

RAPPORT LNR 4059-99

**Vannutskifting i  
Søragapet/Sørasundet**

**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

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

**Akvaplan-NIVA A/S**

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

Tittel Vannutskiftning i Søragapet/Sørásundet	Lopenr. (for bestilling) 4059	Dato 30.6.99
	Prosjektnr. Undernr. 98074	Sider Pris 27
Forfatter(e) Einar Nygaard Jan Magnusson	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Eigersund kommune	Oppdragsreferanse Magne Torgersen
---------------------------------------	--------------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Det er gjennomført strøm- og hydrografiske undersøkelser i Sørásundet/Sørágapet ca. 1 måned i mai-juni 1998, for å se på muligheten for spredning av fortynnet avløpsvann fra planlagt dypvannsutslipp i Sørágapet, inn mot Sørásundet og terskelfjorden innenfor Fugleodden. Undersøkelsene har vist at det er god vannutskiftning i området. Resultatene viser også at en slik transport er sannsynlig, spesielt i situasjoner når det fortynnede avløpsvannet innlagres mellom 5-13 meters dyp, hvor strømmene ofte går mot nord. For å redusere denne muligheten, anbefales det å legge utslippet dypere enn 50 meter og fortrinnsvis ned til 60 meters dyp. Ved utslipp på 60 meters dyp vil avløpsvannet innlagres på dyp større enn 25 m (med primærfortynning opp mot 100 ganger) det meste av året og bare episodisk bringes mot overflatelaget (&lt; 10 % av året). I slike tilfeller vil imidlertid primærfortynningen være meget høy (ca. 200 ganger) og gi liten belastning på indre områder av Sørásundet. Utslippet eksakte posisjon er ikke kritisk innenfor det aktuelle området sør-sørvest for Tingelset.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Strømundersøkelser</li> <li>2. Hydrografi</li> <li>3. Kommunalt utslipp</li> <li>4. Eigersund</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Current measurments</li> <li>2. Hydrography</li> <li>3. Municipal sewage</li> <li>4. Eigersund</li> </ol>
---	--



Jan Magnusson  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3663-5



Bjørn Braaten  
Forskningssjef

# **Vannutskiftning i Sørgapet/Sørasundet**

## Forord

I forbindelse med prosjekteringen av et nytt renseanlegg med utslipp til Sørgapet, er Norsk institutt for vannforskning bedt av Eigersund kommune å gjennomføre et strømmålingsprogram.

Programmet ble gjennomført mai/juni i 1998 og foreliggende rapport gir en beskrivelse av resultatene.

Et takk til båtfører Kenneth Hestnes for assistanse under feltarbeid.

Oslo, 30.6 1999

*Jan Magnusson*

---



# Innhold

<b>1. INNLEDNING</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Områdebeskrivelse	7
1.3 Målsetning	8
1.4 Tidligere undersøkelser	8
<b>2. INSTRUMENTER OG METODER.</b>	<b>8</b>
2.1 Strømmåling	9
2.1.1 DCM12	9
2.1.2 Nortek ADP	10
2.2 Vannstand	10
2.3 Vind og lufttrykk	10
2.4 Hydrografi	10
2.5 Elvetilførsler	10
2.6 Måleposisjoner og perioder	10
<b>3. RESULTATER</b>	<b>12</b>
3.1 Hydrografi og avløpsvannets innlagringsdyp og primærfortynning.	12
3.2 Vannutskiftning og strømforhold.	19
3.3 Avløpsvannet spredning etter primærfortynning.	25
3.4 Konklusjoner.	26
<b>4. LITTERATUR.</b>	<b>27</b>

## Sammendrag

I forbindelse med Eigersund kommunes sanering av gamle kloakkutslipp til Sørasundet og bygging av nytt rensanlegg med utslipp til Søragapet (ca. 15 000 pe.) har NIVA på oppdrag for kommunen utført hydrografiske målinger og innlagringsberegninger som grunnlag for deres valg av utslippspunkt. Kommunens målsetning med å lede avløpsvannet ut i Søragapet er å avlaste belastningen på Sørasundet. Tidligere undersøkelser har vist at Søragapet, som står i direkte kontakt med kystvannet, har god vannutskifting og er en god resipient, men samtidig var det fare for uønsket gjennomslag til overflaten eller transport av avløpsvannet tilbake til Sørasundet. Kommunen ønsket derfor nye beregninger av avløpsvannets innlagring og spredning.

Søragapet og Sørasundet står i direkte forbindelse med hverandre uten noen egentlig terskel. Sørasundet har en terskel på 12,5 m ved Fugleodden og har forbindelse til Nordresundet gjennom Nysundet med et terskeldyp på 4 meter.

For å undersøke strømforholdene i Søragapet/Sørasundet ble det satt ut strømmålere i to posisjoner – en i Søragapet og en i Sørasundet, samt temperatur/saltholdighets-sensorer sammen med strømmålerne. Strømmen ble observert med ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) i begge posisjoner. Det generelle strømmønnet i området er avhengig av ferskvannstilførsel, vind og tidevann i tillegg til de strømmen som genereres av variasjoner i kystvannets tetthet. De klart viktigste drivkreftene i overflatelaget er vind og ferskvannstilførsel, mens vind og kystvannets tetthetsvariasjoner dominerer vannbevegelsene i dypere lag. I observasjonsperioden 14. mai – 18. juni 1998, ble vannmassene i Søragapet/Sørasundet utskiftet omtrent en gang pr. uke. Vindforholdene under måleperioden var omtrent normale for en sommersituasjon, hvilket skulle tilsi at vannets oppholdstid i en sommerperiode med lav ferskvannstilførsel er ca. en uke. Med dominerende nordlige vinder var overflatestrømmen i hovedsak sørlig, med en kompensasjonsstrøm mot nord i dybdeintervallet 5 - 13 meter i sørlige del av Sørasundet. I de dypere vannlag i Sørasundet var strømmen svakere, men noe oftere sørlig enn nordlig. I Søragapet var det dominerende sørlig strøm ned til ca. 10 meter og nordlig strøm fra ca. 16 til 24 meter. Dypere var middelstrømmen på tvers av nord-sør lengderetning. I måleperioden ble det registrert periodisk innstrømming av saltare dypere vann til Sørasundet (med utgående strøm i overflaten). Dette var perioder med dominerende vest- og nordavinder. Ved sønnavind og østavind snur strømmen i dypere vannlag (> ca. 20 m) mot sør (ut av Sørasundet), mens lettere overflatevann ned til ca. 10 m dyp strømmer mot nord.

Ved innlagring av fortennet avløpsvann mellom 15 og 25 m vil avløpsvannet spres med dominerende nordlige strømretninger inn i Sørasundet. Ved innlagring mellom 5 og 12 meters dyp foreligger det en klar risiko for at deler av dette vannet i perioder kan transporteres inn i fjordområdet innenfor terskelen på 12.5 meters dyp ved Fugleodden.

Kystvannets tetthetsvariasjoner dominerte vannbevegelsene i dypere lag i Søragapet og variasjonene målt i Søragapet samvarierer i stor grad med observasjoner gjort i kystvannet ved Lista. Ved beregninger av fortytning og innlagringsdyp var det derfor mulig å bruke data fra en lang observasjonsserie fra kystvannet ved Lista, i tillegg til målingene utført i Søragapet. Beregningene av fortytning og innlagringsdyp er basert på til sammen 80 observasjoner, inkludert månedlige observasjoner i kystvannet fra 1990-96.

Ved utslipp på 40 meters dyp vil innlagringsdypet variere fra 30 meters dyp til overflaten, med største innlagringsdyp sommerstid (ca. 20 m,  $\pm 10$  m). Primærfortynningen på innlagringsdypet varierer fra 20 til over 100 ganger, med den høyeste fortytningen når det fortynnede avløpsvannet tilføres

overflatelaget. Innlagring vil således kunne skje i vannmasser som vil kunne transporteres inn i Sørásundet og i enkelte tilfeller risikeres en videre transport inn over terskelen ved Fugleodden.

Ved utslippsdyp på 50 meter vil innlagringsdypet i store trekk bli 10 meter dypere sammenliknet med utslipp til 40 m dyp. Risikoen for innlagring i overflatelaget (< 10 m dyp) og gjennomslag til overflaten, er også mindre (< 15% av tiden), og spesielt sommerstid (<5% av tiden). Ved gjennomslag til overflaten vil imidlertid fortynningen være høy (primærfortynning > 150 ganger). Gjennomsnittlig innlagringsdyp sommer og høst vil være 20 til 30 m dyp (med primærfortynning: 40-80 ganger) med noe større vertikal spredning om høsten. Grunnest innlagring (i gjennomsnitt ca. 15 m dyp) ble funnet for vintermånedene januar og februar og episodisk i september, hvor sjiktningen i vannmassene er liten. Ved utslipp til 50 m dyp vil avløpsvannet transporteres inn i Sørásundet med periodiske nordlige strømmer. Som ved utslipp på 40 meters dyp, vil fortynnet avløpsvann kunne tilføres områdene innenfor Fugleodden, om enn i liten grad og sterkt fortynnet.

Ved utslipp på 60 meters dyp vil avløpsvannet innlagres på dyp større enn 25 m (primærfortynning: 100 ganger) det meste av året. Grunnere innlagring vil igjen forekomme i januar-februar og episodisk i september måned. I 7 av 80 tetthetsprofiler fikk en teoretisk innlagring grunnere enn 10 m, men med meget stor primærfortynning. Ved innlagring grunnere enn 25 m, i januar og februar måned, vil hovedstrømretningen i Sørásundets dypvann mest sannsynlig være sørlig og derfor i liten grad bli transport inn i sundet. For de øvrige måneder vil avløpsvannet i ca. 50% av tiden innlagres dypere enn terskeldypet ved Vibberodden (og ca. 90% av tiden dypere enn terskeldypet inn til Skjevollsvik). Det beste utslippsdypet vil således ut fra denne betraktning være utslipp på 60 meters dyp.

Strømforholdene i området er slik at fortynnet avløpsvann vil kunne spres i hele området Sørágapet/Sørásundet uansett utslippsdyp. Forskjellen i de ulike utslippsalternativene er i første rekke dypere innlagring ved dypere utslippsdyp og derved vil antallet episoder med innlagring i overflatelaget reduseres likesom primærfortynningen øke i tilfeller av overflatelagsinnlagring. Risikoen for en videre episodisk transport inn over terskelen ved Fugleodden vil også avta med økende utslippsdyp. Det anbefales derfor at utslippet legges dypere enn 50 meter og fortrinnsvis ned til 60 meters dyp. Utslippets eksakte posisjon er ikke kritisk innenfor det aktuelle området sør-sørvest for Tingelset.

Fortynnet avløpsvann vil uansett utslippsdyp strømme inn i Sørásundet. Med en oppholdstid på disse vannmasser på ca. 1 uke vil oksygenkonsentrasjonen i en ekstremsituasjon ved innlagring under fotosyntesesonen kunne reduseres med ca. 35 %, sannsynligvis mindre ettersom ikke alt fortynnet avløpsvann bare vil belaste Sørásundet, men også spres i Sørágapet.

Med en overføring av avløpsvann fra det belastede området nord for Fugleodden vil oksygenforholdene i dette området forbedres. Det anbefales likevel at oksygenforholdene i området, inklusive Sørágapet/Sørásundet, blir overvåket og at overvåkingen startes i god tid før det nye utslippet blir tatt i bruk.

