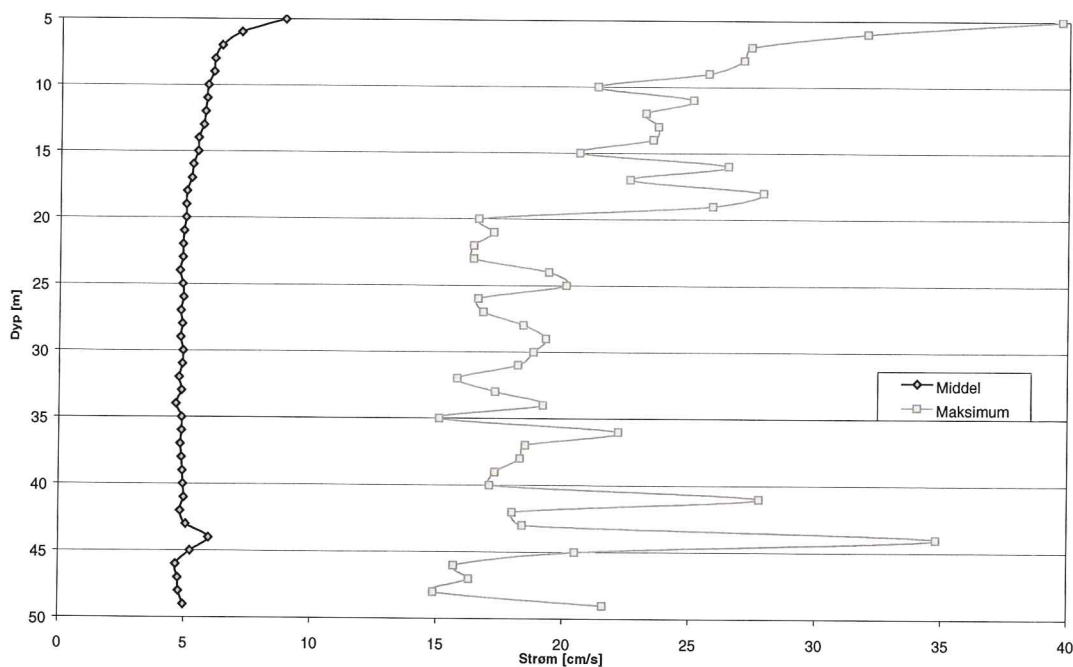
For å få et bedre inntrykk av hvordan strømretningen varierer, er strømmålingene fordelt i inn- og utstrømmende komponenter. Dette er vist i **Figur 4**. Innstrømming er definert som strøm i retning 145 grader (tilsvarer midtlinjen i Sørfjorden utenfor Hylkje), og er i figuren vist som positive verdier. Igjen ser vi at de høyeste hastighetene finnes i det øvre laget. Utgående strøm dominerer her (brakkvannsstrøm), med unntak av en periode rundt 16.-22. januar. Ellers er det tidvis klar lagdeling av strømmen nedover i dypet; i det meste av perioden 01.-16. januar er det strøm utover i overflaten og en innstrømmende kompensasjonsstrøm under dette (varierende dyp mellom 8-20 m). Deretter dominerer utstrømming igjen, mens det fra nærmere 30 m og nedover er mer variabel strømretning.

Det kan forøvrig pekes på at **Figur 4** ikke viser like høye maksimalverdier for strømstyrke som **Figur 3**; dette skyldes at strømmåleren var plassert langt inn mot land på Hylkje-siden. Her inne påvirkes strømmen mye av lokal topografi, og spesielt neset utenfor Hylkjebukta kan synes å være relevant. Fra fluksrosene i **Figur 7**, 9 og 11 fremgår det at hovedtransportene i de utvalgte dypene har retning på ca 100 grader (innover) og rundt 270 grader (utgående sjø). Tilsvarende er også retningsfordelingen til strømhastighetene undersøkt, og viser at det er i nettopp disse retningene de høyeste hastighetene finnes, både absolutte og gjennomsnittlig.



Figur 4. Strøm inn/ut fjorden gjennom måleperioden, dyp fra 5 til 49 m. Retning for strøm inn fjorden er satt til 145° , og strøm innover er gitt som positive verdier.

Gjennomsnittlig og maksimal strømstyrke for hele måleperioden i de ulike cellene opp til 5 m dyp er vist i **Figur 5**. Gjennomsnittsverdiene var relativt svake og ganske like. Bare i de helt øverste cellene var det en viss økning i hastighetene. Celle nr 6 (44 m dyp) viser også en noe høyere verdi enn de omliggende cellene; dette kan skyldes en topografisk induisert strømjett, refleksjoner fra den tildels bratt skrånende bunnen i nærheten, fisk, partikler eller en målefeil/intern feiltolkning av retursignalet. Maksimal strømhastighet viser langt større variasjon enn gjennomsnittsverdiene. Også her er det et klart maksimum helt øverst, men i tillegg er det en overgang mellom relativt høye verdier ned mot ca. 20 m og lavere verdier under dette. Igjen avviker celle 6 fra cellene rundt, men i kurven som viser maksimalverdier inngår også andre slike sprang.



Figur 5. Gjennomsnittlig og maksimal strømstyrke i de ulike dybdecellene, for hele måleperioden.

I **Tabell 2** er midlere og maksimal strømstyrke samt standardavvik for alle måledypene vist. Verdiene for de øverste 5 m blir som nevnt over neglisjert i videre analyse, da disse er heftet med usikkerhet grunnet refleksjoner fra overflaten. som det fremgår av tabellen har da også disse dataene størst standardavvik.

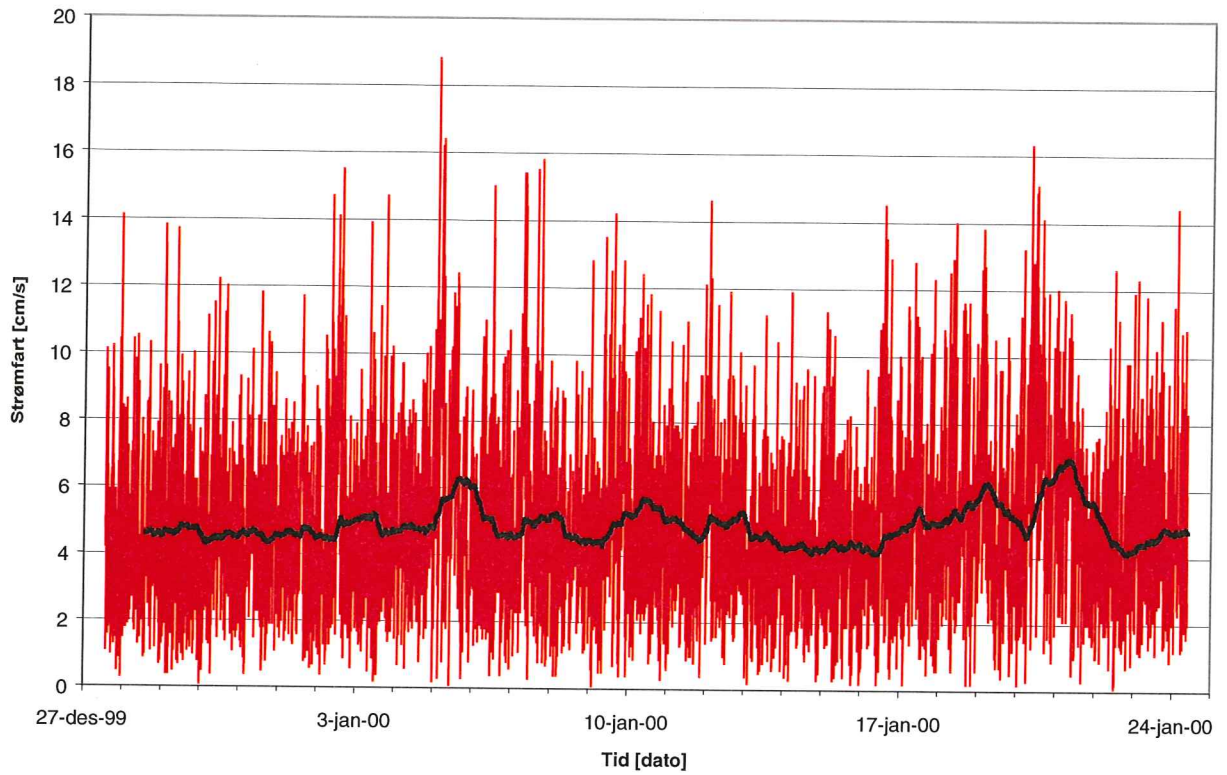
Tabell 2. Gjennomsnittlig og maksimal strømstyrke samt standardavvik for hvert måledyp med ADP.

