

RAPPORT LNR 3860-98

# Utslepp av kommunalt slam til Korsfjorden frå Andershola slamtømme- stasjon i Sund kommune



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00

**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  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

Søndre Tollbugate 3  
9000 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Utslepp av kommunalt slam til Korsfjorden frå Andershola slamtømmestasjon i Sund kommune	Løpenr. (for bestilling) 3860-98	Dato April 1998
	Prosjektnr. Undernr. 97017	Sider Pris 48
Forfatter(e) Lars G. Golmen Einar Nygaard Lars Hem	Fagområde 32	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Sund kommune, Sund Senter, 5382 Skogsvåg	Oppdragsreferanse Å. Landro/F. Glesnes
--	---

**Sammendrag**

Sund kommune har i fleire år tømt utvatna kommunalt slam i Korsfjorden gjennom eit røyr som går frå Andershola tømestasjon og ut til 57 m djup i fjorden. Kommunen har ønskt å få utgreidd miljøkonsekvensane av å halde fram med denne måten å bli kvitt kommunalt slam. NIVA har gjennomgått opplysningar om resipienten og har i tillegg foretatt strømmåling ved utsleppsstaden. Det er rekna på og vurdert kva effektar som kan oppstå. Det er konkludert med at effektar vil vere avgrensa til botnen ved utsleppet og til eit vassjikt i 30-40 m djup i sjøen i nærområdet sørvest for utsleppet. For Korsfjorden totalt utgjør utsleppet kun eit lite bidrag til næringssalt og oksygenforbruk. I rapporten er det referert til ein del litteratur som omhandlar effektar av kloakkutslepp. Det er referert til gjeldande regelverk på området utan å vurdere lovlegheita av slamtømminga. Nokre tekniske tiltak som kan redusere effektar, er også nemnt.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Slambehandling</li> <li>Slamdeponering</li> <li>Sund</li> <li>Miljøeffektar</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Domestic sludge treatment</li> <li>Domestic sludge disposal</li> <li>Sund</li> <li>Environmental impact</li> </ol>
--	--



Lars G. Golmen

Prosjektleder

ISBN 82-577-3441-1



Bjørn Braaten

Forsknings sjef

NIVA prosjektnr. O-97017

**Utslepp av kommunalt slam til Korsfjorden  
frå Andershola slamtømmestasjon  
i Sund kommune**

## Forord

Sund kommune på Sotra i Hordaland ønskjer å få utgreidd utslepp av kommunalt kloakkslam på djupt vatn i Korsfjorden (Krossfjorden) som alternativ til deponering på land. Sund kommune kontakta i den samanheng NIVA hausten 1996 med tanke på eit eventuelt prosjektsamarbeid omkring dette. Etter eit møte 20. november laga NIVA eit prosjektforslag, som kommunen så godkjende i brev 16. januar 1997.

Undervegs i prosjektet har NIVA hatt kontakt med Interconsult a/s ved S. Sande og B. Alsaker, som har utgreidd rensalternativ og ulike tekniske løysingar.

Åge Landro var kommunens hovedkontakt i starten. Frode Glesnes tok over denne rolla sommaren 1997. På NIVAs prosjekt har forskingsassistent Einar Nygaard stått for feltarbeid og EDB-bistand. Forskar Lars Hem ved NIVAs miljøtekniske avdeling har gitt innspel om eksisterande/nye regelverk for slambehandling og konsekvens av desse (kapittel 2). Sekretær Inger Midttun har sluttredigert rapporten.