# 1. Innledning

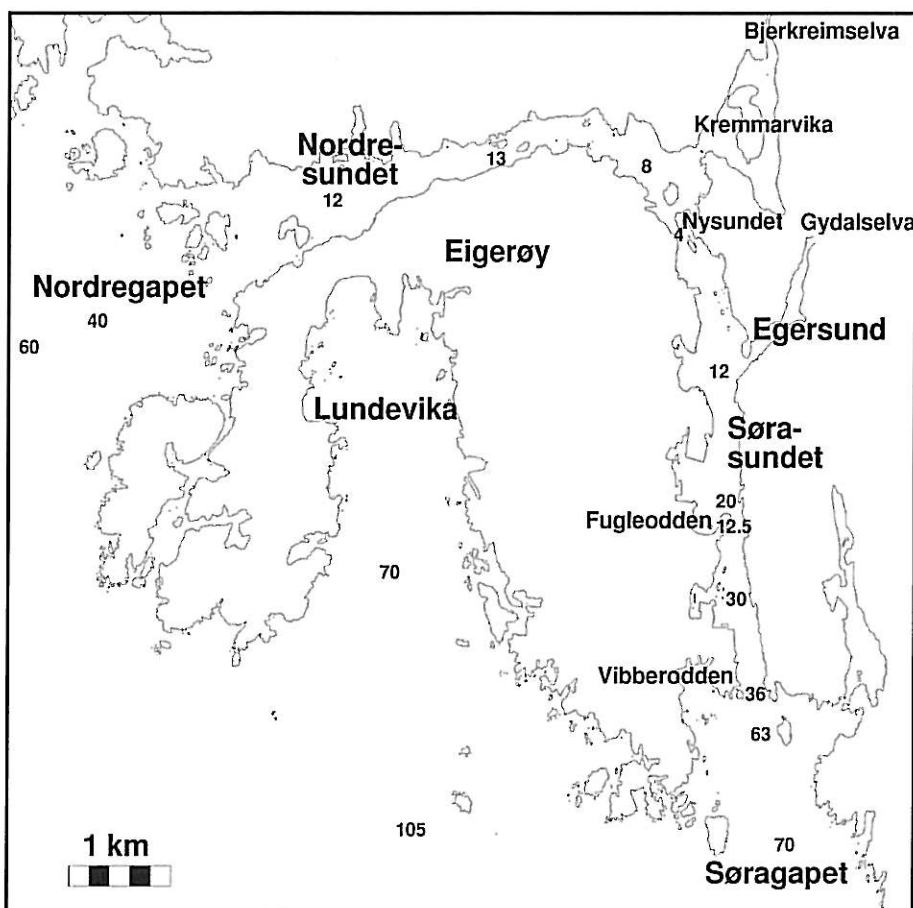
## 1.1 Bakgrunn

Eigersund kommune skal sanere gamle kommunale kloakkutslipp og samle kloakken til et nytt renseanlegg. Det er planlagt å plassere kloakkrenseanlegget på Hestnes med utslipp til Sørgapet sør for Tingelset. Anleggets størrelse vil være ca. 15 000 p.e. NIVA har hatt i oppdrag for Eigersund kommune å måle og beskrive strømforhold og hydrografi i Sørásundet og Sørgapet.

## 1.2 Områdebeskrivelse

Sørásundet munner ut i Sørgapet som ligger åpent mot Nordsjøen. Sørgapet har dyp ned mot 70 meter og har ingen markert terskel ut mot Nordsjøen. I Sørásundet skrår bunnen fra 12,5 meter ved Fugleodden til ca. 50 meter ved utløpet til Sørgapet. På nordsiden av Fugleodden har en maksimaldyp på 25 meter, mens dypet stort sett er 10-15 meter (Figur 1). Sørásundet har forbindelse til Nordresundet gjennom Nysundet som er ca. 80 meter bredt og som har et terskeldyp på 4 meter. Nordresundet munner ut i Nordregapet som skrår nedover mot Nordsjøen uten noen markert terskel.

Ferskvannstilførselen i området kommer med Bjerkreimselva som munner ut i Kremmarvika og med Gydalselva som munner ut i Eigersund havn.



**Figur 1.** Kart over Eigersund havn, Eigerøy og nærliggende område. Tallene viser bunndyp i meter.

### 1.3 Målsetning

Målsetning var å kartlegge strømforholdene i systemet Sørøst-Sørøst over en avgrenset periode og gi en vurdering av vannutskiftningen i Sørøst-Sørøst på grunnlag av observasjonene. I den grad det er mulig vil vannbevegelsene bli vurdert generelt, basert på vinddata, ferskvannstilførsler og variasjoner i kystvannet.

### 1.4 Tidligere undersøkelser

Eigersund kommune har i dag en rekke kommunale utslipp til Sørøst (fra Nysundet til Vibberodden). Avløpene representerer ca. 13 000 p. e. Det er også en rekke andre forurensningskilder i området. Det er 5 større fyllinger med avrenning til sjøen, 5 bunkrings-/tankanlegg, 3 mekaniske verksted, ett skipsverft, 5 båtslipper og mer diffuse industrirelaterte kilder som plastreparasjon- og sveiseverksted, sildeolje/mel fabrikker, not og trålverksted og annen fiskeriindustri.

Området mellom Nysundet (ved Asperøy) og Fugleodden ble i 1983 klassifisert som sterkt forurenset på grunnlag av bløtbunnsfaunaundersøkelser (Rygg, 1986). Undersøkelsen antyder at hovedtransporten av vann i sundet går fra Sørøst mot Nordregapet. Det vil si at et utslipp til Sørøst kan ha innvirkning på miljøforholdene i sundet.

Bunnsedimenter ble undersøkt m.h.t. miljøgifter på tre stasjoner i Eigersund havneområdet i 1994 som del av Statens forurensningstilsyns (SFT) sonderende undersøkelser i norske havner og utvalgte kystområder (Koniczny og Juliussen 1995). Sedimentene i indre havneområde var markert til sterkt forurenset med tungmetaller og klororganiske forbindelser.

NIVA (Moy, m.fl. 1997a) gjennomførte et 1-årig måleprogram i Sørøst og Sørøst 1996. Det ble konkludert med at området hadde stor næringstilførsel men at god vannutskiftning ga området høy kapasitet. Resultatene tydet ikke på at det hadde vært oksygenmangel i løpet av de siste årene. Det ble foretatt innlagrings- og fortynningsberegninger på det planlagte utslippet til Sørøst og konkludert med at utslippet ikke bør plasseres grunnere enn 40 m dyp for i størst mulig grad å unngå innlagring i de øvre planktonproduserende vannlag i produksjonsperioden (sommerhalvåret). Generelt ville et utslipp til 40 meters dyp innlagres dypere enn 20 m. Episodiske hendelser viste innlagring grunnere enn 10 meter, men da med høy fortykning.

## 2. Instrumenter og metoder.

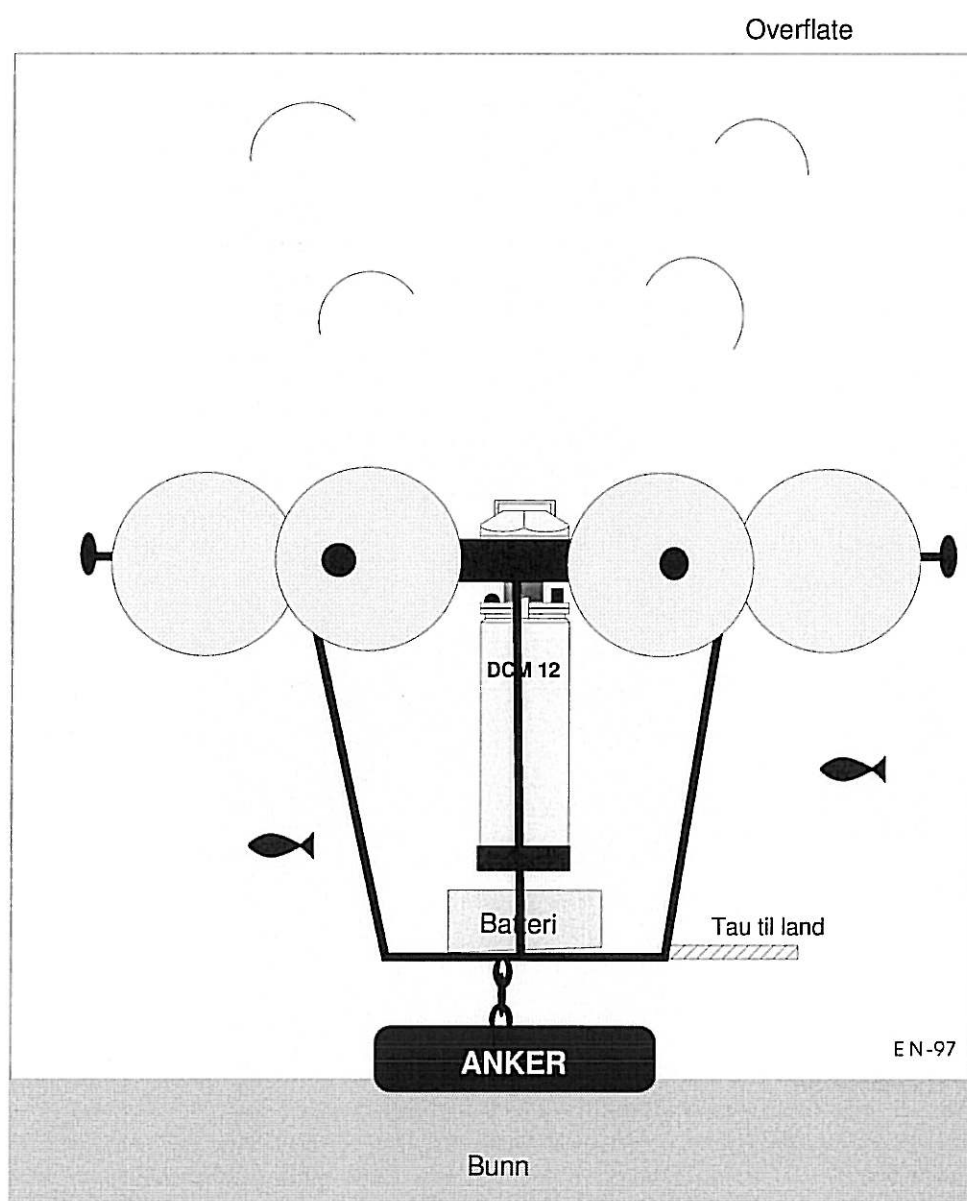
For å studere vannutskiftning og strømforhold, samt variasjonen i relasjon til drivende krefter som tidevann og vind ble det foretatt observasjoner av strøm (i 2 posisjoner), sjiktning (temperatur og saltholdighet i 2 posisjoner med T/S-kjeder), vannstand og vind i ca.1 måned i 1998 (15.5 – 18.6). Plassering av instrumentene er vist i figur 3. Imidlertid ble ikke datafangsten som forventet, hvilket skyldes dels hærverk (vannstandsmåleren ble sannsynligvis stjålet), dels instrumentsvikt (batteriet til vindmåleren eksploderte etter en uke, de nyoverholte T/S-kjedene sviktet på enkelte dyp). Det må understrekes at slik instrumentsvikt og hærverk er unormalt. Meteorologiske observasjoner fra Lista og vannstandsobservasjoner fra Tregde er blitt brukt som supplement og erstatning for tapte måledata. Tapte observasjonsdata av sjiktningen i området kan derimot ikke kompenseres med andre observasjoner.

## 2.1 Strømmåling

Det er blitt målt med forankrede strømmålere i to posisjoner i perioden fra 14. mai til 18. juni 1998. Nedenfor gis litt informasjon om instrumentene og brukte målemetoder.

### DCM12

DCM12 er en ultralyd strømmåler som bruker Doppler-prinsippet til beregning av strømfarten. Måleren sender ut lydsignaler og beregner strømfart og strømretning ut fra lydsignalene som reflekteres fra partikler i vannet. Instrumentet plasseres på bunnen og måler strømmen i 5 dybdesjikt (celler) og i et overflatesjikt. Figur 2 viser en prinsippskisse av en DCM12 strømmåler. Instrumentet er montert i en bøye med slingrebøyeoppheng for å kompensere for bevegelser i bøyen.



**Figur 2.** Skisse som viser en DCM12 ultralyd strømmåler montert i et rammeverk med oppdriftsbøyer og forankring til bunnen.