Celle	Dyp	Strømstyrke, Gjennomsnitt	Strømstyrke, Maksimal	Standard -avvik	Celle	Dyp	Strømstyrke, Gjennomsnitt	Strømstyrke, Maksimal	Standard-avvik
1	49	5.0	21.6	2.7	26	24	4.8	19.4	2.6
2	48	4.8	14.9	2.5	27	23	4.9	16.4	2.6
3	47	4.8	16.3	2.5	28	22	4.9	16.4	2.7
4	46	4.7	15.7	2.5	29	21	4.9	17.2	2.7
5	45	5.2	20.5	3.0	30	20	5.0	16.6	2.7
6	44	6.0	34.8	3.7	31	19	5.0	25.9	2.8
7	43	5.1	18.4	2.7	32	18	5.0	27.9	2.8
8	42	4.8	18.0	2.7	33	17	5.2	22.6	2.9
9	41	5.0	27.8	2.7	34	16	5.3	26.5	3.0
10	40	4.9	17.1	2.7	35	15	5.4	20.6	3.1
11	39	4.9	17.3	2.7	36	14	5.5	23.5	3.1
12	38	4.9	18.3	2.6	37	13	5.7	23.7	3.3
13	37	4.8	18.5	2.6	38	12	5.7	23.2	3.2
14	36	4.9	22.2	2.6	39	11	5.8	25.1	3.3
15	35	4.9	15.1	2.6	40	10	5.8	21.3	3.4
16	34	4.6	19.2	2.6	41	9	6.1	25.7	3.5
17	33	4.9	17.3	2.6	42	8	6.1	27.1	3.7
18	32	4.8	15.8	2.6	43	7	6.4	27.4	3.8
19	31	4.9	18.2	2.8	44	6	7.1	32.0	4.1
20	30	4.9	18.8	2.7	45	5	8.9	39.7	5.3
21	29	4.8	19.3	2.8	46	4	16.8	68.2	12.3
22	28	4.9	18.4	2.7	47	3	32.0	96.3	21.7
23	27	4.8	16.8	2.7	48	2	45.7	111.7	25.5
24	26	4.9	16.6	2.7	49	1	48.5	122.0	25.3
25	25	4.9	20.1	2.7	50	0	44.3	109.8	26.0

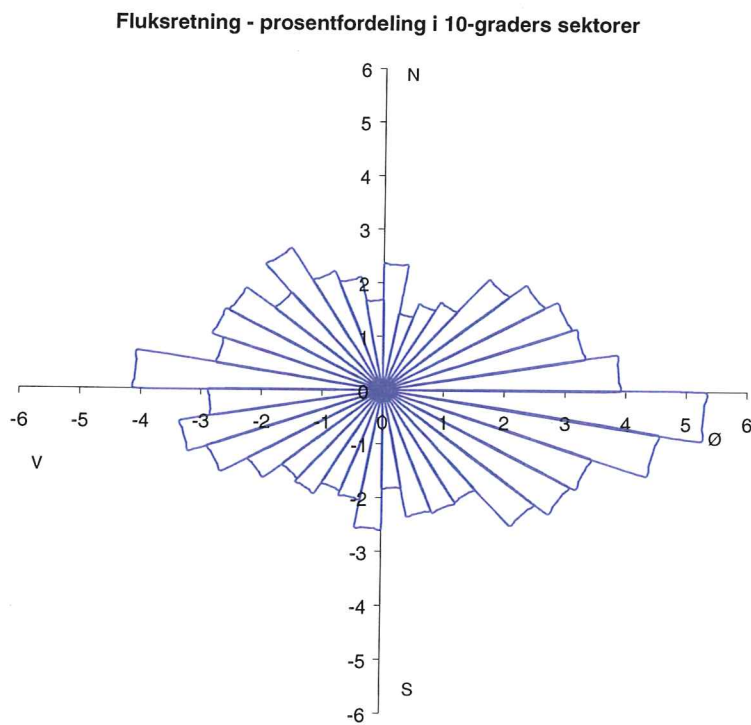
For å illustrere hvordan strømmen varierer over tid nedover i vannsøylen, har vi laget grafer fra noen dyp (10, 20 og 30 m). Strømstyrke med de opprinnelige 10 minutters intervallene er vist med grå strek, og et glidende 25 timers middel er lagt over i svart (**Figur 6, 9 og 11**). Videre er alle enkeltregistreringene fordelt i 10 graders sektorer i **Figur 7, 10 og 12**. Her kommer det fram et tydelig bilde av hvordan den samlede transporten i de ulike retningene er fordelt.

Generelt kan en si at hovedtrekkene er de samme i alle de tre utvalgte dypene (selv om absolutt-verdiene kan være noe ulike). Strømmen varierer mye i styrke fra måling til måling. Dette gjaldt også retningen som hadde store og hyppige endringer. De midlele verdiene gir et annet bilde. Det er i løpet av måleperioden svært liten forskjell i strømstyrke på døgnbasis (jfr. 25-timers middel).

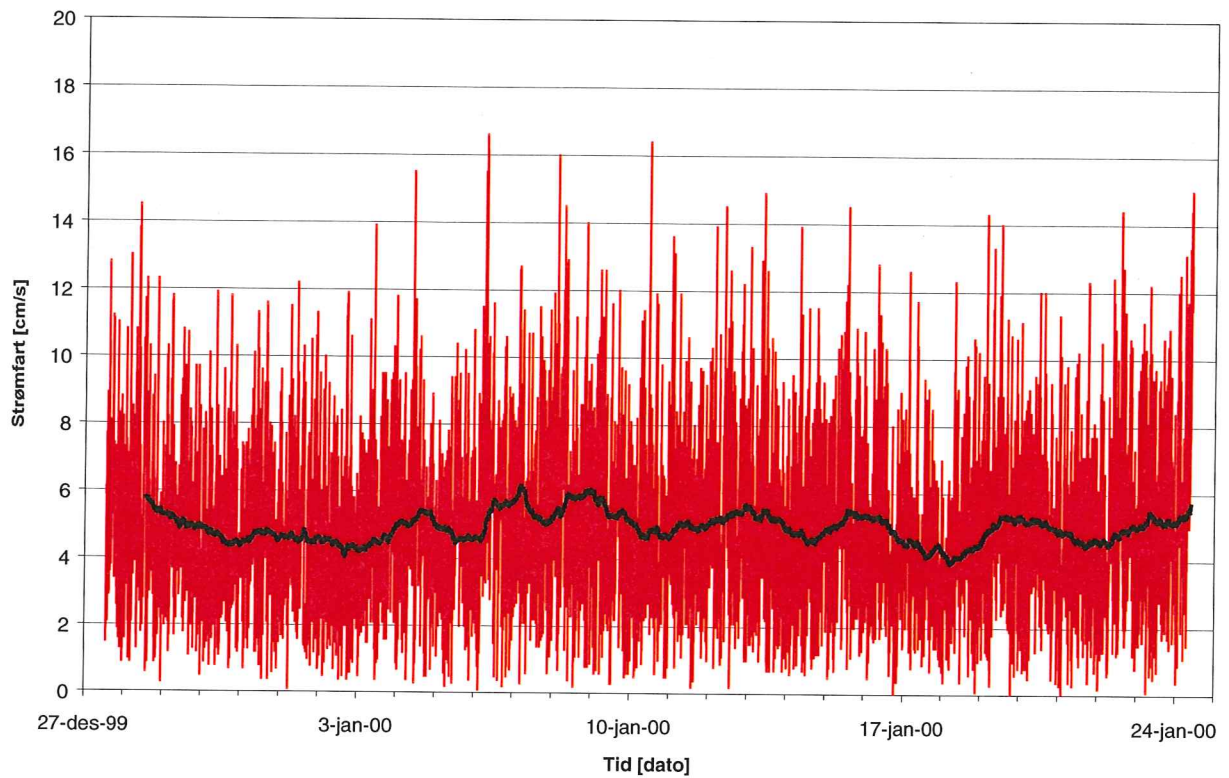
Også transporten viser rimelig lik fordeling i de ulike dypene. Hovedretningene ligger i intervallene 90-120 ° og 240-290 °. Men det er mange registreringer av strøm også i de andre retningene. Strøm i retning av Hylkjevågen forekom tidvis, og av størrelsesordenen 10% av fluksen går i den retning (i 10 m dyp). Det er imidlertid sannsynlig at dette representerer strøm som avbøyes lenger inne.



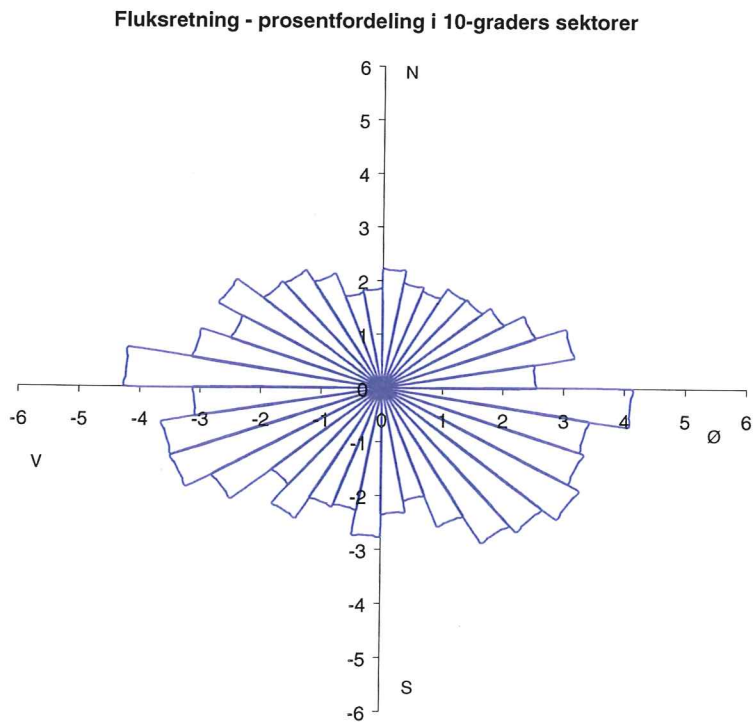
Figur 6. Variasjon i strømfart i 30 m dyp gjennom måleperioden er vist i grått. I tillegg er det brukt et 25-timers glidende middel på dataene (svart).