Bergen/Oslo, februar 1998

*Lars G.Golmen*

---

# Innhald

<b>Samandrag</b>	<b>6</b>
<b>1. Innleiing</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Formål med granskinga	8
1.3 Andershola slamtømmestasjon	9
1.4 Aktuelle slam-mengder	9
1.4.1 Kjemiske komponentar i slammet	10
1.5 Nokre aktuelle problemstillingar	10
<b>2. Krav til slambehandling</b>	<b>13</b>
<b>3. Omtale av Korsfjorden (Krossfjorden)</b>	<b>14</b>
3.1 Djupnetilhøve	14
3.2 Vassutskifting	14
3.3 Marinbiologiske tilhøve	15
3.4 Eksisterande tilførsler av forureining	16
<b>4. NIVAs målingar ved Andershola i 1997</b>	<b>17</b>
4.1 Bakgrunn/motivasjon	17
4.2 Måleprogrammet for strøm	17
4.2.1 Instrument	17
4.2.2 Måleposisjon	17
4.2.3 Måleperiode	18
4.3 Nye hydrografimålingar	18
4.3.1 Instrument	18
4.3.2 Tidspunkt for målingar	18
4.4 Resultat frå strømmålingane	19
4.4.1 Middelerdiar	20
4.4.2 Nokre resultat frå målingane	20
4.5 Resultat frå hydrografimålingane	20
<b>5. Spreiing av utvatna slam</b>	<b>23</b>
5.1 Innlagringsberekningar	23
5.1.1 Inn-parametrar til modellen:	23
5.1.2 Resultat	24
5.2 Spreiing på grunn av strøm	25
5.3 Sedimenterande materiale	26
5.4 Stoffbudsjett og fluksar	27
5.4.1 Bidrag til konsentrasjonsauke i fjorden	27
5.4.2 Bidrag til materialfluks	28

---

<b>6. Diskusjon</b>	<b>29</b>
<b>7. Referansar</b>	<b>31</b>
<b>Vedlegg A. Figurar frå strømmålingane</b>	<b>34</b>
<b>Vedlegg B.</b>	<b>47</b>
<b>Vedlegg C.</b>	<b>48</b>

---

## Samandrag

Sund kommune i Hordaland har dei siste 25 åra tømmt innsamla kloakkslam i Korsfjorden gjennom eit røyrt frå Andershola slamtømmestasjon og ut til 57 m djup. Tømminga har foregått i kortare tidsrom kvart år. Det er tale om årlege slammengder på frå ca 3.000 til 4.800 tonn. Tømminga av kvar tankbil som tar 10 tonn slam, varer ca 15 minuttar.

Siste tømmerunde var i 1996/97, og nytt utsleppsløyve må innhentast dersom kommunen skal kunne halde fram med denne praksisen. I denne samanheng har kommunen engasjert Norsk institutt for vannforskning, NIVA, samt Interconsult AS, for å vurdere tekniske og miljømessige aspekt. Det har ikke lege innafor oppgåva å vurdere dei lovmessige sidene ved slamdumping innaskjers, men temaet er til ein viss grad omtalt i rapporten.

NIVA gjennomførte strømmålingar på utsleppstaden i april-mai 1997 for å få grunnlag for å vurdere spreiringstillhøva. Det var svak strøm i sjikt djupare enn 10 m, og hovedretningen var mot sørvest. I øvre lag var strømmen sterkare med hovedretning mot nordaust.

På basis av strømmålingane, rapporten frå Interconsult, generell fagkunnskap, modellar og kunnskap om oseanografiske og marinbiologiske tilhøve i Korsfjorden har NIVA gjort innleiande vurderingar av kva andre effektar eit framhaldande utslepp frå Andershola kan medføre.

Både suspendert stoff og størstedelen av sedimenterbart stoff blir spreidd med strømmen ut i resipienten, for det meste mot sørvest. Samla mengde fast stoff i eit middel-år er om lag 130-150 tonn og modellberekningar indikerer at mesteparten av dette blir innlagra og spreidd på djupner rundt 30-40 meter. Berekningane indikerer vidare ein fortynningsgrad på ca 100 i avstand 100 m frå utsleppet like etter ein tømning.

Hovedstrømretning mot sørvest ved utsleppspunktet vil sei at oppløyst slam blir ført utover i Korsfjorden, og i mindre grad nordover mot grunnare og sannsynlegvis meir sårbare område i retning Raunefjorden. Det er imidlertid vanskeleg å sei kor stor del som vil bli ført ut til kystvatnet, og kor stor del som vil resirkulere inne i Korsfjorden.

Den teoretiske oksygenreduksjonen i sjøen nær utsleppet er rekna til maksimalt 3,5 ml/l. Ein slik reduksjon vil kunne bringe verdiane i det påverka sjiktet med mot uakseptable verdier, særleg for ein sommarsituasjon med lågare bakgrunnsverdier. Men det er understreka at nedbryting av slammet tar tid, slik at dette vil foregå i eit langt større vassvolum enn det som rekneeksempelet tok utgangspunkt i. Dersom ein i tillegg antar at tømninga foregår til andre tider enn om sommaren eller tidleg om hausten, er det i praksis lite sannsynleg at det vil oppstå oksygenproblem i sjøen rundt utsleppet. Det er rekna at utsleppet kan bidra til anslagsvis 10 % auke i næringssalt-mengdene i det påverka sjiktet i fjorden like etter tømning.