## Nortek ADP

Som for DCM12 er ADPen også en ultralydstrømmåler som utnytter Doppler-prinsippet. Til forskjell fra DCM12 kan ADPen måle strømfart og retning i hele 70 dybdeintervaller (av minimum 1 m utstrekning). Måleren står oppankret i en ramme på bunnen, festet til rammen med et slingrebøye-oppheng for å kompensere for ujevn bunn (jfr Figur 2).

## 2.2 Vannstand

Det ble satt ut en Aanderaa Instruments vannstandsmåler, men denne ble ikke funnet igjen ved opptak og er sannsynligvis blitt stjålet. Det ble i stedet innkjøpt vannstandsdata fra Mandal (Tredge) fra Statens Sjøkartverk. Tidevannsvariasjonene er imidlertid noe større ved Tredge enn i Egersund. Meteorologiske effekter skulle imidlertid være omtrent de samme.

## 2.3 Vind og lufttrykk

Aanderaa Instruments værstasjon ble utplassert, men denne sviktet imidlertid etter 1 uke (batteriet eksploderte). Til erstatning ble det innkjøpt data om vind og lufttrykk fra Lista fyr (DNMI), men antall observasjoner i disse dataseriene er begrenset til 3-4 pr. døgn og ikke gir den fine oppløsning som var ønsket.

## 2.4 Hydrografi

Det ble satt ut to T/S-kjeder. Disse ble satt ut med overflatemarkører og forankring til bunnen. T/S-kjedene registrerer temperatur og salinitet i 5 dyp. De to dypeste sensorene (25 og ca. 30 m dyp) på kjeden som stod oppankret i Sørøst, sviktet desverre etter noen få dager. Instrumentene var nyoverholte og ansvaret ligger hos Aanderaa Instruments.

Under utsetting av instrumenter (14.5.98) ble det tatt 5 vertikale profiler med målinger av temperatur og salinitet. Se Figur 3 for posisjon for disse målingene (CTD 1-5).

## 2.5 Elvetilførsler

Det ble innhentet data for vannføring for Bjerkreimselva fra NVE for hele måleperioden. Dataene er fra målestasjonen ved Gjedlakleiv.

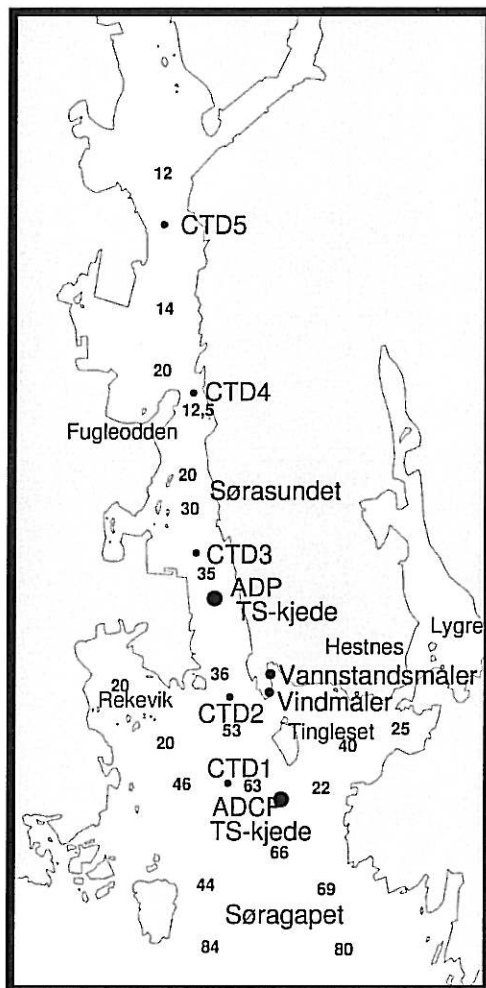
## 2.6 Måleposisjoner og perioder

Figur 3 viser posisjonene for de forskjellige målingene. Det ble gjort strømmålinger og T/S-kjedemålinger både i Sørøst og i Sørøst.

Tabell 1 gir en oversikt over målingene. Tabellen inneholder opplysninger om type måling, målested, måleposisjon, bunn dyp, måledyp, måleperiode og en kort kommentar.

**Tabell 1.** Oversikt over måletype, måleposisjoner og måleperioder.

Type måling	Sted	Posisjon (Europeisk datum)	Bunn- dyp (m)	Måledyp	Måle- periode	Kommentar
Strømmåling (Nortek ADP)	Sørasundet	N58° 25,50'	36,5	hver meter til overflaten	980514	Alt ok
		E05° 59,62'			980618	
Strømmåling (DCM12)	Sørgapet	N58° 24,84'	51	5 celler opp til overflaten	980514	Alt ok
		E05° 59,97'			980618	
TS-kjede (Nr. 1110)	Sørasundet	N58° 26,60'	28	1, 5, 10, 20 og 29 meter	980514	2 sensorer sviktet (20 & 29 m)
		E05° 59,64'			980618	
TS-kjede (Nr. 1126)	Sørgapet	N58° 24,85'	38	5, 10, 20, 25 og 30 meter	980514	Ble sendt til recalibrering to sensorer sviktet (25 & 30 m)
		E06° 00,26'			980618	
Vannstand	Hestnes	-	-	-	980514 980618	Måler forsvunnet, kjøpt data fra Tregde
Vindmåling (Aaanderaa)	Hestnes	-	-	-	980514	Stoppet etter 1 uke, kjøpt data fra Lindesnes
					980618	

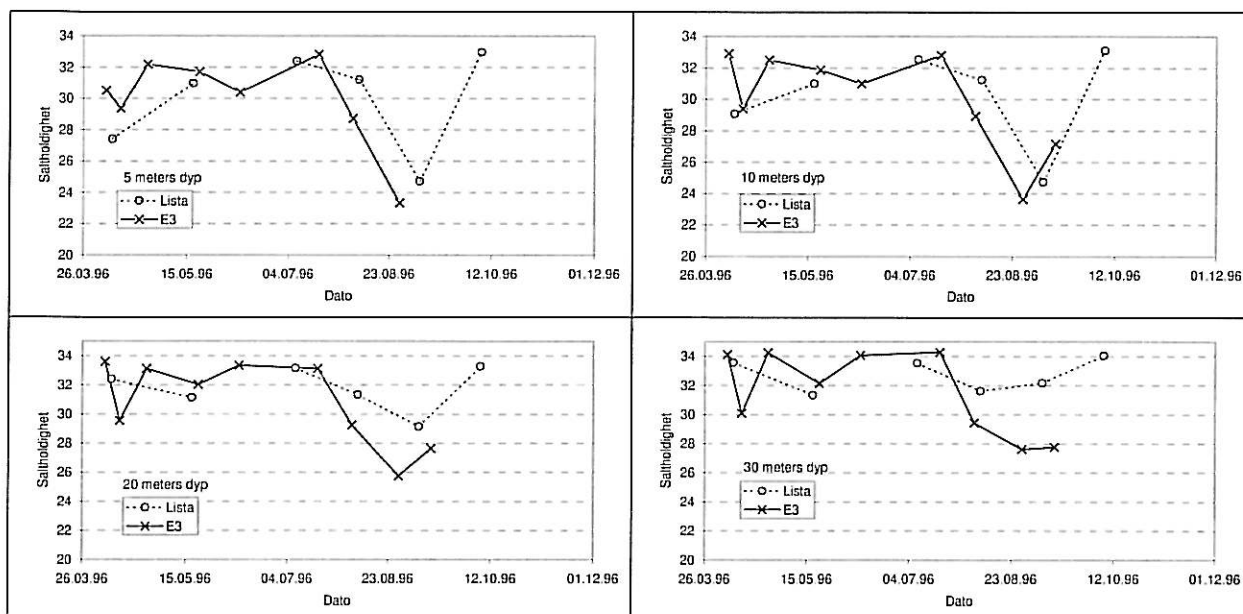
**Figur 3.** Kart over Egersund havn, Sørgapet og Sørasundet. Målestasjonene er merket. Tallene viser dyp i meter.



### 3. Resultater

#### 3.1 Avløpsvannets innlagringsdyp og primærfortynning.

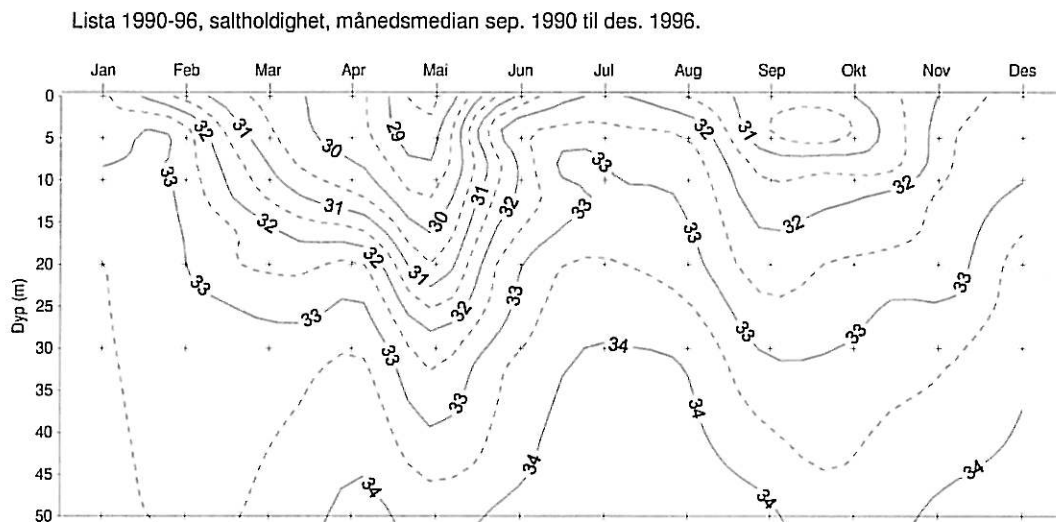
Tidligere hydrografiske undersøkelser viste at vannutskiftingen i området ble drevet av tetthetsvariasjoner i kystvannet. Sammenlignes disse observasjoner med observasjoner ved Lista (Data fra Kystovervåkingsprogrammet, Moy, m.fl., 1997b), varierer saltholdigheten i store trekk i Sørågapet/Søråsunndet med saltholdigheten ved Lista (Figur 4). Det er derfor mulig å bruke observasjonene ved Lista, hvor det foreligger observasjonsserier fra tidligere, til å bedømme årsvariasjonen i området.



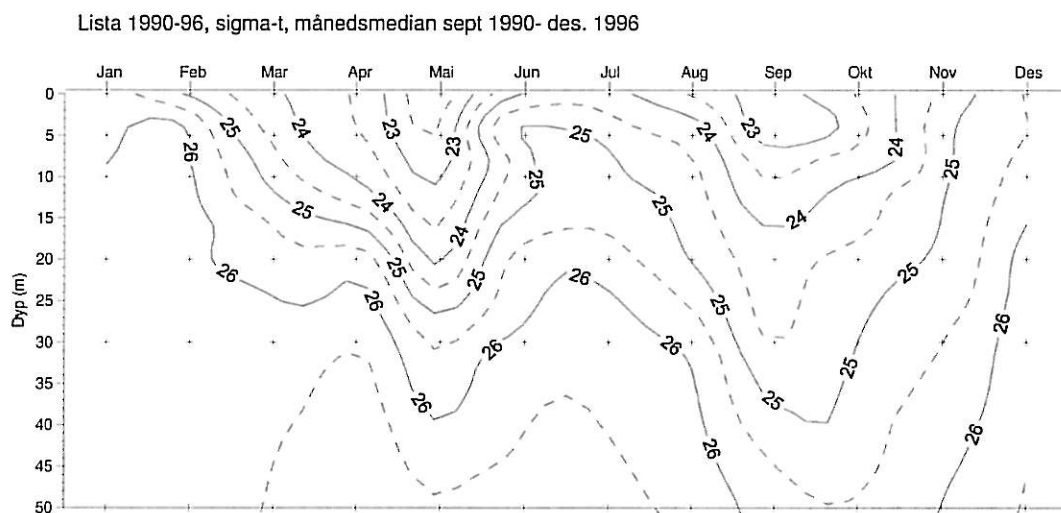
**Figur 4.** Saltholdighet på 5, 10, 20 og 30 meters dyp ved Sørågapet (E3) og Lista.