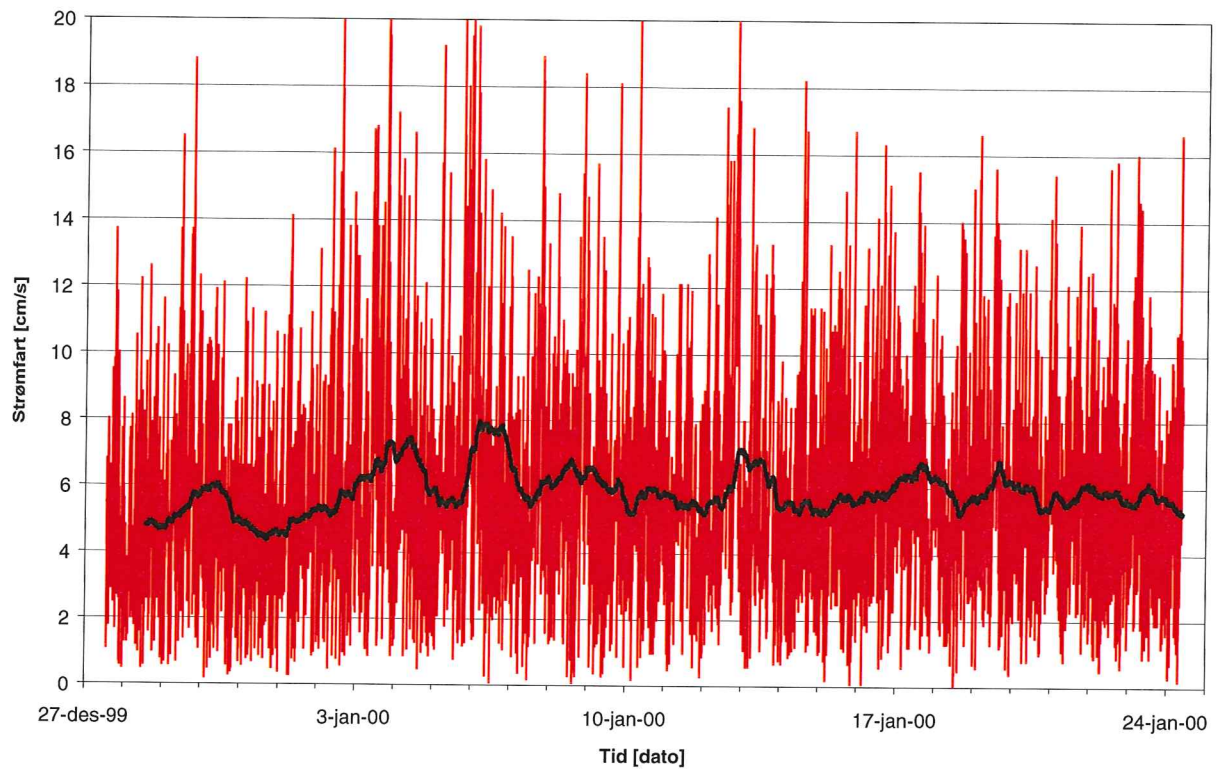
Figur 7. Transport i 30 m dyp gjennom måleperioden, prosentvis fordeling i 10 graders sektorer.



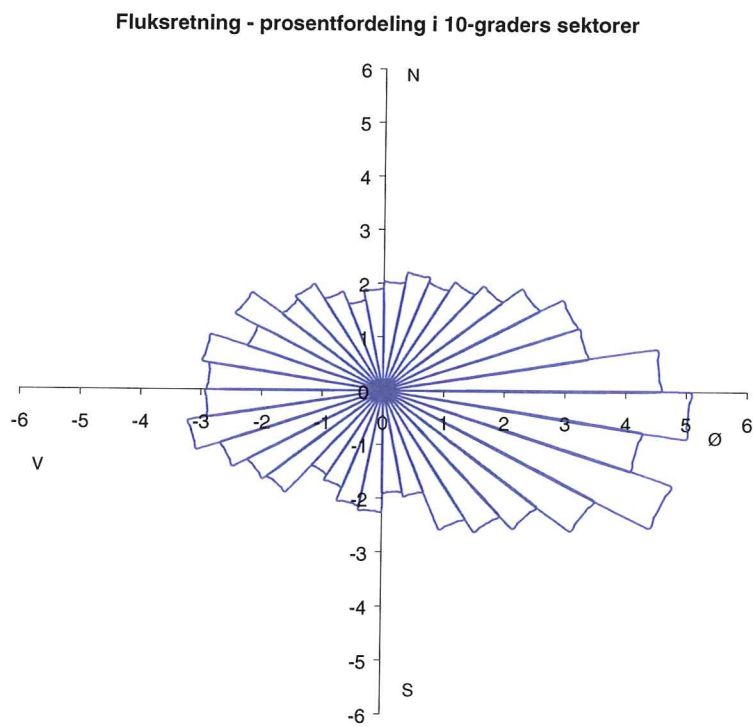
Figur 8. Variasjon i strømfart i 20 m dyp gjennom måleperioden (grått) samt 25-timers glidende middel (svart).



Figur 9. Transport i 20 m dyp gjennom måleperioden, prosentvis fordeling i 10 graders sektorer.



Figur 10. Variasjon i strømffart i 10 m dyp gjennom måleperioden (grått) samt 25-timers glidende middel (svart).



Figur 11. Transport i 10 m dyp gjennom måleperioden, prosentvis fordeling i 10 graders sektorer.

3.1.1. Strømmens stabilitet

Stabilitetsfaktoren for strømmen framkommer ved å dividere absoluttverdien av vektorsummen i et gitt dyp på middelverdien for strømstyrke i samme dyp. Det som fremkommer blir et mål på hvor stor del av strømmen som faktisk går i en hovedstrømsretning. Stabilitetsfaktoren kommer ut som et tall mellom 0 og 1, der lave verdier er svært varierende strøm mens 1 er helt ensrettet strøm. I de foreliggende målingene fra Hylkje i desember 1999 – januar 2000 ble stabilitetsfaktoren for 10, 20 og 30 m dyp funnet til henholdsvis 0,121, 0,066 og 0,064. Dette er lave verdier, og viser (som fluksrosene) at det er stor variasjon i strømretning.

3.2. Hydrografi

Det hydrografiske materialet som er benytta består av en måleserie fra 1992 og noen nye data desember 1999 og januar 2000.

3.2.1. Undersøkelsene i 1992

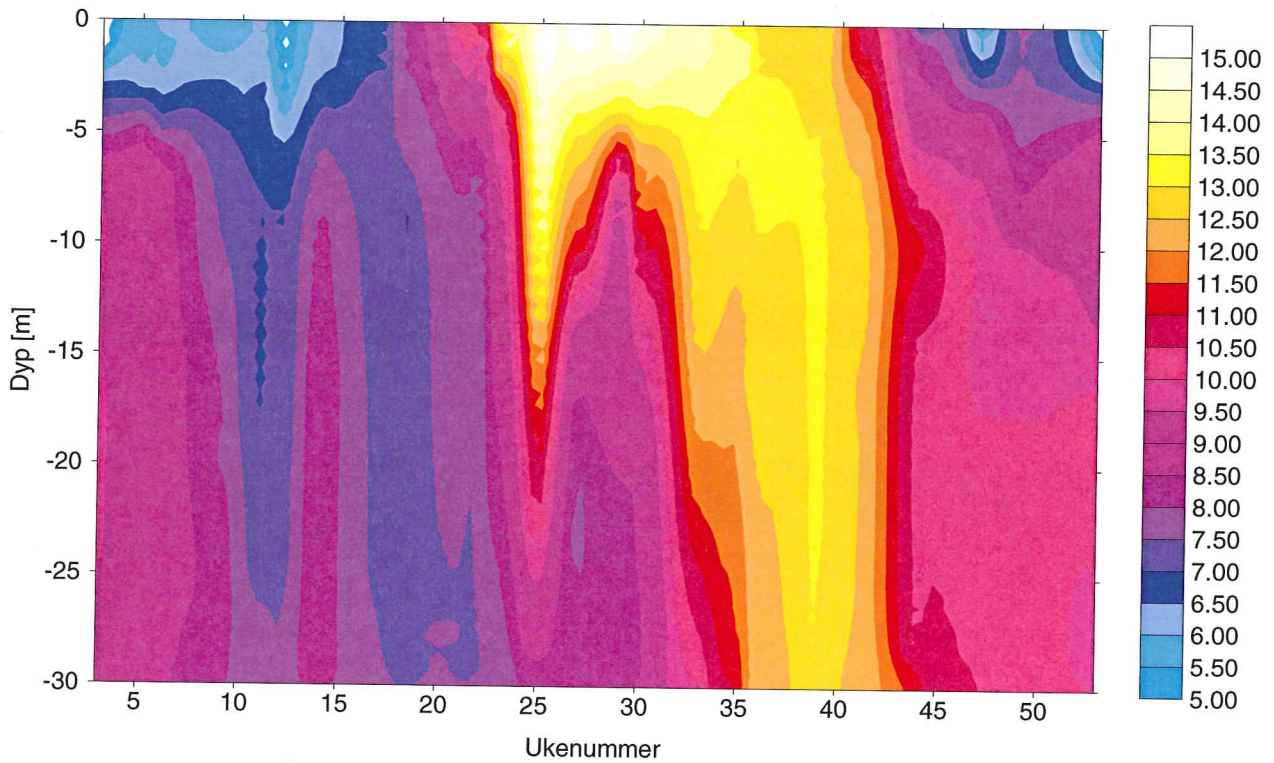
I samband med for-undersøkelsene for bygging av Salhusbrua (Norhordlandsbrua) ble det innsamlet et omfattende datamateriale i regi av MILJØPLAN AS og Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen. Daværende oppdragsgiver, Hordaland Vegkontor v/M. Natås har stilt datamaterialet til disposisjon for NIVA, og vi har benyttet målinger fra stasjon 16 (Figur 1) for året 1992 med i alt 23 profiler fordelt over året med 14 dagers intervall. Det er laget flere datarapporter som beskriver materialet (MILJØPLAN 1988 er et eksempel).