Rundt utsleppet vil det vere etablert eit område med forringa kvalitet på sediment, og der sjøen vil vere påverka i perioder under og like etter tømning. Den momentane belastninga vil då kunne tilsvare eit langt større utslepp enn dei om lag 3.000 personequivivalentane som slammet representerer, i høve til eit vanleg avlaup. Risiko for overskriding av tålegrenser når det gjeld tungmetall og anna forureining i forhold til marine organismer vil kunne gjelde i eit avgrensa område kring utsleppet.

Kvaliteten av djupvatnet i sjølve Korsfjorden vil neppe bli målbart eller merkbar berørt av eit utslepp av 3-5.000 tonn/år med slam frå Andershola. Det vil dermed mest sannsynlegvis bli tale om verknader som er avgrensa i tid til periodene under og like etter tømning, og i rom til området like ved utsleppet.

Øvre lag i sjøen blir sjeldan eller aldri berørt. Flytestoff har til enkelte tider nådd til overflata, og dette bør kunne eliminerast eller avgrensast ved tekniske tiltak.

Fleire faktorar kan bidra til å redusere eller eliminere evt. effekter: Tidsmessig vil det vere mogleg å styre tømninga inn mot perioder av året med minst forventa effekter i resipienten. Ved å endre design av utsleppet vil ein sannsynlegvis kunne redusere influensområdet noko. Endring av rutiner for slamhandtering og tømning vil også kunne bidra til å redusere effektene i resipienten. Overvaking i resipienten i tømmeperiodene vil kunne gje nyttig kunnskap om spreining og effektar, som også kan nyttast til å endre tømmerutinene.



# 1. Innleiing

## 1.1 Bakgrunn

Sund kommune hadde inntil 1/1 1997 løyve til utslepp av råslam frå ulike reinseanlegg og slamavskiljarar i kommunen til djupt vatn i Korsfjorden. Utsleppet har foregått frå tømme-stasjonen i Andershola lengst sør på Sotra (Figur 1) i samband med tømmerundne kvart år eller annakvart år i kommunen. Dette har vore prosedyren frå tidleg på 1970-talet til siste tømmerunde som var ved årsskiftet 1996-97.

Det er behov for ny tømmerunde i 1998. I samband med dette må det sendast søknad om nytt utsleppsløyve, og kommunen må samstundes utarbeide plan for framtidig handtering av slammet. I dette inngår forslag om opprusting av Andershola slamtømmestasjon.

Sund kommune ønskjer i denne samanhengen å få utgreidd spørsmålet om det ut frå miljømessige omsyn er mogleg å halde fram med slam-utslepp frå ein oppgradert tømme-stasjon i Andershola. Argument som kan tale for dette, er at Korsfjorden er ein stor fjord med antatt god resipientkapasitet. Ein hypotese som er framsett av kommunen, er at resipientkapasiteten er så stor at Andershola kan motta slam også frå andre kommunar enn Sund.

I følgje Sund kommune må føresetnaden for eventuelt framtidig slamutslepp til Korsfjorden vere at dette er i samsvar med kommunens overordna mål om å

- verne det ytre miljøet
- sikre berekraftig utvikling også når det gjeld belastning frå kommunale utslepp
- sikre at kun gode resipientar skal motta avlaupsvatn.

## 1.2 Formål med granskinga

I diskusjonen på møtet mellom Sund kommune og NIVA 20. november 1996 kom det fram at problemstillingane var relativt komplekse og at dei til dels kunne stå i strid mod gjeldande retningslinjer for handsaming av kommunalt slam. Ein vart difor samde om å gjennomføre eit innleiande prosjekt med følgjande hovudinnhald:

1. Samanstilling av eksisterande opplysningar om tømme-stasjonen, og planane framover i samråd med kommunen og teknisk konsulentfirma (Interconsult a/s).
2. Samanstilling av eksisterande opplysningar om resipienten; topografi, strømførhold, sjikting, vasskvalitet, sediment/botndyr, ressursar.
3. Innleiande simuleringar av utsleppet, utrekning av innlagringsdjup v/ alternative utsleppsdjup.
4. Strømmåling over 4 veker ved utsleppsstaden, for å finne sjikt med vesentlegast inn- resp. utgåande strøm. Hydrografimålingar.
5. Gjere ei vurdering av moglege effektar i resipienten (Korsfjorden) som følgje av utslepp tilsvarande bidrag frå heile Sund kommune. Gi anbefaling om utsleppsdjup, evt. utsleppsstrategi (t.d. utsleppstidspunkt tilpassa gunstige strøm-periodar o.l.)