Figur 5 og Figur 6 viser at sjiktningen i området i hovedsak bestemmes av saltholdighetsvariasjonen (sammenfall i variasjonsmønster), hvilket er det normale for kystområdet. Det er en klar årstidsvariasjon (men også variasjoner fra år til år) i saltholdighet og sjiktning, med lavest saltholdighet i april/mai, dvs. sammenfallende med vårflom i elvene og generelt lavere saltholdighet i Kattegat og Skagerrak. Det er også i dette tidsrom som sjiktningen er best utviklet, dvs. at det er størst forskjell i sigma-t / (eller saltholdighet) mellom overflatelag og f.eks. 30-40 meters dyp. Sjiktningen er meget svakt utviklet i november – februar og likeså i juli. Dette har betydning for en eventuell innlagring av avløpsvann ved dyputslipp. Svak sjiktning gir svak innlagring dvs. høy opptrenging av utslippsvannet.

Tidligere er innlagringsberegninger gjort ut fra observasjoner i Sørågapet (Moy, m.fl., 1997a), og det ble da anbefalt å plassere utslippet dypere enn 40 meters dyp for å unngå innlagring av det fortynnede avløpsvannet i de øvre planteplanktonproduserende vannmasser. Imidlertid var det tilfeller med innlagring også i overflatelaget, men da med stor fortynning. Sammenlagt ble innlagring og fortynning beregnet for 12 situasjoner.



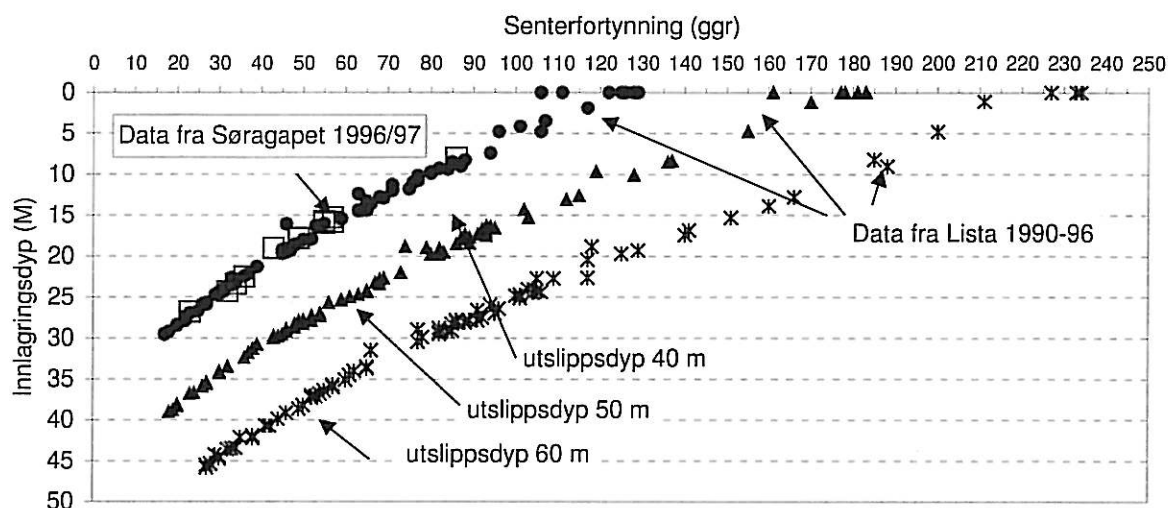
**Figur 5.** Saltholdigheten ved Lista, månedsmedian 1990-96 (Data fra Kystovervåkingsprogrammet, Moy, m.fl., 1997b). Medianverdien er basert på ca. en observasjon pr. måned juni 1990-december 1996.



**Figur 6.** Egenvekten (Sigma-t) ved Lista, månedsmedian fra observasjoner i tidsrommet 1990-96 (data fra Kystovervåkingsprogrammet, Moy m.fl., 1997b). Medianverdien er basert på ca. en observasjon pr. måned juni 1990-december 1996.

Ettersom sjiktningen i Sørøraget i store trekk på årsbasis samvarierer med sjiktningen ved Lista, har innlagringsberegninger blitt gjort på ny med 80 ulike observasjoner fra Lista i tidsrommet 1990-96. Observasjonsserien er innsamlet under Kystovervåkingsprogrammet (Moy, m.fl. 1997b). Resultatene er sammenstillet i Figur 7 til Figur 16.

Figur 7 viser beregnet innlagringsdyp og senterfortynning basert på data fra Sørøraget og Lista, for utslipp til 40, 50 og 60 m dyp. Beregningene er gjennomført med programmet JETMIX (Bjerkeng og Lesjø, 1973). Figuren viser at innlagringsdypet øker ved økende utslippsdyp og at gjennomslag til overflaten reduseres ved økende utslippsdyp. Økende utslippsdyp gir også høyere grad av fortynning av utslippsvannet som kan nå opp til overflatevannet.



**Figur 7.** Innlagring og senterfortynning for det planlagte utslippet til Sørøragapet beregnet på observasjoner fra Lista 1990-96. Utslippsdyp 40, 50 og 60 m.

Ved utslipp til 50 og 60 m dyp vil utslippsvannet være fortynnet mer enn hhv. 120 og 180 ganger (senterfortynning) ved opptrenging til vannmasser grunnere enn 10 m.

Figurene 8, 11 og 14 viser at risikoen for innlagring i overflatelaget er størst i vinterhalvåret.

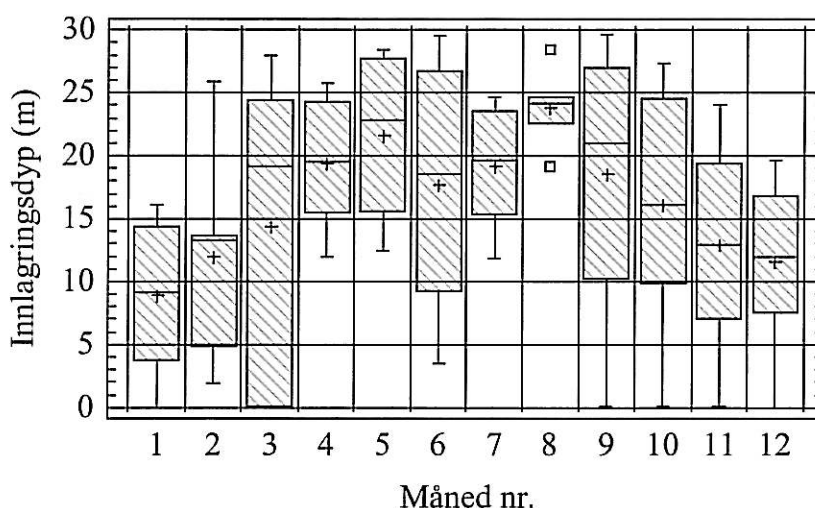
Med utslippsdyp 40 meter vil det fortyndede avløpsvannet i ca. 50 % av tiden innlagres på dyp større enn 17 meter (sett over året, Figur 9), mens for sommerperioden mai-september, vil det fortyndede avløpsvannet i ca. 50 % av tiden innlagres på dyp større enn 20 meter (Figur 10). Utslipp på 40 meters dyp vil gi innlagring grunnere enn 20 m dyp i mellom 60 og 70 % av tiden og altså ca. 50 % av tilfellene i sommerhalvåret. Med utslippsdyp 40 meter og relativt lave hullhastigheter vil avløpsvannet være ca. 20 – 40 ganger fortynnet ved innlagring under overflatelaget (dypere enn 20 m), og fra 70 til over 100 ganger når det innlagres i grunnere enn 10 m dyp (se Figur 7).

For Sørøragapet vil innlagringsdypet skille seg fra de beregnede innlagringsdypene fra Lista, men forskjellen er forholdsvis liten. Den var i sommerperioden ca. 5 meter, dvs. gjennomsnittlig innlagringsdyp var ca. 17 meter i Sørøragapet og ca. 22 meter ved Lista. Ettersom observasjonen ikke var samtidige, vil det nødvendigvis bli forskjeller. I enkelte tilfeller i perioden var innlagringsdypet også dypere i Sørøragapet enn ved Lista.

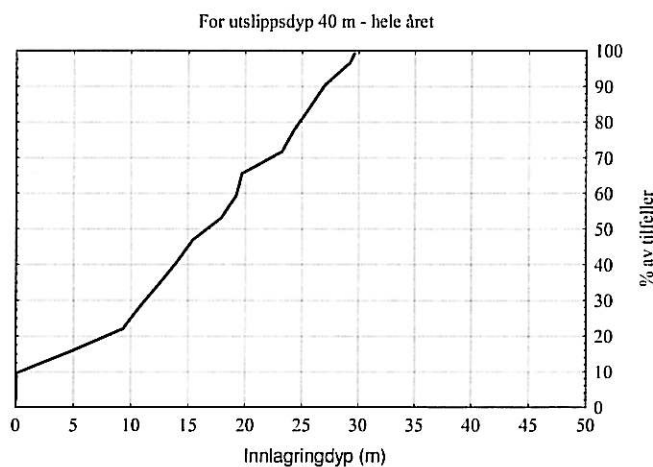
Med utslippsdyp 50 meter vil innlagringsdypet stort sett bli ca. 10 meter dypere enn ved utslipp til 40 meter og ved utslipp på 60 meters dyp, ytterligere 6-10 meter dypere og med bedre fortynning (Figur 7).

Ved utslipp på 50 meters dyp vil beregnet innlagring dypere enn 20 meters dyp forekomme i ca. 60 % av observasjonene på årsbasis og i ca. 70 % i sommerhalvåret (Figur 12 og Figur 13). I sommerhalvåret vil innlagring grunnere enn 15 meter kunne forekomme i ca. 10 % av observasjonene. I følge Figur 11 vil sannsynligheten for dette først og fremst begrenses til september måned (som er inkludert i sommerperioden) hvor hydrografiske forhold gir svak sjikning i vannmassene. For de øvrige sommermånedene vil innlagring skje dypere enn 15 meter.

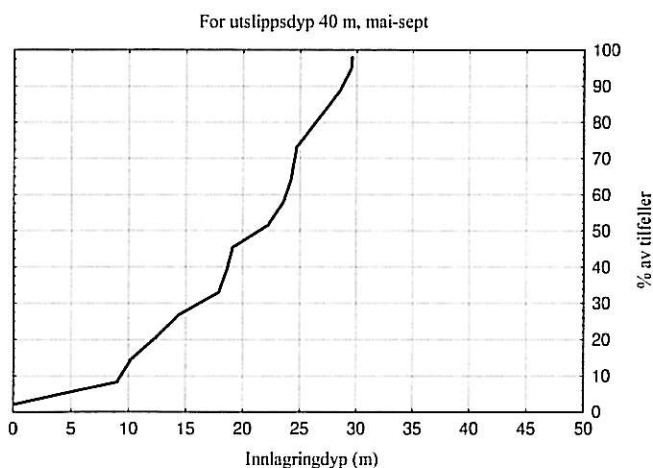
Box-and-Whisker Plot. Data fra Lista 1990-96.



**Figur 8.** Beregnet innlagingsdyp ut fra sjiktningen ved Lista (80 observasjoner fordelt på ulike måneder fra tidsrommet 1990-96). Utslippsdyp 40 m. (Merk vertikal akse: største dyp øverst.)