Målingene ble tatt med sonde, og er seinere lagra med 1 meters dybdeintervall, ned til 29 eller 30 m dyp. Fordi våre utslippsberegninger gjelder større dyp enn 30 m, har vi ekstrapolert data fra 30 m og nedover forbi største simulerte utslippsdyp i 40 m. **Figur 12** viser hovedtrekkene i disse målingene, som konturplott av temperatur og salinitet. Årssyklusen med sommeroppvarming og karakteristisk brakkvannsinnsdrag om våren og sommeren framtrer tydelig. Målingene viste at det alltid var markert stratifisering, men i noe varierende grad.

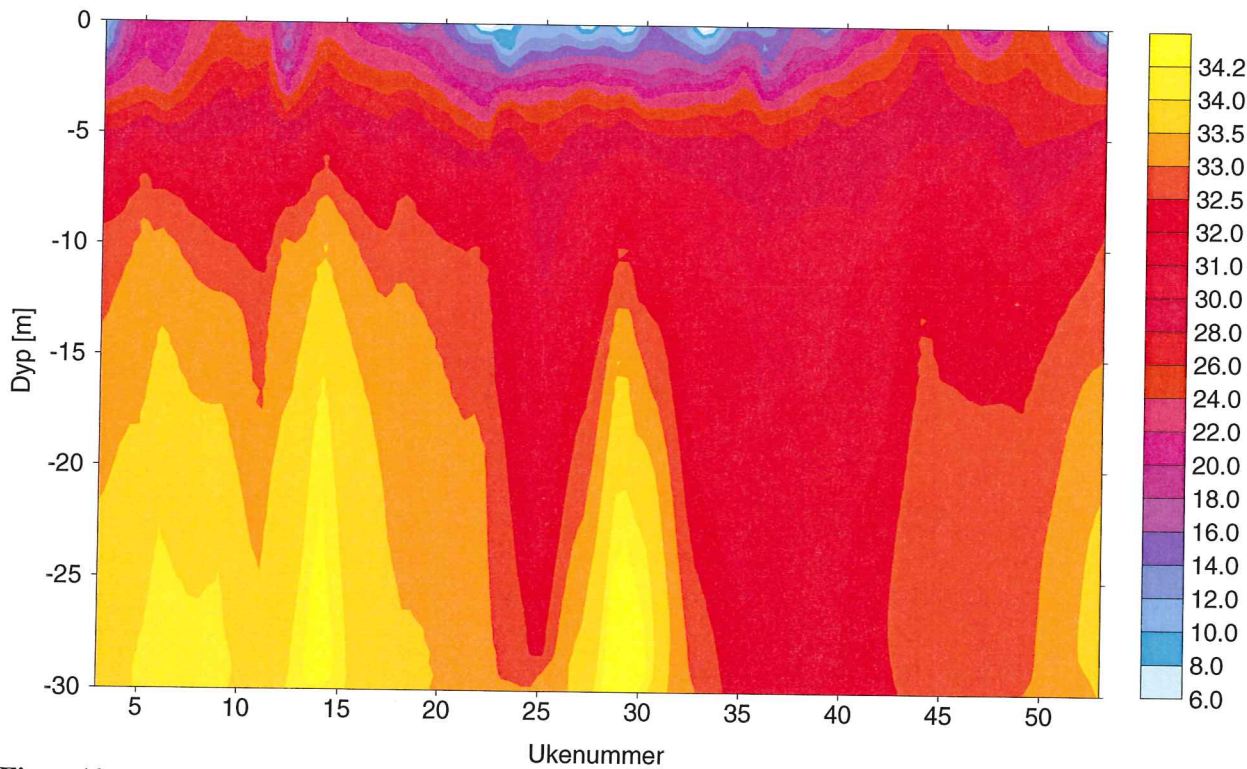
3.2.2. Nye supplerende profiler

I samband med NIVAs tokt den 27. desember 1999 og 24. januar 2000 ble det tatt profiler ned til ca. 80 m dyp nær måleriggen for strøm med en Seabird SBE-19 målesonde. **Figur 13** viser resultatene av disse målingene.

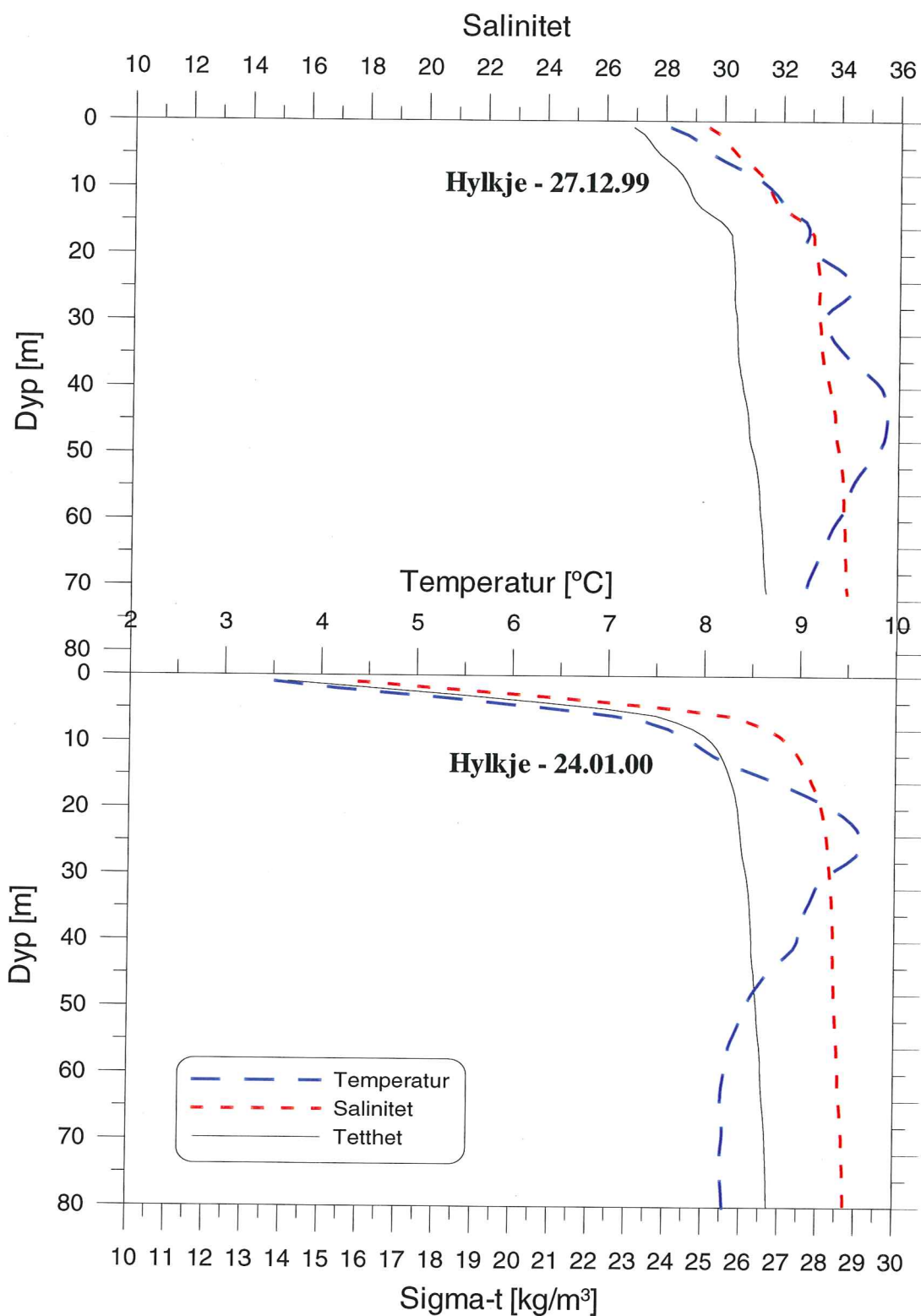
Temperatur på Stasjon 16, Sørfjorden, 1992



Salinitet på Stasjon 16, Sørfjorden, 1992



Figur 12. Målt temperatur og salinitet på stasjon 16 i Sørfjorden i 1992. Datamaterialet er stilt til rådighet av Geofysisk institutt, UiB og Hordaland Vegkontor.