## 6. Skisse til oppfølgjande kontroll og overvaking.

Prosjektet og rapporten berører i større eller mindre grad alle desse punkta, men vektlegginga har endra seg litt gjennom prosjektperioden etter som nye moment eller problemstillingar har kome til og andre har blitt mindre aktuelle undervegs.

Den aktuelle tømmemetoden er lite brukt (i Hordaland kun nytta av Sund og Fedje kommunar). Den ligg nok i grenseland til konflikt med eksisterande lov om forureining, og/eller med forventa revisjonar på dette området. Det er ikkje NIVAs mandat her å gå nøye inn på lovmessige aspekt ved slamtømminga, men i kapittel 2 har vi referert til nokre aktuelle punkt i lovverket.

Det kan nemnast at NIVA også skisserte eit opplegg til eit oppfølgjande prosjekt (Fase 2) som ville ta utgangspunkt i resultat frå Fase 1 og bygge vidare på desse. Igangsetting av Fase 2 ville vere sterkt avhengig av resultatata frå Fase 1, og den påfølgjande tilbakemeldinga frå kommunen og Fylkesmannen, evt. SFT.

Følgjande element vart skissert for ein Fase 2:

- Samanstilling av sannsynlege/potensielle slam-mengder i framtida
- 'Tak' for utsleppsbelastning for resipienten
- Krav til oppgradering av utstyret i Andershola
- Krav til utsleppet (endra/auka utsleppsdjup?)
- Tilpassing til krav frå forvaltninga ang. utsleppskontroll og overvaking
- Anbefaling/rapportering.

## 1.3 Andershola slamtømmestasjon

Stasjonen blei etablert i byrjinga av 1970-talet. Det seigtflytande råslammet blir overført frå tankbil til stasjonen. I stasjonen blir slammet tilsett sjøvatn som blir pumpa opp frå strandsona nedanfor stasjonen. Blandinga skjer i ein tank, og uttynna slam blir så pumpa ut på djupt vatn (ca. 57 m djup) gjennom ein 100 m lang 6" leidning som går 40 m ut frå land.

## 1.4 Aktuelle slam-mengder

I 1996 vart det tømt ca. 2.200 m<sup>3</sup> slam frå 657 privatabonnentar (av i alt 1.000 abonnentar i kommunen) og 1.300 m<sup>3</sup> frå offentlege anlegg. Innsamling frå private skjer annakvart år, og for offentlege institusjonar kvart år, slik at dei årlege slam-mengdene vil variere noko.

Interconsult (1998) som rekna på dette, kom fram til at det i løpet av ein to-års periode blir samla inn 6.100 tonn slam, eller 3.050 tonn i års-gjennomsnitt. I eit år med både offentleg og privat innsamling vil det vere tale om 4.800 tonn.

Ein tankbil med 10 tonn slam blir tømt i løpet av 15 minuttar. Inkludert innblanda sjøvatn går det ca. 15 m<sup>3</sup> ut i fjorden i løpet av dette tidsrommet (blanding 0.45 liter sjøvatn i 1 liter råslam). Med ei årleg slam-mengde på 3.050 tonn tilsvarar dette 76 timar pumpetid. Fluksen tilsvarar 16 l/sekund. Dersom det blir aktuelt med oppgradering av stasjonen, kan desse tala bli endra.

Tørrstoffinnhaldet i slammet er vanlegvis rundt 2 %, men kan tidvis vere opp mot 4-6 %, i følgje Interconsult sin rapport. Slammet kan i tillegg innehalde ein del større partiklar, sidan det ikkje foregår noka form for siling av råslammet i tømestasjonen.