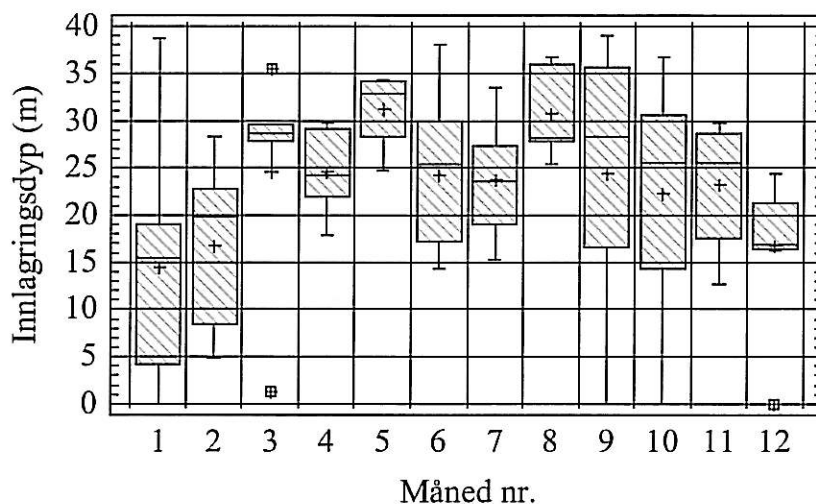


**Figur 9.** Kumulativ frekvensfordeling av innlagingsdyp beregnet på observasjoner fra Lista. Utslippsdyp 40 m.

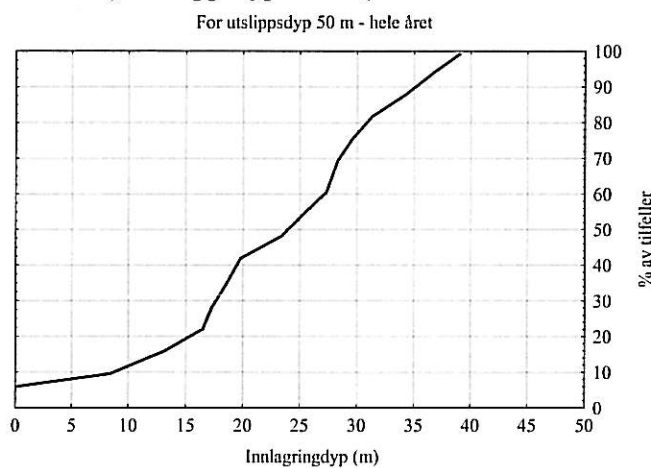


**Figur 10.** Kumulativ frekvensfordeling av innlagingsdyp beregnet på observasjoner fra Lista, mai til september 1990-96. Utslippsdyp 40 m.

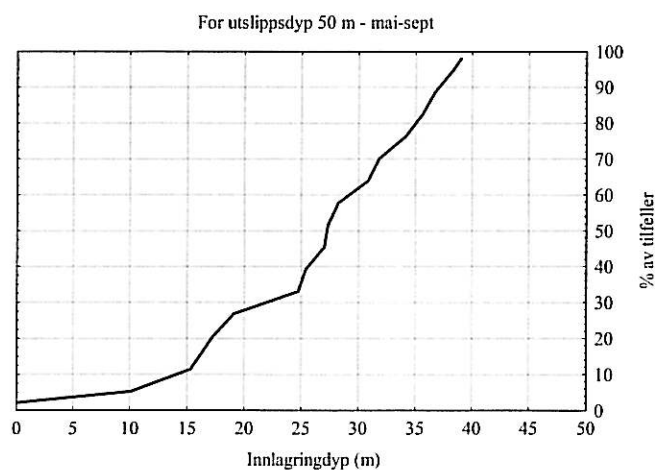
Box-and-Whisker Plot. Lista 1990-96.



**Figur 11.** Beregnet innlagingsdyp ut fra sjiktningen ved Lista (80 observasjoner fordelt på ulike måneder fra tidsrommet 1990-96). Utslippsdyp 50 m. (Merk vertikal akse: største dyp øverst.)

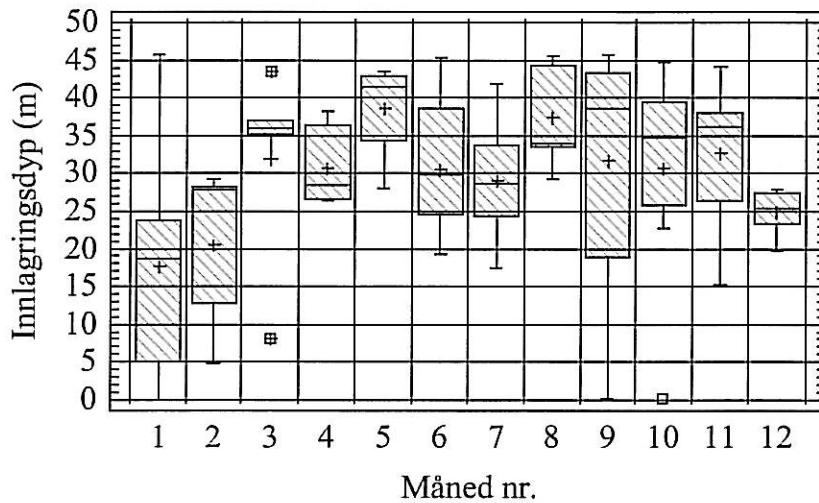


**Figur 12.** Kumulativ frekvensfordeling av innlagingsdyp beregnet på observasjoner fra Lista. Utslippsdyp 50 m.

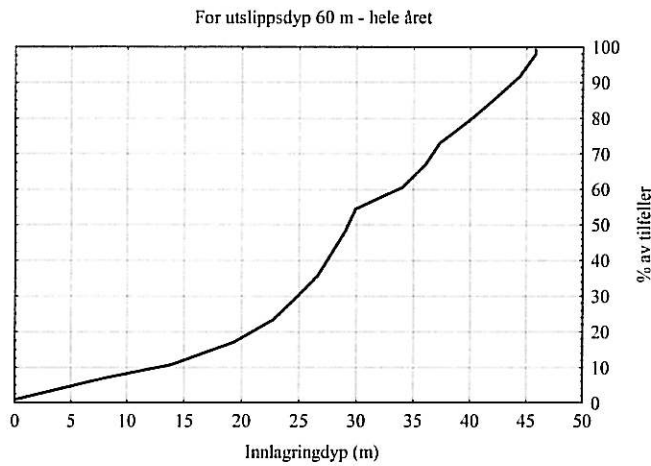


**Figur 13.** Kumulativ frekvensfordeling av innlagingsdyp beregnet på observasjoner fra Lista, mai til september 1990-96. Utslippsdyp 50 m.

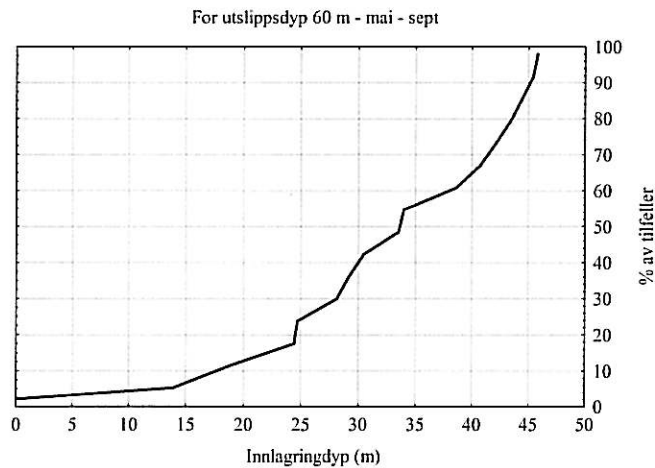
Box-and-Whisker Plot. Data fra Lista 1990-96.



**Figur 14.** Beregnet innlagingsdyp ut fra sjiktningen ved Lista (80 observasjoner fordelt på ulike måneder fra tidsrommet 1990-96). Utslippsdyp 60 m. (Merk vertikal akse: største dyp øverst.)



**Figur 15.** Kumulativ frekvensfordeling av innlagingsdyp beregnet på observasjoner fra Lista. Utslippsdyp 60 m.

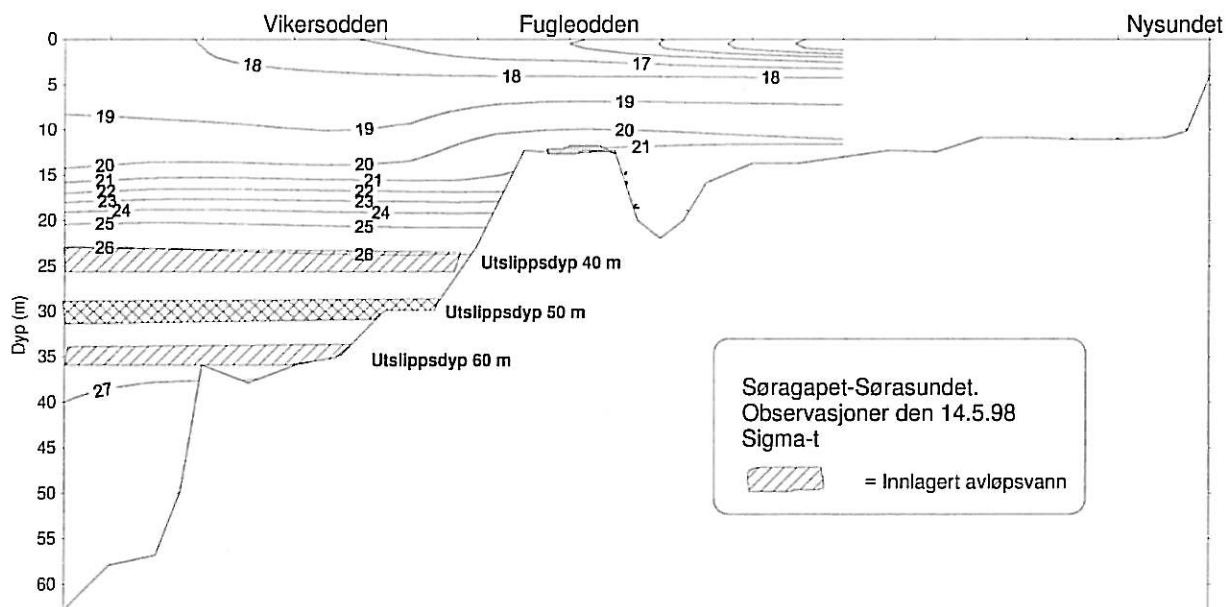


**Figur 16.** Kumulativ frekvensfordeling av innlagingsdyp beregnet på observasjoner fra Lista, mai til september 1990-96. Utslippsdyp 60 m.

Ved utslipp på 60 meters dyp vil avløpsvannet i mer enn 80 % av observasjonene på årsbasis, innlagres dypere enn 20 m (Figur 15). I sommerhalvåret vil avløpsvannet sjelden stige høyere enn 15 m dyp (mindre enn 10 %, Figur 16), og ut fra måledataene vil dette kunne inntreffe i september måned (Figur 14). Om avløpsvannet når overflatelaget, vil det sjelden nå selve overflaten, og samtidig være meget sterkt fortynnet (mer enn 200 ganger). Utslipp på 60 meters dyp er det klart beste alternativet for å unngå at fortynnet avløpsvann når overflatelaget sommerstid.

### Vertikal spredning

Etter at avløpsvannet har nådd innlagringsdyp vil det spres videre ut fra strømforholdene på stedet. Figur 17 viser situasjonen i mai 1998, hvor det innlagrede avløpsvannet vil kunne spres innover i Sørasedet rundt 20, 30 og 35 meters dyp, avhengig av utslippsdyp. Med de tidligere beregnede innlagringsdypene for avløpsvannet vil således fortynnet avløpsvann kunne strømme inn i Sørasedet på ulike dyp, for det meste dypere enn 15 meter. Det er således liten risiko for at bassenget innenfor Fugleodden vil belastes med fortynnet avløpsvann. Imidlertid vil innlagring av avløpsvann i overflatelaget og ned til ca. 12 - 15 meters dyp kunne gi innstrømning av avløpsvann til områdene innenfor Fugleodden, når strømmen på innlagringsdyp går innover. Denne risiko vil avta med økende utslippsdyp, men ikke helt kunne unngås.