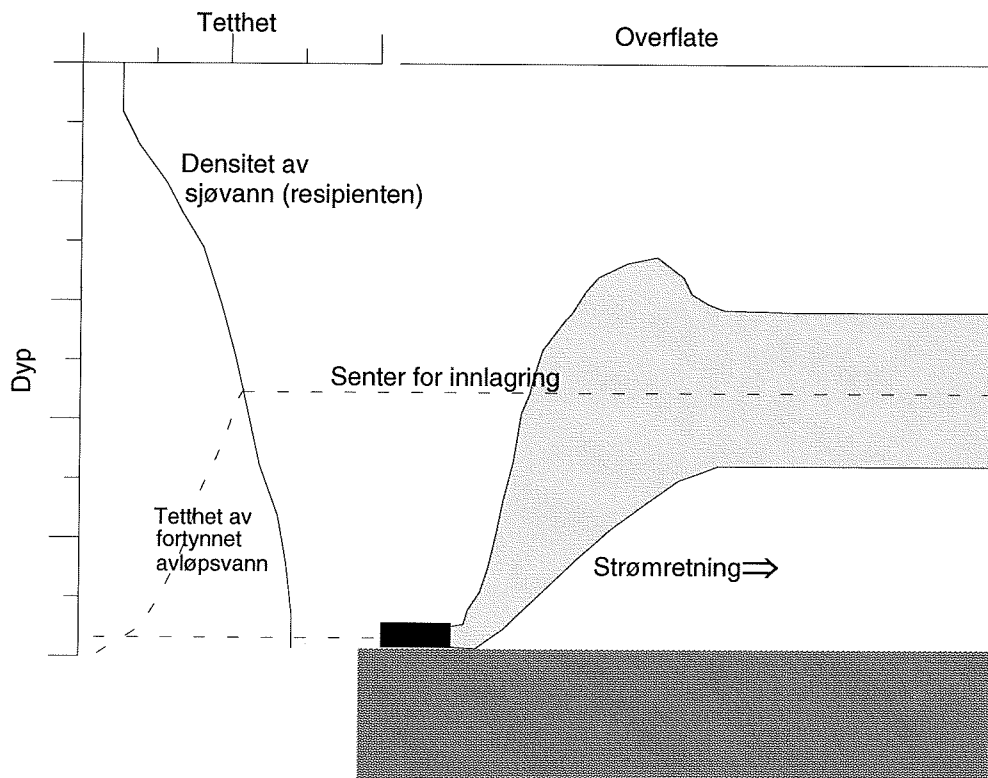


Figur 13. NIVAs hydrografimålinger ved Hylkje, 27.12.99 og 24.01.00.

4. MODELLERING

4.1. Metodikk

Avløpsvann fra kommunale renselanlegg som på Hylkje i Åsane kan antas å ha samme egenvekt som ferskvann, og er dermed lettere enn sjøvann. Ved utslipp på dypt vann i en fjord vil derfor avløpsvannet straks stige opp mot overflaten mens det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Dermed øker både volumet og egenvekten av denne "blandingsvannmassen" mens den raskt beveger seg oppover i vannsøylen. Hvis fjordvannet er lagdelt, dvs. det er lettere vann over tyngre vann, vil avløpsvannet ikke nå opp til overflaten. Grunnen er at egenvekten til blandingsvannmassen (avløpsvann+sjøvann) etterhvert blir lik egenvekten til det omkringliggende sjøvannet. Da stopper den vertikale bevegelsen og skyen av fortynnet avløpsvann begynner å bre seg horisontalt utover, mens den fortynnes videre. Vi sier at avløpsvannet **innlagres**. Dette er illustrert i **Figur 14**.



Figur 14. Skisse av hvordan utslippsvannet ved Hylkje vil spre seg i sjøen.

Utslipet skal dimensjoneres for 250 l/s. Normal maksimal timebelastning er oppgitt til 40-60 l/s. Typisk momentan max. verdi kan antas å ligge rundt 100 l/s. Døgnmiddelet vil ligge lavere enn 40 l/s. Ved beregninger av fortynning og innlagring av utslipp av denne typen vil normalt større vannmengder og høyere fluks gi grunnere innlagring og lavere fortynning i gitt avstand fra utslippet enn ved lavere fluks. Ved å beregne for store utslippsfluks vil vi dermed få resultater som representerer "verste tilfelle" under gitte forhold for sjikting etc.

Vi har gjort beregninger med to ulike numeriske simuleringmodeller for utslipp; NIVAs modell *JETMIX* og modellen *PLUMES* fra US-EPA. *JETMIX* har fordelen at en rasjonelt kan simulere mange utslippsscenarioer (dyp, flukser, rørdiametre o.l.) og raskt få en samlet oversikt. *PLUMES* er tyngre å bruke, men har fordelen at den i tillegg tar omsyn til strømmen i resipienten ved beregninger av fortykning og spredning. Vi gir innledningsvis en kort beskrivelse av disse to modellene.

4.1.1. JETMIX

Programmet *JETMIX* (Bjerkeng og Lesjø 1973) beregner fortykning og innlagringsdyp for en enkelt stråle avløpsvann i en sjiktet resipient, på basis av tetthetsprofiler i resipienten og data om strålen i utløpet. Programmet beregner ikke eksakt innlagringsdyp, men gir det nivået der "blandingsvannets" egenvekt er den samme som omgivelsenes egenvekt. Blandingsvannets vertikale bevegelsesenergi gjør imidlertid at det stiger noe forbi dette "likevektsdypet", før det synker tilbake og innlagres. I det følgende vil imidlertid innlagringsdyp være ensbetydende med likevektsdypet.

Dataprogrammet beregner den teoretisk høyeste opptrengning på to måter:

- ved fortsatt fortykning etter at likevektsdypet er "passert" (EQS).
- uten blanding eller friksjon etter likevektsdypet er "passert" (GRAV).

Det første metoden (EQS) antas å gi mest sannsynlig resultat.

JETMIX inkluderer ikke virkningen av varierende strømhastighet, "sammensmelting" av strålene fra forskjellige diffusorhull hvis slike finnes og fortykningen videre i strømmens retning etter at avløpsvannet er innlagret. For å simulere dette har vi anvendt modellen *PLUMES*.

4.1.2. PLUMES

PLUMES er en modell som likner *JETMIX* og som amerikanske EPA anbefaler for denne type beregninger (Baumgartner et al., 1994). *PLUMES* kan i tillegg simulere fortykningseffekten av vannstrømmen i resipienten. Til beregningene med *PLUMES* har vi brukt de mest aktuelle verdiene for rørdiameter og utslippsdyp og som gir de gunstigste verdier for innlagring og primærfortyning i henhold til resultatene fra *JETMIX*. Med disse størrelsene og de aktuelle vannmengdene og strømverdiene gjøres beregninger for en normalsituasjon for sjiktning og en situasjon med mindre gode innlagringsforhold.

4.2. Tilrettelegging av inngangsdata

4.2.1. Hydrografi

I beregningene av innlagringsdyp og primærfortyning med *JETMIX* anvendes i første omgang vertikalprofiler av temperatur og salinitet fra 1993, for stasjon 16 i Salhusbruprojektet. Antall profiler er så stort (23 profiler med 14. dagers mellomrom) at det kan antas å dekke de vanligste meteorologiske og hydrografiske situasjoner i Sørfjorden.

De enkelte vertikalprofilene inneholder målinger av temperatur og salinitet med 1 m mellomrom ned til 29 eller 30 m dyp. For å få mest mulig nøyaktige beregninger av innlagring og fortykning med utslipp dypere enn dette har vi ekstrapolert verdiene ned til 45 m dyp, for å få gjort beregningene så realistiske som mulig.

Målingene som NIVA foretok i romjula 1999 i samband med utsetting av måleutstyr og i januar 2000 ved opptak, er også benytta i beregningene som en ekstra kontroll bl.a. på betydningen av reelle data dypere enn 30 m.

4.2.2. Data for utslippet

For hver hydrografisk situasjon (profil) er det gjort beregninger med JETMIX for flere kombinasjoner av vannmengder og utslippsdyp. **Tabell 3** gir en oversikt over dette.

Tabell 3. Oversikt over parametre for utslippet som er variert i JETMIX.

Fluks, l/s	Dyp, m	Rørdiameter, mm	Utslippsfart, m/s
60	20	200	1.9
60	30	200	1.9
60	40	200	1.9
50	35	443	0.33
200	35	443	1.3
100	35	279	1.62

4.2.3. Strømdata

For beregningene med PLUMES har vi lagt følgende dimensjonerende strømdata til grunn:

4.3. Resultater for JETMIX

Tabell 4 og **Tabell 5** gir detaljer omkring resultatene for beregningene med JETMIX.

4.3.1. Beregninger med varierende utslippsdyp

Tabell 4 sammenfatter resultatene av beregningene med NIVA*JETMIX for utslipp i 20m, 30m og 40 m dyp og med 60 l/s fluks (max timeverdi, normaldøgn). Kolonnen "DEPTH" viser innlagingsdypet (vert. senter av strålen). Vinter og vår synes å gi grunnest innlagring, men der er også noen slike tilfeller for dette seint om høsten.

Selv med utslipp så grunt som i 20 m innlagres ikke strålen grunnere enn i 7 meter. Og i de fleste tilfellene ligger innlagingsdypet for 20 m utslipp på rundt 10 m. Verdiene for "EQS" og "GRAV" gir grunneste opptrengingsdyp for senter av strålen før den synker tilbake til innlagingsdypet DEPTH. Det er noen tilfeller med teoretisk oppstigning til 1-3 m dyp ("GRAV") og dermed med en viss risiko for noe opptrenging til overflata og påvirkning der. 20 m alternativet synes derfor å framstå som et lite aktuelt alternativ.

For utslipp i 30 m er grunneste simulerte innlagring på 10.6 m (profil nr 9, uke 18) og grunneste minimumsdyp 6.2 m (samme tidspunkt). Dette peker i retning av at utslipp i 30 m dyp eller dypere med ett rør/hull gir trygghet mot opptrenging og påvirkning av Hylkjevågen.