#### 1.4.1 Kjemiske komponentar i slammet

Det ligg ikkje føre målingar av den kjemiske samansetninga av slammet, så på dette punktet må våre vurderingar ta utgangspunkt i estimat. Interconsult v/Bård Alsaker har gitt oss følgjande tal:

Tot-Nitrogen:	1,45-2,17 tonn/år
Tot-Forsfor:	240-360 kg/år
BOF:	11,1-16,6 tonn/år
Suspendert stoff:	15-30 tonn/år
Sedimenterbart stoff:	115 tonn/år
<b>Tungmetall:</b>	
Bly, Pb:	1,6 g/år
Kadmium, Cd:	0,14 g/år
Koppar, Cu:	16,5 g/år
Nikkel, Ni:	7 g/år
Sink, Zn:	24 g/år

#### 1.5 Nokre aktuelle problemstillingar

Dagens utsleppsleidning frå Andershola går i SE retning rett ut frå stranda og munnar ut på 57 m djup (Figur 1 og 4). Kommunen ser i første omgang for seg at eksisterande leidning kan nyttast på permanent basis, men evt. forlenging kan også gjennomførast om dette skulle verte eit vilkår for framtidige utslepp.

Det er forutsatt at slammet blir forbehandla og silt, slik at framandpartiklar og flytestoff blir fjerna.

Før utslepp til djupt vatn vil slammet bli utvatna/blanda i sjøvatn (overflatevatn) på stasjonen. Dette medfører at slammet neppe vil bli spreidd oppover i sjøen, men heller vil spreie seg horisontalt i eit sjikt nær eller under utsleppsdjupet. Sjå kapittel 4.

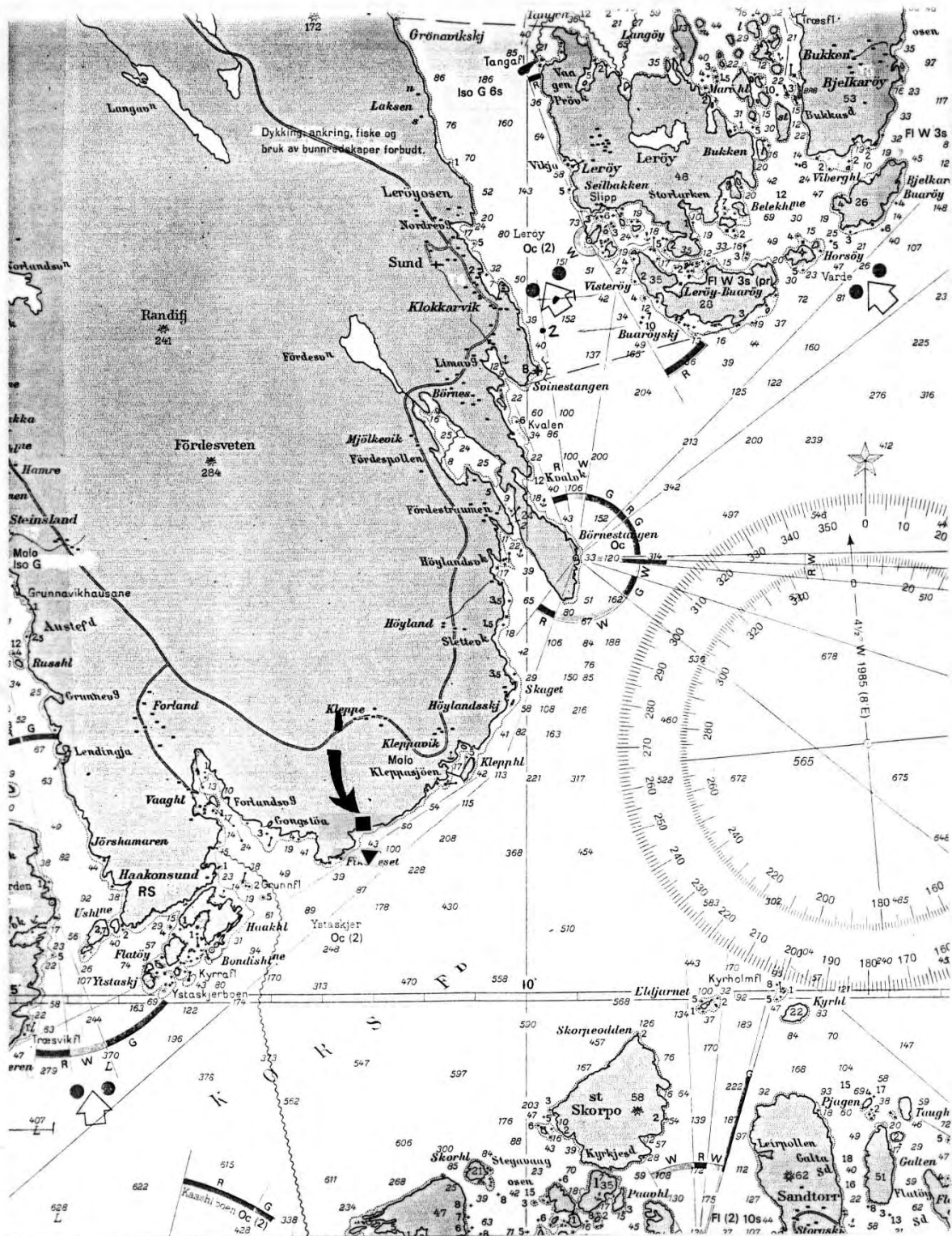
Utsleppsskya vil neppe bestå av kun oppløyst stoff, men vil bestå av fleire fasar eller komponentar, dels med løyst stoff, dels uløyst partikulært stoff og dels vatn. Ein del av det partikulære materialet må ein anta vil sekke ut og sedimentere nær utsleppspunktet. Dette er stadfesta av observasjonar av botnen ved Andershola.