**Figur 17.** Vannets egenvekt (sigma-t) i Søragapet og innover i Sørasedet den 14/5-1998 og spredningen av innlagret avløpsvann ved utslipp på 40, 50 og 60 meters dyp i Søragapet.



### 3.2 Vannutskifting og strømforhold.

Etter at avløpsvannet er blitt innlagret vil det ha en egenspredning på innlagringsdypet. Dette følger av en liten forskjell i tetthetsprofilen mellom sjøvannet på innlagringsnivå og skyen av fortynnet avløpsvann. Men strømmene i Sørågapet vil være dominerende slik at avløpsvannets spredning i første rekke vil følge det naturlige strømmønsteret.

Resultatene fra strømmålerne som ble satt ut i Sørågapet og Søråundet er fremstilt i forenklet form i Figur 18 og Figur 19. Konturplottene viser strømhastighet (m/s) i strømretningen nord-sør, dvs. inn-ut av Sørågapet/Søråundet i måleperioden 14. mai til 18. juni.

I Sørågapet (Figur 18) var det dominerende sørlig strøm ned til ca. 10 meter og nordlig strøm fra ca. 16 til 24 meter. Dypere var middelstrømmen på tvers av nord-sør lengderetning (nord-sørhastighet = 0 i figuren).

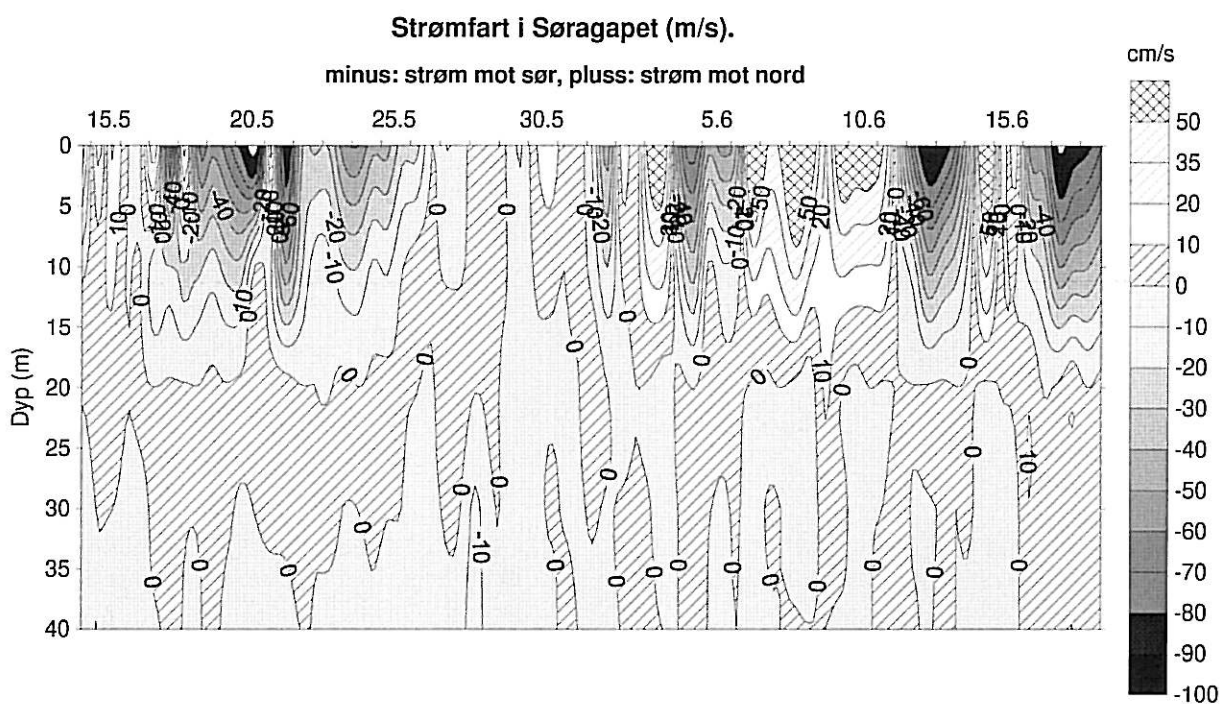
I Søråundet dominerte sørlig strøm ned til 4-5 meter i perioden men det var også perioder av flere dagers varighet med nordlig strøm. Fra 4 til 15 meter dominerte nordlig strøm, mens det igjen var mer varierende strøm fra 15-21 meter. Fra 22 til 34 meters dyp var strømmen svak, med en overvekt av sørlig strøm. I perioder med sterk nordlig strøm i øvre lag, hadde en sørlig strøm i dypere sjikt.

Strømobservasjonene fra Sørågapet og Søråundet skiller seg noe fra hverandre i det strømmåleren i Sørågapet observerte strøm over 16 meters celler, mens strømmåleren i Søråundet målte over 1 meters celler. Dette betyr at oppløsningen på observasjonene i vertikalen ikke er like god for Sørågapet som for Søråundet og at resultatene som er fremstilt i forenklet form i Figur 18 og Figur 19 må tolkes ut fra nøyaktigheten i vertikal oppløsning. Pga. måleprinsippet skal en også være kritisk til målingene grunnere enn 5 meter. Selv om målingene i Sørågapet har dårligere oppløsning enn målingene i Søråundet kan en gjenkjenne de grove trekkene i strømbildet fra Søråundet. Overflatestrømmen var dominerende sørlig, med perioder med innstrømmende overflatevann. I midlere dyp ned til ca. 25 meter dominerte en nordlig strømretning (inn i Søråundet). Dypere var strømretningen vekslende, men med en svak sørlig strøm i Søråundet (ut av sundet).

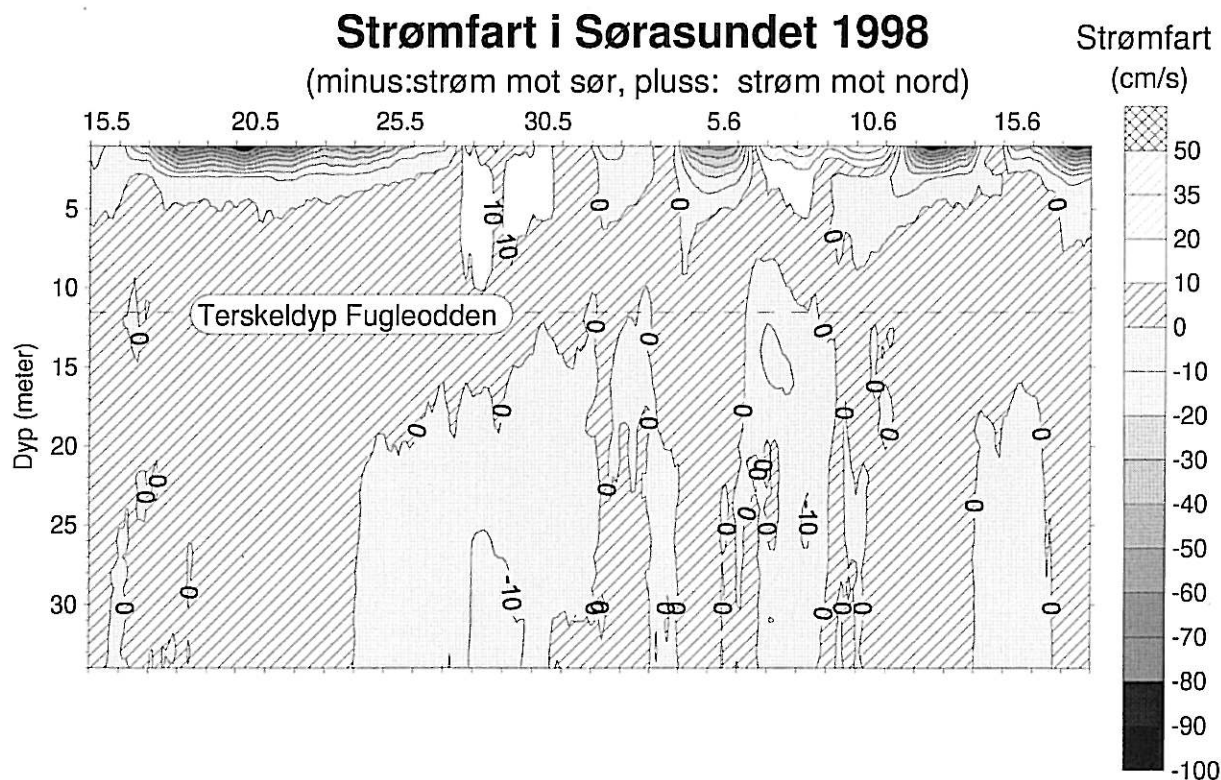
Tabell 2 viser beregnet middelstrøm og retning for hele perioden.

Figur 20 og Figur 21 viser at saltholdigheten i Sørågapet og Søråundet stort sett varierete parallelt og at vannmassene i Søråundet er blitt utskiftet totalt minst 6 ggr i måleperioden, dvs. nesten en gang pr. uke. Den store økningen i saltholdighet i begynnelsen av perioden sammenfaller med inngående strøm i dypet og kraftig utgående strøm i overflaten. Omkring den 26 mai avtok saltholdigheten i Søråundet/Sørågapet. Strømmen i dypet snur til sørlig, mens den på 10-15 meters dyp fortsatt var nordlig. Området tilføres lettere vann fra kysten. En ny periode med stor vannfornyelse kan ses den 5 juni med økende saltholdighet i vannmassen og dominerende nordlig strøm i dypet og stor utstrøm i overflaten. Samme mønster er det også den 13.6. Ved de tilfeller når saltholdigheten øker var det dominerende nordlige vinder (vinder fra nord) ved Lista (Figur 22). Spesielt i den første perioden med klar innstrømning av vann med høy saltholdighet (16.5 – 24.5.98) var vinden ved Lista omkring 10 m/s fra nord. Strømmen i Søråundet var mot nord fra ca. 5 meters dyp til bunn i samme periode og utgående (mot sør) i overflatelaget, spesielt i Sørågapet. I tabell 3 er vindretningen ved Lista sammenlignet med strømretningen i Søråundet på ulike dyp.