Primærfortynningen i sentrum av strålen med innlagret avløpsvann (CENTER DILUT.) varierer både med utslippsdypet og tid (profil nr). For 20 m utslippet er den i intervallet 17-39x, mens den for dypere utslipp ligger noe høyere med maksimalt 88x for 40 m utslippet. Her kan tilføyes at gjennomsnittlig fortynning er ca. 1.5 x senterfortynningen.

4.3.2. Beregninger for utslipp i 35 m dyp

Tabell 5 viser resultater for beregninger for 35 m utslipp, med varierende utslippsmengde (50 l/s og 100 l/s) og rørdiameter.

Hovedtrekkene i resultatene er at **eksisterende rør** (Ø 279 mm) og **100 l/s** gir 11.7 m som grunneste innlagring, og verdier mellom 15 og 20 m som det typiske. I noen tilfeller skyter skyen opp til ca 6 m dyp (noen profiler i uke 3-18) før den innlagres, men det er ingen tegn til at det blir overflatepåvirkning. Fortynningen varierer mellom 25 og 61x.

For **nytt rør** (Ø 443 mm) og **50 l/s** var grunneste innlagring 13.4 m (uke 44) mens verdiene typisk lå i intervallet 15-22 m. Fortynningen var mellom 28 og 70x, og høyeste max. oppstigning var til 5.1 m (uke 18). For samme rør og **200 l/s** var grunneste innlagring 8.3 m (uke 18) mens verdiene typisk lå i intervallet 12-18 m. Høyeste/grunneste oppstigning var til 5.1 m (uke 18). Typisk fortynning for denne kombinasjonen var 25-35 x, med 20x som minimum (uke 25 og 33). 200 l/s ga 2-3 m høyere oppstigning og grunnere innlagring enn 50 l/s. Fortynningen ved innlagring avtar også ved økende fluks.

Sammenfatning av beregninger av **innlagringsdyp** (m) i sentrum av skyen med fortynnet avløpsvann) med JETMIX. Beregningene omfattet 23 situasjoner (profiler) fordelt over året 1992.

Utslippsdyp->	20 m	30 m	35 m			40 m
Vannfluks, l/s->	50	50	50	100	200	50
Ø 200 mm rør	7 - 13.5	10.6 - 21.8				16.2 - 26.6
Ø 279 mm rør	-	-		11.7-23.1		-
Ø 443 mm rør	-	-	13.4-23.5	-	8.3-21.2	-

Tabell 4. Resultater med beregninger med JETMIX, for utslipp i 20 m, 30 m og 40 m dyp med 60 l/s fluks og 200 mm rørdiameter.

PRO- FILE/ WEEK!	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NO.	HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	GRAV. (M)
1	1	40.0	.20	1.90	0	4.9	84	65	21.1	14.6	6.6	
3	2	30.0	.20	1.90	0	4.1	82	45	15.3	9.9	5.2	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.4	79	32	8.8	6.0	4.1	
2	1	40.0	.20	1.90	0	5.0	84	67	20.8	12.5	4.6	
5	2	30.0	.20	1.90	0	4.9	83	57	12.2	6.7	4.1	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.7	81	39	7.0	4.8	3.2	
3	1	40.0	.20	1.90	0	5.2	85	72	19.7	13.7	6.3	
6	2	30.0	.20	1.90	0	4.6	82	51	14.0	9.5	5.4	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.4	80	33	8.5	6.0	4.1	
4	1	40.0	.20	1.90	0	5.1	84	67	20.7	14.5	7.3	
9	2	30.0	.20	1.90	0	4.4	82	49	14.5	10.4	5.6	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.1	79	28	10.0	6.4	3.3	
5	1	40.0	.20	1.90	0	4.6	84	58	22.7	16.8	8.3	
11	2	30.0	.20	1.90	0	4.0	81	41	16.3	10.6	5.6	
	3	20.0	.20	1.90	0	2.9	79	27	10.5	6.6	1.7	
6	1	40.0	.20	1.90	0	5.7	85	83	17.6	9.9	5.3	
12	2	30.0	.20	1.90	0	5.2	83	64	11.0	7.7	5.1	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.2	81	33	8.7	6.0	3.9	
7	1	40.0	.20	1.90	0	5.9	85	85	17.0	11.6	5.0	
14	2	30.0	.20	1.90	0	4.4	83	52	13.8	8.0	3.4	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.5	80	35	8.1	4.8	2.5	
8	1	40.0	.20	1.90	0	6.1	85	88	16.2	11.8	6.8	
17	2	30.0	.20	1.90	0	4.3	83	51	14.0	9.3	5.1	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.2	79	29	9.7	6.8	4.1	
9	1	40.0	.20	1.90	0	6.2	85	85	16.6	9.9	4.7	
18	2	30.0	.20	1.90	0	5.2	84	65	10.6	6.2	3.9	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.6	82	38	7.3	5.0	2.9	
10	1	40.0	.20	1.90	0	5.5	85	78	18.4	11.6	6.2	
20	2	30.0	.20	1.90	0	4.7	83	56	12.7	8.2	5.7	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.3	80	33	8.8	6.5	4.9	
11	1	40.0	.20	1.90	0	4.9	84	63	21.4	15.3	7.1	
23	2	30.0	.20	1.90	0	4.1	81	44	15.7	10.0	4.7	
	3	20.0	.20	1.90	0	3.2	79	30	9.5	6.0	3.1	
12	1	40.0	.20	1.90	0	3.9	83	48	25.1	21.1	14.1	
25	2	30.0	.20	1.90	0	2.8	76	23	21.8	17.3	11.7	
	3	20.0	.20	1.90	0	2.4	72	17	13.5	10.8	5.8	

EXTREMAL DEPTHS:- EQS. : MIXING CONTINUED AFTER NEUTRAL POINT
GRAV.: NO MIXING, ONLY GRAVITY AFTER NEUTRAL POINT

Tabell 2, forts.

JET DATA AFTER CONTRACTION						RESULTS					
FILE/ WEEK						NEUTRAL	POINT	EXTREMAL DEPTHS			
NO.	HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	GRAV. (M)
13	1	40.0	.20	1.90	0	4.4	84	55	23.4	18.5	11.6
27	2	30.0	.20	1.90	0	3.3	79	32	19.0	14.7	9.6
	3	20.0	.20	1.90	0	2.6	75	20	12.6	9.8	5.5
14	1	40.0	.20	1.90	0	4.9	84	65	21.2	15.2	8.1
29	2	30.0	.20	1.90	0	4.0	81	43	16.0	11.5	6.3
	3	20.0	.20	1.90	0	3.0	78	27	10.5	7.3	4.1
15	1	40.0	.20	1.90	0	4.6	84	60	22.2	17.8	12.2
30	2	30.0	.20	1.90	0	3.3	80	32	18.9	15.3	9.9
	3	20.0	.20	1.90	0	2.5	74	19	12.8	9.8	5.4
16	1	40.0	.20	1.90	0	3.7	82	42	26.6	22.1	15.0
33	2	30.0	.20	1.90	0	3.0	76	24	21.1	16.9	9.9
	3	20.0	.20	1.90	0	3.1	76	26	10.4	7.0	4.0
17	1	40.0	.20	1.90	0	4.0	82	45	25.6	20.8	11.7
35	2	30.0	.20	1.90	0	3.6	78	33	18.4	13.5	7.7
	3	20.0	.20	1.90	0	3.0	78	26	10.6	7.4	3.2
18	1	40.0	.20	1.90	0	4.5	82	52	23.7	17.9	10.3
36	2	30.0	.20	1.90	0	3.9	80	38	16.8	12.6	6.4
	3	20.0	.20	1.90	0	3.4	77	29	9.5	6.4	4.2
19	1	40.0	.20	1.90	0	5.1	84	65	20.9	15.8	8.3
39	2	30.0	.20	1.90	0	3.9	81	40	16.7	11.4	4.6
	3	20.0	.20	1.90	0	3.4	78	31	9.1	5.4	2.6
20	1	40.0	.20	1.90	0	5.0	84	63	21.3	16.0	8.7
41	2	30.0	.20	1.90	0	3.9	81	41	16.4	11.4	6.5
	3	20.0	.20	1.90	0	3.1	78	28	10.0	7.6	3.4
21	1	40.0	.20	1.90	0	5.8	85	84	17.2	10.4	5.6
44	2	30.0	.20	1.90	0	4.8	83	59	12.0	8.4	4.5
	3	20.0	.20	1.90	0	3.1	80	30	9.5	6.2	1.1
22	1	40.0	.20	1.90	0	5.4	84	74	19.1	11.1	4.5
47	2	30.0	.20	1.90	0	5.0	83	60	11.6	7.5	3.7
	3	20.0	.20	1.90	0	3.5	80	35	8.2	4.8	2.3
23	1	40.0	.20	1.90	0	5.6	85	79	18.1	11.4	7.2
49	2	30.0	.20	1.90	0	4.7	83	56	12.8	9.1	6.5
	3	20.0	.20	1.90	0	3.1	79	30	9.7	7.8	4.7

EXTREMAL DEPTHS:- EQS. : MIXING CONTINUED AFTER NEUTRAL POINT
 - GRAV.: NO MIXING, ONLY GRAVITY AFTER NEUTRAL POINT

Tabell 5. Resultater med beregninger med JETMIX, for utslipp i 35 m dyp med 443 mm rørdiameter og h.h.v. 50 l/s ("HOLE NR 1") og 100 l/s ("HOLE NR 2"), samt for 279 mm rør og 100 l/s.