Lette komponentar (inkludert flytestoff) i slammet vil stige opp. Det er tidvis observert brunfarga vatn i overflata over utsleppet ved Andershola. Det er også rapportert om tilgrising av fiskevegn som har stått nær utsleppet.

Avvatna slam frå behandlingsanlegg inneheld mykje fast stoff; gjerne av storleiksorden 20-30 % (Ødegaard 1992). Sjølv om det skjer ein viss omdanning/nedbryting i lagringsprosessen, vil slammet fortsett bestå av partikulært materiale med ulik løysingsevne når eventuelt skal bli utvatna i sjøvatn. På grunn av det store ioneinnhaldet i sjøvatn kan det forventast ekstra utfelling p.g.a. flokkulering. Korleis slammet vil fordele seg i resipienten er gjenstand for ein viss vurdering i denne rapporten. Det er rimeleg å anta at faststoffdelen av slammet vil fordele seg i eit avgrensa område på botnen rundt utsleppet, mens lettare, evt. løyste komponentar kan følgje med det innlagra utsleppsvatnet bort frå utsleppstaden.

Frå ein oseanografisk og marinøkologisk synsstad er det då dei medførande tilførslene av organisk materiale, som medfører oksygenforbruk, og av eventuell annan forureining som vil krevje vurdering. Gjeldande kriterium for miljøkvalitet i fjordar og kystfarvann (Molvær m. fl. 1997) vil her kunne leggest til grunn, ved t.d. å ta utgangspunkt i at resipienten ikkje skal endre tilstandsklasse.

Uavhengig av dette vil ein måtte sjå på lovgjevinga og i kva grad ein i det heile kan få løyve til eit slikt utslepp (dette ligg utanfor NIVAs oppgåve her). I fall det her kan gjevast eit vilkårsløyve (tidsavgrensa, mengdeavgrensa) kan resultatata frå denne rapporten utgjere eit viktig utgangspunkt i sakshandsaminga mot fylke og stat.



**Figur 1.** Utsnitt av sjøkart nr 21, med deler av Sund kommune og austre deler av Korsfjorden. Vi har sjølve avmerkt Andershola slamtømmestasjon (■), og posisjon for NIVAs dopplerstrømmålar (◆) i mai, 1997.

## 2. Krav til slambehandling

### Restriksjonar på disponering av slam

I EU, og dermed også i EØS-landa, er det ein målsetning at slam frå avløpsrensaneanlegg skal bli gjenbrukt så langt råd. Utslepp av slam til vatn ("surface water") via rørleidningar, frå båtar eller på andre måtar, skal fasast ut innan utløpet av 1998 (EEC 1991).