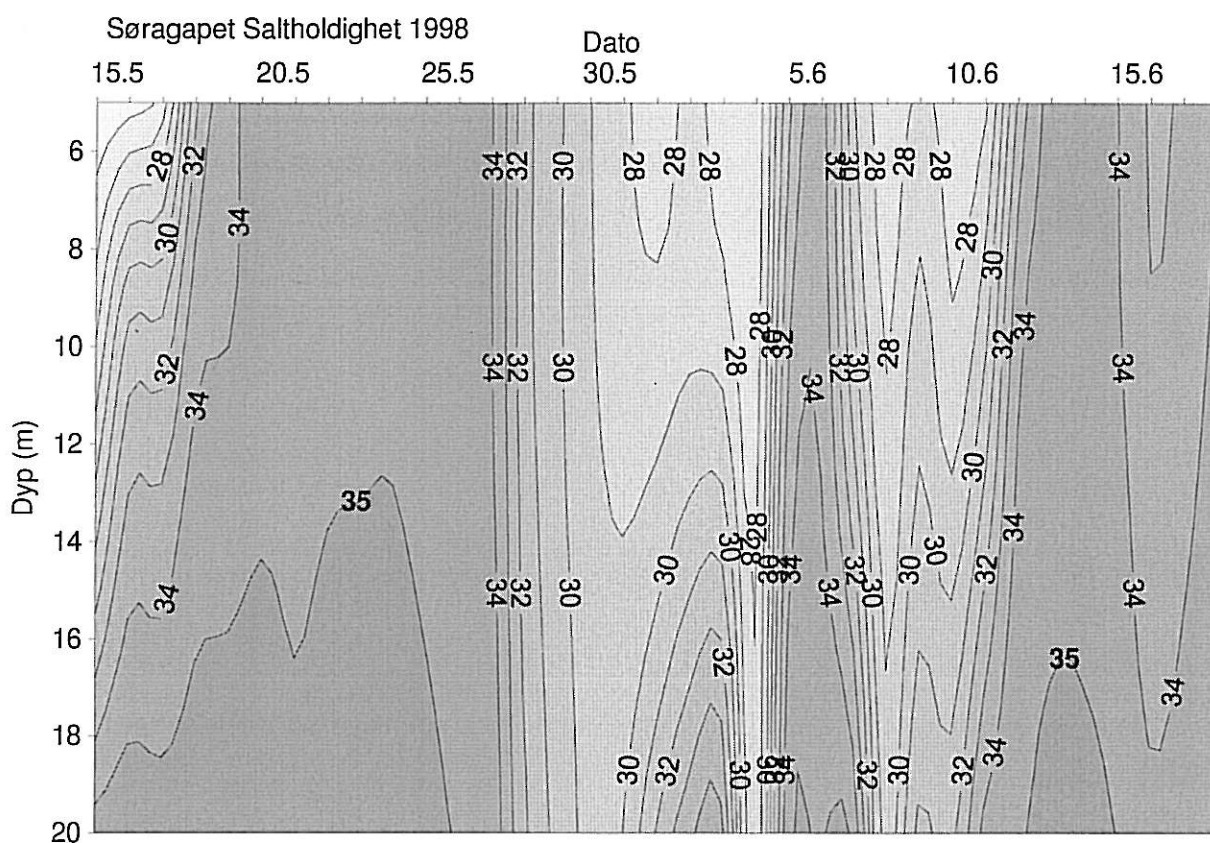
**Figur 18.** Midlere nord/syd strømmer i Søragapet (DCM 12). Hastigheten er målt over 16 meters intervaller. Dato på horisontal akse.



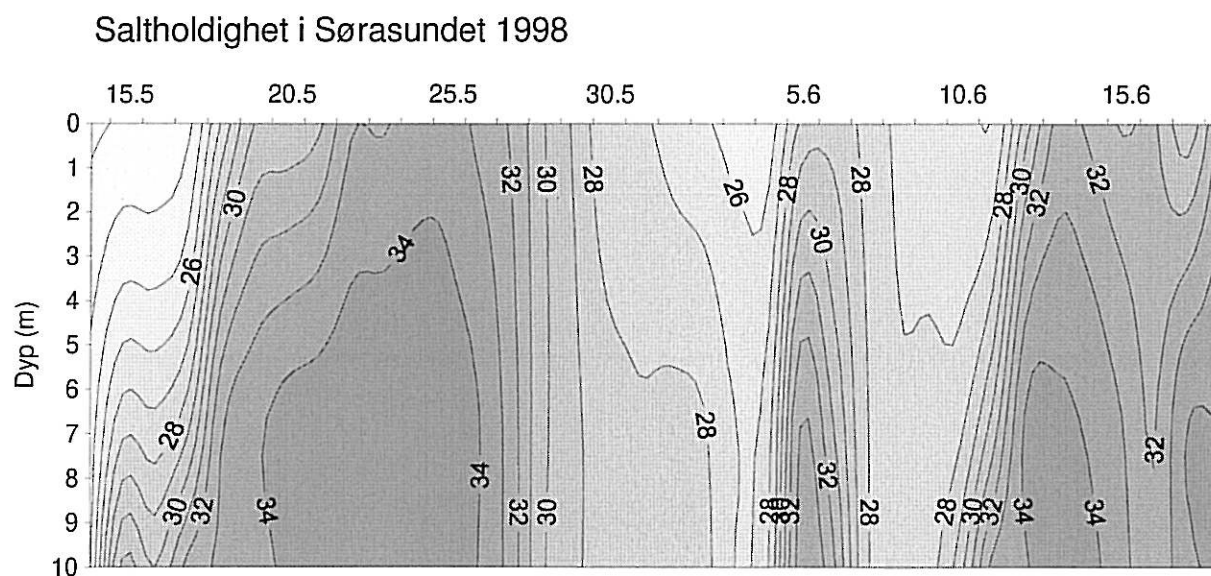
**Figur 19.** Midlere nord/syd strømmer i Sørasundet (ADP). Hastigheten er målt over 1 meters intervaller. Dato på horisontal akse.

**Tabell 2.** Middelverdier fra strømmålingene i Sørøstundet og Sørøstundet. Det er blitt beregnet aritmetisk middelverdi (Fart) og vektormiddel (Hastighet og Retning) for strømobservasjonene.

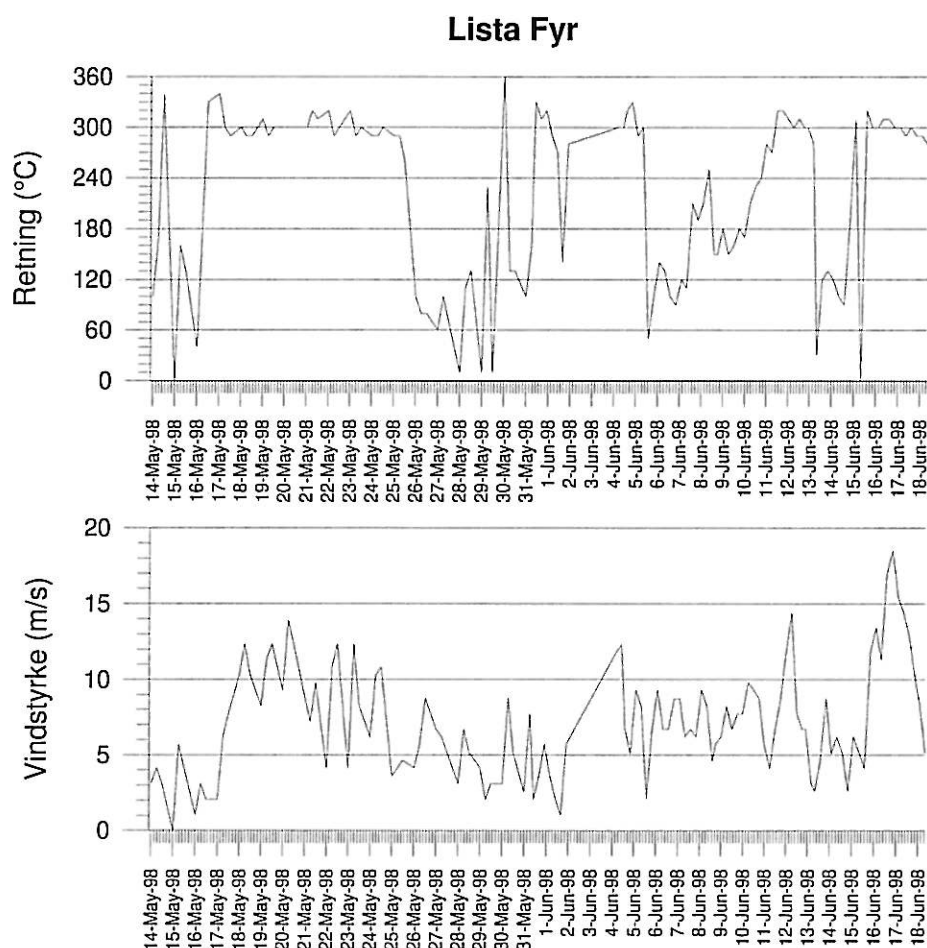
Dyp (m)	Sørøstundet			Sørøstundet		
	Fart (cm/s)	Hastighet (cm/s)	Retning (°)	Fart	Hastighet (cm/s)	Retning (°)
0	38.41	22.25	155.94	54.51	19.59	132.9
1	45.15	27.04	154.24			
2	22.65	13	157.18			
3	9.82	2.46	166.34			
4	7.17	0.97	1.53			
5	6.83	2.61	348.23			
6	6.78	3.66	349.37			
7	6.67	4.23	349.53			
8	6.48	4.19	349.47	27.47	12.04	125.5
9	6.36	4.03	350.12			
10	6.17	3.73	349.82			
11	6.04	3.25	350.72			
12	5.99	2.78	349.89			
13	5.89	2.41	352.87			
14	5.83	2.11	353.7			
15	5.75	1.64	354.2			
16	5.61	1.13	357	2.86	1.03	345.2
17	5.44	0.9	351.59			
18	5.5	0.82	350.55			
19	5.46	0.64	340.81			
20	5.61	0.43	334.62			
21	5.7	0.25	322.02			
22	5.7	0.01	118.23			
23	5.82	0.22	194.86			
24	5.97	0.27	194.5	2.26	0.52	330.1
25	6.13	0.41	158.35			
26	6.38	0.42	167.25			
27	6.48	0.43	176.32			
28	6.61	0.45	173.04			
29	6.64	0.32	175.04			
30	6.7	0.27	164.76			
31	6.89	0.12	156.26			
32	6.88	0.18	161.38	2.3	0.3	274.4
33	6.85	0.28	187.41			
34	6.71	0.33	212.78			
40	.	.	.	3.62	1.32	116.8



Figur 20. Saltholdighetsvariasjonen i Sørágapet. Døgnmiddel av 10 minutters observasjoner.



Figur 21. Saltholdighetsvariasjonen i Sørásundet. Døgnmiddel av 10 minutters observasjoner.



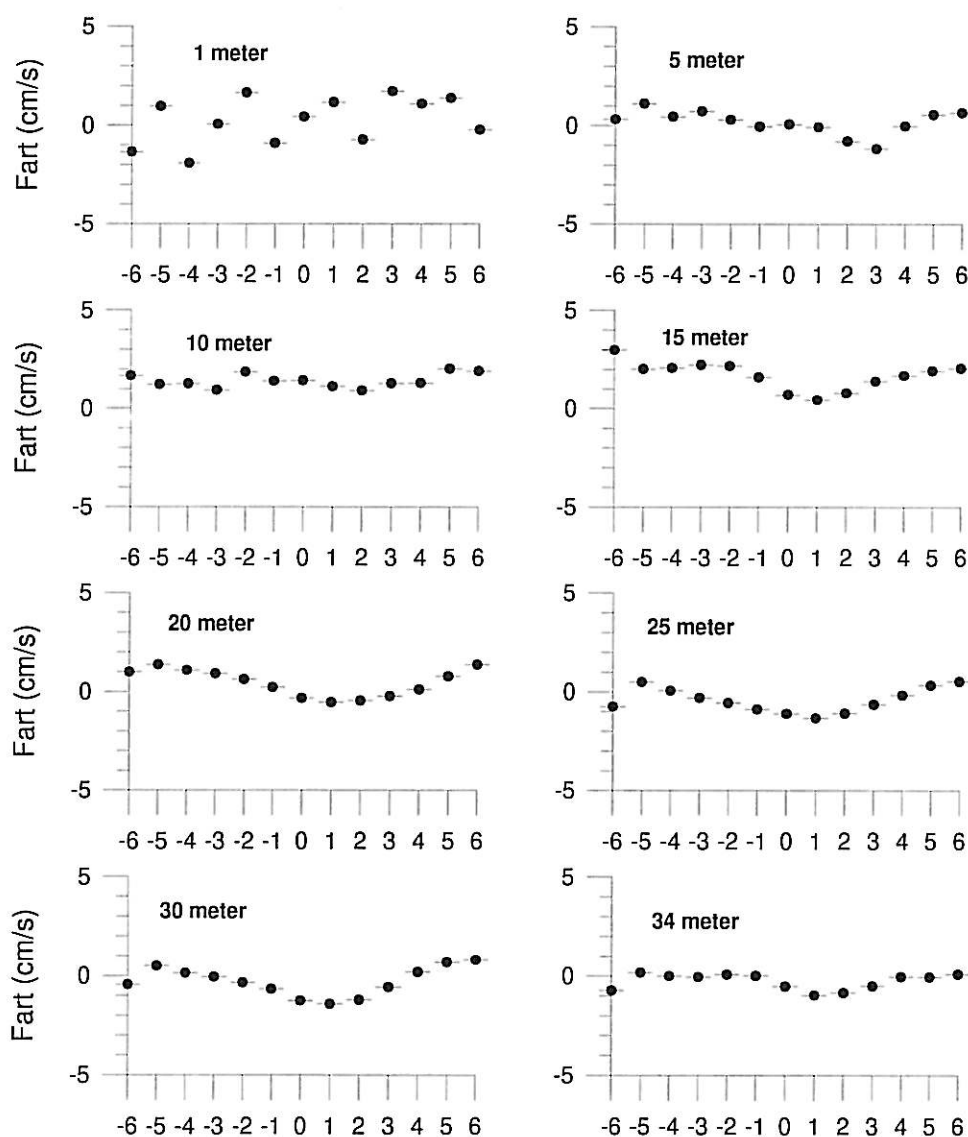
**Figur 22.** Vindmålinger ved Lista Fyr. Data fra Meteorologisk institutt.