PRO- FILE/ WEEK	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NO.	HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	GRAV. (M)
1	1	35.0	.44	.33	0	4.4	88	55	16.9	12.0	6.0	
3	2	35.0	.44	1.30	0	5.7	84	35	13.7	7.3	3.8	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.1	84	45	16.2	10.1	4.9	
2	1	35.0	.44	.33	0	4.9	88	64	15.0	8.8	4.5	
5	2	35.0	.44	1.30	0	6.6	85	43	9.9	5.3	3.0	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.8	84	55	13.3	6.8	3.8	
3	1	35.0	.44	.33	0	4.1	88	53	17.6	11.3	5.5	
6	2	35.0	.44	1.30	0	5.9	85	37	12.7	6.9	3.8	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.0	84	45	16.4	9.5	4.6	
4	1	35.0	.44	.33	0	4.3	88	54	17.2	11.7	6.4	
9	2	35.0	.44	1.30	0	5.9	85	36	12.9	8.1	3.5	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.0	84	45	16.4	10.5	4.9	
5	1	35.0	.44	.33	0	3.9	88	46	18.9	13.1	6.9	
11	2	35.0	.44	1.30	0	6.0	84	35	13.2	8.9	2.8	
	3	35.0	.28	1.62	0	4.6	83	39	18.3	11.1	4.5	
6	1	35.0	.44	.33	0	5.0	89	70	14.1	8.4	5.2	
12	2	35.0	.44	1.30	0	6.4	85	44	9.8	6.2	3.6	
	3	35.0	.28	1.62	0	6.0	85	59	12.2	7.4	4.6	
7	1	35.0	.44	.33	0	4.7	89	66	14.8	9.6	4.1	
14	2	35.0	.44	1.30	0	6.0	85	40	11.8	5.5	1.9	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.3	85	52	14.3	7.9	3.1	
8	1	35.0	.44	.33	0	4.6	89	66	14.9	10.3	5.8	
17	2	35.0	.44	1.30	0	5.7	85	38	12.6	7.3	3.4	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.3	85	52	14.3	8.9	4.7	
9	1	35.0	.44	.33	0	5.0	89	71	13.7	7.1	4.1	
18	2	35.0	.44	1.30	0	6.8	85	47	8.3	5.1	2.7	
	3	35.0	.28	1.62	0	6.1	85	61	11.7	6.1	3.5	
10	1	35.0	.44	.33	0	4.8	88	66	14.8	9.5	6.0	
20	2	35.0	.44	1.30	0	6.1	85	40	11.4	6.7	4.6	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.7	84	55	13.4	8.1	5.4	
11	1	35.0	.44	.33	0	4.2	88	51	17.9	12.2	5.9	
23	2	35.0	.44	1.30	0	5.8	84	35	13.4	7.8	3.2	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.0	83	43	16.8	10.3	4.4	
12	1	35.0	.44	.33	0	2.8	88	29	23.4	19.2	12.7	
25	2	35.0	.44	1.30	0	4.0	82	20	21.2	15.1	7.8	
	3	35.0	.28	1.62	0	3.5	81	25	23.1	18.0	10.8	

Tabell 3, forts.

PRO- FILE/ WEEK	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NO.	HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EXTREMAL EQS. (M)	GRAV. (M)
13	1	35.0	.44	.33	0	3.4	88	39	20.8	16.3	10.7	
27	2	35.0	.44	1.30	0	4.8	83	26	17.9	12.6	6.6	
	3	35.0	.28	1.62	0	4.1	82	33	20.2	15.0	9.0	
14	1	35.0	.44	.33	0	4.2	88	52	17.8	13.1	7.4	
29	2	35.0	.44	1.30	0	5.4	84	33	14.7	9.2	4.1	
	3	35.0	.28	1.62	0	4.9	84	43	17.0	11.6	5.9	
15	1	35.0	.44	.33	0	3.6	88	43	20.0	16.6	11.2	
30	2	35.0	.44	1.30	0	4.5	84	25	18.4	13.1	6.2	
	3	35.0	.28	1.62	0	4.2	83	35	19.6	15.5	9.3	
16	1	35.0	.44	.33	0	2.9	87	28	23.5	19.4	12.2	
33	2	35.0	.44	1.30	0	4.1	81	20	21.1	15.1	5.6	
	3	35.0	.28	1.62	0	3.6	80	25	23.1	18.2	9.9	
17	1	35.0	.44	.33	0	3.2	88	32	22.3	16.9	8.8	
35	2	35.0	.44	1.30	0	4.9	82	25	18.0	11.2	4.1	
	3	35.0	.28	1.62	0	3.9	81	29	21.7	15.3	7.1	
18	1	35.0	.44	.33	0	3.9	88	43	19.2	14.5	8.2	
36	2	35.0	.44	1.30	0	5.3	83	29	15.8	10.3	4.1	
	3	35.0	.28	1.62	0	4.7	82	37	18.6	13.3	6.1	
19	1	35.0	.44	.33	0	4.0	88	47	18.4	13.4	6.1	
39	2	35.0	.44	1.30	0	5.3	84	30	15.4	8.4	2.4	
	3	35.0	.28	1.62	0	4.7	83	40	17.9	11.7	4.0	
20	1	35.0	.44	.33	0	3.9	88	46	18.8	13.5	7.4	
41	2	35.0	.44	1.30	0	5.3	84	31	15.4	9.0	3.4	
	3	35.0	.28	1.62	0	4.8	83	40	17.6	11.9	6.0	
21	1	35.0	.44	.33	0	5.2	89	72	13.4	9.3	5.5	
44	2	35.0	.44	1.30	0	6.1	85	40	11.2	6.7	.6	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.9	85	58	12.4	8.3	3.8	
22	1	35.0	.44	.33	0	5.0	88	67	14.3	8.8	4.3	
47	2	35.0	.44	1.30	0	6.3	85	42	10.5	5.5	2.0	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.9	84	56	12.7	7.4	3.3	
23	1	35.0	.44	.33	0	5.0	88	69	14.0	9.9	7.2	
49	2	35.0	.44	1.30	0	5.9	85	38	12.1	8.1	4.2	
	3	35.0	.28	1.62	0	5.7	84	55	13.3	9.0	6.0	

EXTREMAL DEPTHS:- EQS. : MIXING CONTINUED AFTER NEUTRAL POINT
 - GRAV.: NO MIXING, ONLY GRAVITY AFTER NEUTRAL POINT

4.4. Beregninger med PLUMES og effekt av strøm

For sammenfattende beregninger av spredning og fortykning med effekt av strømmen har vi valgt en profil som gir relativt dårlig (grunn) innlagring (profil nr 9, uke 18, april/mai 1992). Strømforholdene i januar (2000) som er målt, samsvarer ikke nødvendigvis helt med forholdene i april/mai, men er det beste utgangspunktet vi har (ideelt sett burde vi ha målt strømmen også i april/mai). Beregningene er gjort for midlere strømstyrke fra ADP-målingene fra Hylkje som presentert i forrige kapittel. De øvrige parametre er som for beregningene med JETMIX, med 100 l/s, og Ø279 mm rør.

Innlagringsdypet ble beregnet til 9.0 meter som er om lag 2 m grunnere enn for JETMIX, men som likevel gir god avstand til overflaten. Fortyningen er 144 x, som er høyere enn for JETMIX (og som delvis kan skyldes effekt av strømmen. Etter innlagring transporteres avløpsvannet med strømmen. Modellresultatene (med "Constant Eddy Diffusion") tilsier at etter 50 minutter er avløpsskya transportert 500 m nedstrøms og ytterligere fortyknet til 245 x. I praksis vil dette si at skya enten transporteres innover eller ut over i fjorden. Svak nettostrøm og vekslende men svak tidevannsstrøm på utslippsstedet kan medføre at det skjer en viss opphoping og spredning mot midten av fjorden.

4.5. Beregninger med nye hydrografidata

For målingene 27. desember 1999 og 24. januar 2000 har vi gjort beregninger med JETMIX tilsvarende kjøringene med utslipp i 35 m dyp med målingene fra 1992 (avsnitt 3.3.2). Resultatene er synt i **Tabell 6**. Innlagringsdypene varierte fra 12.9 meter til 15.5 meter, avhengig av utslippskonfigurasjon og hydrografi. Høyeste oppstigning var til 7.6 meter. Verdiene er ca 1 meter mindre (d.v.s. litt grunnere innlagring) enn det målingene fra januar 1992 ga, men denne forskjellen endrer ikke hovedtrekkene i resultatene fra foregående beregninger.

Tabell 6. Resultater for beregninger med JETMIX med de nye profilene fra 27. desember 1999 (profil nr 1) og 24. januar, 2000, med inngangsdata for utslippet som i **Tabell 5**.

PRO- ! JET DATA AFTER CONTRACTION !						RESULTS						
FILE !						NEUTRAL		POINT		EXTREMAL		
NO. !	HOLE	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE !	WIDTH	ANGLE	CENTER	DEPTH			
! NR.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	! (M)	DEG.		DILUT.	(M)	EQS.	GRAV.	
! !	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
1 !	1	35.0	.44	.33	0 !	4.4	89	63	15.6	12.4	6.8	
27/12 !	2	35.0	.44	1.30	0 !	5.2	85	33	14.6	9.4	<1.0	
! 3	35.0	.28	1.62	0 !	5.0	85	49	15.3	11.4	4.2		
2 !	1	35.0	.44	.33	0 !	4.7	88	61	15.5	10.9	6.3	
! 2	35.0	.44	1.30	0 !	5.7	85	36	12.9	7.6	3.5		
24/01 !	3	35.0	.28	1.62	0 !	5.4	84	50	14.7	9.5	5.0	

EXTREMAL DEPTHS:- EQS. : MIXING CONTINUED AFTER NEUTRAL POINT
- GRAV.: NO MIXING, ONLY GRAVITY AFTER NEUTRAL POINT

4.6. Merknad til bruk av hydrografiske inngangsdata

Vi har gjort simuleringer med hydrografiske data fra Sørfjorden for mange forskjellige tidspunkt og situasjoner. Det kan være fristende med så store datamengder å ta en "snarvei" ved å komprimere inngangsdataene og lage "middelsituasjoner" f.eks. pr. sesong for hydrografi. Som vi skal se nedenfor,

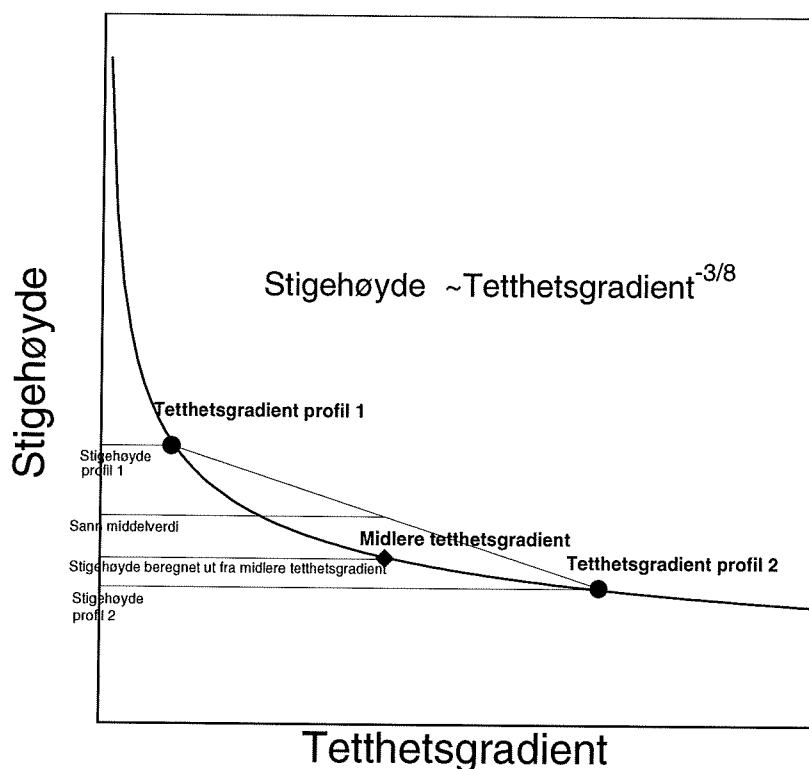
gir dette feilaktige resultater; de beregningsresultatene som en slik middelsituasjon gir, stemmer ikke med middelverdien for resultatene for hver enkelt profil.

Den nevnte "middel" vannmassen vil kanskje aldri kunne forekomme naturlig, og det er ikke noen lineær sammenheng mellom densitetsfordelingen (sjikting) i fjorden og stighøyde/innlagringsdyp for utslippet. Stighøyde for et neddykket utslipp kan gis ved formelen:

$$h_B \approx 3.8 \frac{B^{1/4}}{(g\varepsilon')^{3/8}} \quad (\text{Fischer et. al, 1979})$$

hvor $B = g_0 Q$ (oppdriftsfluks) hvor g_0 er redusert tyngde og Q er utslippsfluks. ε' er tetthetsgradienten.

Figur 15 illustrerer beregnet stighøyde som funksjon av tetthetsgradient. Figuren viser at en systematisk vil få for dyp stighøyde om en bruker midlere tetthetsgradient som beregningsgrunlag. For å beregne middelverdiene for maksimal stighøyde og innlagring må disse først beregnes for hver enkelt situasjon. Deretter kan man beregne middelverdien.



Figur 15. Prinsippskisse av stighøyde versus tetthetsgradient for et neddykket utslipp.

5. SLUTTKOMMENTARER

5.1. Om resultatene

Strømmålingene med ADP instrumentet ga et omfattende datamateriale. Vi har kun fokusert på noen nøkkelparametre for problemstillingen, og ikke sett i detalj på materialet, som kan inneholde mange interessante resultater og som kan vurderes nærmere i andre sammenhenger.

Vi har gjennomført beregninger i hovedsak på data fra 1992. Vi har ikke gjennomført noen form for analyse av dette materialet med omsyn til tids-representativitet, men antar at det ikke ligger langt fra å gjenspeile forholdene i et normal-år. Beregningene foretatt med de nye målingene ga tilnærmet samme resultat som data (profiler) fra samme tidsrom i 1992. Det kan imidlertid ikke utelukkes at flytebrua Nordhordlandsbrua kan ha medført vise permanente endringer i sjiktning etc.

Modellsimuleringene for utslippet i 35 m dyp ga ikke noe resultat som tyder på risiko for opptrenging av avløpsvann til overflaten. Teoretisk sett kan det være situasjoner i fjorden som målingene ikke har oppfanget og som kan gi slik ugunstig effekt i korte perioder. Vi anser dette som lite sannsynlig og at det i så fall kun vil utgjøre korte og sjeldne perioder.

Flytestoffer eller lette komponenter i utslippet som stiger til overflaten, vil kunne medføre en synlig forurensningsrisiko. Våre forutsetninger og opplysninger bygger på at flytestoffer ikke kommer ut i sjøen gjennom utslippet.

5.2. Forslag til oppfølgende undersøkelser

En biologisk undersøkelse før utslippet etableres vil være nyttig for kommunen og Fylkesmannens Miljøvernavdeling som dokumentasjon på før-tilstanden. I tillegg til en gjennomgang av eksisterende biologiske og kjemiske data, kan det gjennomføres en biologisk strandsonebefaring. Dette kan suppleres med vannprøver.

Ved at innlagring vil skje i eller dypere enn sprangsjiktet kan det neppe forventes effekter i retning av merkbar økning i algevekst i nærområdet til utslippet. Men sammen med bidrag fra eksisterende og eventuelle nye kilder kan en ikke utelukke målbare effekter verken på vannkvaliteten i øvre lag eller på oksygenforholdene i dypvannet. Dette vil kunne simuleres ved hjelp av NIVAs økologiske fjordmodell (Bjerkeng og Magnusson 1999) eller andre modeller.

Andre effekter kan også være aktuelle å vurdere, særlig ettersom resipienten Sørfjorden også huser flere oppdrettsanlegg som er avhengig av god vannkvalitet. Det kan her gjøres fellesstudier som omfatter spredning og nedbryting/omdanning av bakterier, næringssalter og annen forurensing fra utslippet. Det kommer stadig ny kunnskap til bl.a. om overlevelse av sykdomsbakterier i sjøen, og som vil kunne modelleres sammen med realistiske fysikk- og kjemidata for fjorden.

For næringssalter kan en anta at utslippet vil bidra lite i forhold til oppdrettsanleggene. Dette kunne dokumenteres ved å lage en helhetlig framstilling av bidragene fra utslipp fra ulike kilder i fjordsystemet, og så eventuelt vurdere effektene av disse m.h.t. eutrofiering.

En mer fullstendig beskrivelse av strømforholdene i hele fjordsystemet og der bidrag fra alle større forurensingskilder er med, vil være svært nyttig i forhold til framtidig forvaltning og kontroll av denne i mange henseende viktige fjorden. Her arbeides det med modeller og studier på Geofysisk institutt, UiB og andre steder som kan gi nyttig informasjon.

Det hydrografiske datamaterialet som ble innsamlet av Geofysisk institutt i årene 1988-1993 har ikke vært gjenstand for noen omfattende statistisk analyse. Det har heller ikke vært gjennomført noen oppfølgende etterundersøkelser, etter at Nordhordlandsbrua stod ferdig. Vi har derfor ikke noe eksakt grunnlag for å si at før-situasjonen og situasjonen nå i fjorden er den samme, eller om brua kan ha medført endringer i sjiktning etc. Dette bør også følges opp, både teoretisk og med nye målinger.

6. REFERANSER

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

Bjerkeng, B. og A. Lesjø 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. PRA 5.7. NIVA rapport O-126/73. Oslo.

Bjerkeng, B. og J. Magnusson 1999: Marinøkologisk vurdering av utslippssted-og innlagringsdyp for utslippet til Bekkelaget renseanlegg. Fase 2. Modellkjøringer og vurderinger. Rapp. Nr. 3996-99, NIVA, Oslo, 51 s.

Fischer H.B., List E.J., Koh R.C.Y., Imberger J., Brooks N. H. 1979: Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic Press, Inc. San Diego, California 92101, side 342-345.

Golmen, L.G., J. Molvær og K. Sørensen 1995: Sentrum Nord/Eidsvåg hovedavløpsanlegg. Vurdering av vannutskifting ved alternative utslippslokaliteter. Rapp. Nr. 3293, NIVA Bergen/Oslo, 70 s.

MILJØPLAN 1989: SALHUSBRUPROSJEKTET. Resipientundersøkelser av fysiske forhold. Datarapport Nr 1, 2. halvår 1988. Rapp. Miljøplan, Trondheim, mars 1989, 14 s + vedlegg.

Nortek AS (1996). ADP Operation Manual. Firmware Version 2.0, 55s.

SeaBird Electronics, Inc, Bellevue, Washington, USA (1997). SeaCat SBE 19-03, Conductivity, Temperature and Depth recorder. Operating manual.