**Tabell 3.** Sammenheng mellom vindretning ved Lista fyr og strømretning i Sørøstet. Dessverre er ikke terminologien i meteorologi og oseanografi likelydende når det gjelder retning for vind og strøm. Nordlig vind kommer fra nord, mens nordlig strøm strømmer mot nord.

Vindretning	Dyp	Strømretning
nordlig	3	sørlig
østlig	3	nordlig
sørlig	3	"
vestlig	3	sørlig
nordlig	10	nordlig
østlig	10	"
sørlig	10	"
vestlig	10	"
nordlig	15	nordlig
østlig	15	varierende
sørlig	15	varierende
vestlig	15	nordlig
nordlig	20	nordlig
østlig	20	sørlig
sørlig	20	"
vestlig	20	nordlig
nordlig	25	nordlig
østlig	25	sørlig
sørlig	25	"
vestlig	25	nordlig

Strømforhold og vannutskifting i området domineres således nesten helt av vindforholdene. Av andre strømdrivende krefter finnes tidevann og den ferskvannsdrevne sirkulasjonen. Tidevannstrømmen er liten i området og er bare merkbar relativt til andre strømmer på dyp større enn 15 meter i Sørøst (Figur 23). Ferskvannstilførslen i området var lav i måleperioden ( $< 30 \text{ m}^3/\text{s}$ ), men kan bli betydelig større. Det ble målt over  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  i februar 1998. Ferskvannet vil gi opphav til en estuarin sirkulasjon med utstrømmende brakkvann i overflaten og innstrømmende sjøvann under (kompensasjonsstrøm). I perioder hvor ferskvannstilførselen er betydelig vil sirkulasjonsmønsteret i overflatelaget ned til ca. 10 meters dyp være påvirket av denne.

### Tidevannsstrøm i Sørøst



**Figur 23.** Nordlig (positiv) og sørlig (negativ) strøm i Sørøst referert til timer før og etter høyvann (tidspunkt 0 lang x-akse) i Stavanger i 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 og 34 meters dyp.

Hovedstrømmønsteret som avtegner seg i området er således at vindforholdene og den vindgenererte vannutskiftingen dominerer strømforholdene i området. Den modifiseres i overflatelaget av den ferskvannsdrevne sirkulasjonen, samt tidevannstransporten. Ved stor ferskvannstilførsel strømmer det brakt overflatevann ut av Sørøst og Sørøst. For øvrig bestemmes overflatestrømmen av vinden, med sørlige strømmer ved nordlige vinder (nordavind). Under overflatelaget blir strømmen nordlig ved stor ferskvannstilførsel, men har også ellers en nordlig komponent under varierende vindforhold på omkring 10 meters dyp. Fra ca. 15 meters dyp til bunn bestemmes strømretningen av vindforholdene med nordlige strømmer ved økende nordlig vind, og sørlige strømmer ved avtakende nordlig vind samt ved økende sørlig vind.

I observasjonsperioden dominerte nordlige vinder, noe som er typisk for sommerperioden. I følge Børresen (1987) dominerer sørlige vinder havområdet ved Egersund (35 % sørlig, 20 % nordlig, 30 % vestlig og 15 % østlig vind) på årsbasis. Fra juni til august dominerer nordlig vind, mens sørlig vind dominerer perioden september til mars.

Måleperioden skulle således representere en sommerperiode med lav ferskvannstilførsel.

### 3.3 Avløpsvannet spredning etter primærfortynning.

Det innlagrede avløpsvannet vil i hovedsak passivt følge strømmene i området. Ved utslipp til 40 meters dyp vil avløpsvannet i sommerhalvåret kunne innlagres fra 15 til 25 meters dyp, men med innlagring opp mot 10 meters dyp i ca 15 % av tiden og i overflatelaget (0-5 meters dyp) i ca 5 % av tiden. Ved innlagring omkring 20 meters dyp vil det fortynnede avløpsvannet føres inn i Sørøst fra Sørøst, spesielt i situasjoner med økende nordlig vind. Hvis det ikke kommer høyere enn terskeldypet ved Fugleodden vil det normalt bli utskiftet i løpet av en uke. Imidlertid vil det være en klar risiko for transport av fortynnet avløpsvann inn i bassenget innenfor Fugleodden ved kraftig nordlig vind, spesielt i situasjoner hvor sjiktningen er dårlig, noe som kan skje etter lengre tid med nordavind. Normalt vil likevel deler av avløpsvannet forbli i Sørøst/Sørøst til neste vannutskifting. Ved utslipp på 50 – 60 meters dyp vil innlagringstiden på dyp som er kritiske for videre transport inn ved Fugleodden avta. Minst risiko for slik innstrømning er utslipp på 60 meters dyp.

Når det fortynnede avløpsvannet innlagres dypere enn terskeldypet på 12.5 meter ved Fugleodden vil det normalt ha så kort oppholdstid at det ikke vil ha noen betydelig effekt på området. Avløpsvannet vil i snitt ha en primærfortynning på ca 50 ganger. (senterfortynning). Oksygenkonsentrasjonen i en sky av avløpsvannet med denne fortytningen vil maksimalt kunne reduseres fra ca. 6 ml/l til ned til ca. 2 ml/l, hvis alt oksygenforbrukende materiale blir oksidert direkte. Prosessene er imidlertid betydelig langsommere og fortynningsgraden utenfor selve strålesenter betydelig større. En ukes tilførsel tilsvarer et oksygenbehov fra utslippet på ca. 4 500 kg, hvis en antar at alt det fortynnede avløpsvannet tilføres et 5 meter tykt lag i Sørøst, noe som må betraktes som en ekstrem situasjon. Det vil i denne vannmasse normalt finnes ca. 12 500 kg oksygen. Med en oppholdstid av vannet på ca. en uke vil oksygenet i vannmassen bli redusert med 35 %. Det gir teoretisk en reduksjon av oksygenkonsentrasjonen fra eksempelvis 5.6 ml/l til 3.6 ml/l. Men i vannmassen vil det også kunne skje en produksjon av oksygen. Med et siktedyp på 5-8 meters dyp (Moy, m.fl., 1997a), vil fotosyntesesonens dyp variere mellom 12- 20 meters dyp, og derved tidvis også tilføre vannmassen oksygen. Beregningene vil også gjelde ved utslipp på 50 og 60 meters dyp, men med noe gunstigere resultater fordi avløpsvannet får noe høyere primærfortynning.



Strømforholdene viser at deler av det fortynnede avløpsvannet kan strømme inn over terskelen ved Fugleodden, spesielt når avløpsvannet innlagres mellom 5 og 13 meters dyp. Ved utslippsdyp på 40 meters dyp vil dette skje i ca. 20 % av året, fortrinnsvis vinterstid. Fortynningen vil da være høy, opp mot 100 ganger.

Ved utslipp på 50 meters dyp vil avløpsvannet i sommerhalvåret i hovedsak kunne innlagres mellom 20 og 30 meters dyp, men med innlagring opp mot 15 meters dyp i ca 10 % av tiden. Risikoen for opptrengning av fortynnet avløpsvann til overflatelaget (0-10 meters dyp) vil stort sett begrenses til januar måned og episodiske hendelser på sensommer og om høsten (september-oktober). Dominerende strømretning i midlere dyp 15 til 25 m i Sørøst var nordlig i måleperioden og avløpsvann innlagret i dette dybdeintervallet vil bli ført med strømmen inn i Sørøst. Primærfortynningen vil imidlertid være høy (> 60 ganger).

Hvis avløpsvannet innlagres mellom 5 og 13 meters dyp viser strømforholdene at deler av det fortynnede avløpsvannet kan strømme inn over terskelen ved Fugleodden. Ved utslippsdyp til 50 meters dyp vil dette etter beregningene skje i ca. 10 % av året og stort sett begrenset til vinterhalvåret. Fortynningen vil imidlertid være høy (primærfortynning > 100 ganger).

Ved utslipp på 60 meters dyp vil avløpsvannet i sommerhalvåret hovedsakelig innlagres dypere enn 25 meter (ca. 80 % av tiden) og i ca. 50 % av tiden (sommerperioden) dypere enn bunndypet til Sørøst. I disse dyp vil avløpsvannet i mindre grad transporteres inn i Sørøst, selv om det fortsatt vil kunne skje i samband med vannutskiftninger. Primærfortynningen ved innlagring i 25 - 35 meters dyp vil samtidig være hhv. fra 60 til 100 ganger.

Ved utslipp på 60 meters dyp vil risikoen for transport av fortynnet avløpsvann inn over terskelen ved Fugleodden bli meget lav, og helt unntaksvis i sommerhalvåret og da begrenset til enkelte episoder med dypvannsfornyelse i hele området. Primærfortynningen vil samtidig være meget høy.

### 3.4 Konklusjoner.

Undersøkelsene har vist at det er god vannutskiftning i området. Normalt vil det fortynnede avløpsvannet innlagres så dypt at det ikke vil skje en direkte transport inn fra Sørøst over terskelen ved Fugleodden, spesielt hvis utslippsdypet velges til 60 m. I ekstremisituasjoner vil oksygenforholdene i Sørøst kunne reduseres noe, men fortsatt vil de sannsynligvis være tilfredsstillende. I perioder, spesielt når det fortynnede avløpsvannet innlagres mellom 5-13 meters dyp, vil deler av det kunne strømme inn over terskelen ved Fugleodden. Dette vil i hovedsak kunne skje i vinterhalvåret ved svak sjiktning og god vertikalblanding, men noe vil fanges mellom 12 og 20 meters dyp i Sørøst.

Det anbefales spesielt en overvåking av oksygenforholdene i området. Denne bør starte i god tid før utslippet tas i bruk.

## 4. Litteratur.

Bjerkeng, B. og Lesjø, A., 1973. Mixing of a jet into stratified environment. (User's manual). Norsk institutt for vannforskning og Computas A/S. Niva-rapport O-126/72. Prosjektkomiteen for rensing av avløpsvann, PRA 5.7.

Børresen, . 1987. Wind Atlas for the North Sea and the Norwegian Sea. Norwegian University Press. DNMI 1987.

Konieczny, R. og Juliussen, A., 1995. Sonderende undersøkelser i norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik – Kragerø. SFT rapport 587/94, TA-1159/1994. Niva-rapport 3275-95.

Moy, F., Nygaard, K., og Rygg, B., 1997a. Resipientundersøkelser i Sørøst, Eigersund. Førundersøkelser, 1996. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr. 3689-97.

Moy, F., Aure, J., Dahl, E., Green, N., Rygg, B., Johnsen, T., Lømsland, E., Magnusson, J., Omli, L., Pedersen, A., Walday, M., 1997b. Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Årsrapport 1996. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr. 3736/97.

Rygg, B., 1986. Basisundersøkelser av fjordområdene ved Eigersund. Bløtbunnsfaunaundersøkelser 1983. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr. 1811-86.