Offisiell politikk i Norge er at slammet frå avløpsrensaneanlegg skal nyttast positivt, fortrinnsvis i landbruket (Miljøverndepartementet 1996, Paulsrud og Nedland 1997). Annan ønskjeleg gjenbruk av slam kan vere som:

- Jordforbetningsmiddel (parkar, grøntanlegg o.l.)
- Fyllingar og felt langs vegar
- Toppdekke på avfallsfyllingar.

Dette forutset imidlertid ein viss kvalitet m.o.t. forekomst av tungmetall, organiske miljøgifter og patogenar (EEC 1986, SHD/MD 1995, Hem 1996). Slam frå avløpsrensaneanlegg som blir brukt som jordforbetningsmiddel skal vere stabilisert og hygienisert (gjeld frå 1. januar 1998). I Norge vil dette i praksis sei (Hem 1996):

- Pasteurisering og anaerob utråtning
- Termofil aerob stabilisering
- Aerob termofil forbehandling og anaerob utråtning
- Kalkstabilisering
- Kompostering
- Anaerob utråtning og tørking
- Lagring i 3-4 år.

I følge EU sitt 'Urban Waste Water Treatment Directive' (EEC 1991) vil deponering av slam i sjøen bli forbode etter 31.12. 1998. Eit nytt direktiv som skal samle alle avløpsdirektiv er under utarbeiding.

Det kan nemnast at britane i mange år dumpa sitt slam i Nordsjøen, og Oslo kommune t.d. dumpa slam utanfor Drøbak. Dette kom det kritikk mot. Oslo kommune har forlengst stansa dumping. Britane brenn no slammet (men dumpar aska i havet).

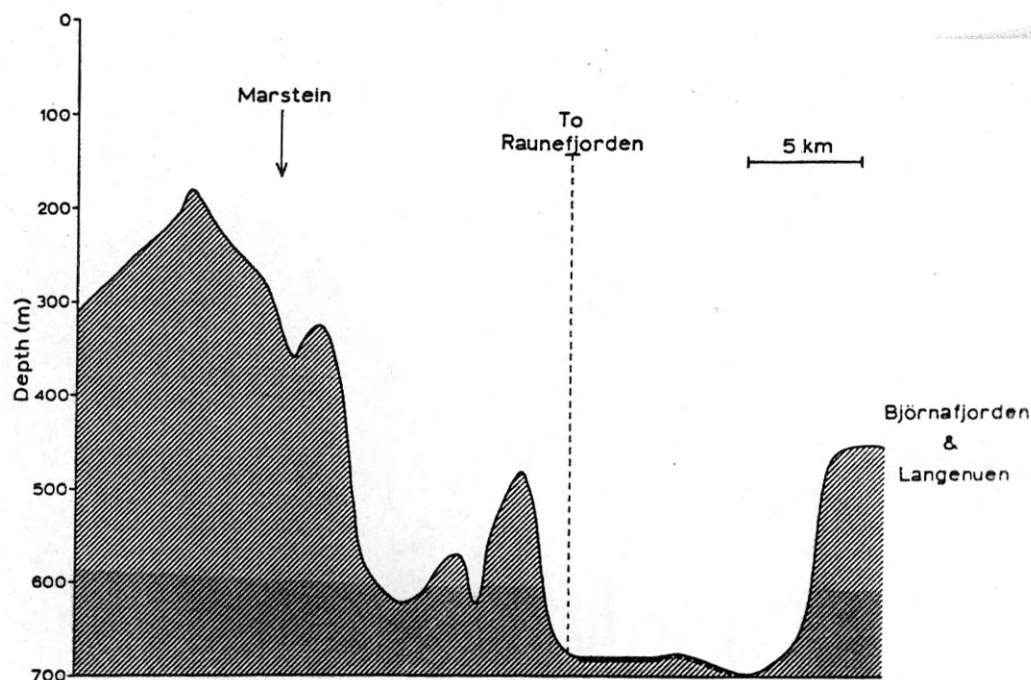
I perioden 1986-1991 blei det dumpa om lag 36 mill. tonn (våtvekt) av slam i havet utanfor austkysten av USA, 106 mil søraust for New York hamn. Djupnene i dumpeområdet er om lag 2.600 m. Slammet blei slepp i overflata frå lekterar og spreidde seg dermed med havstrømmen over eit relativt stort botnareal. Det meste av slampartiklane sedimenterte innafør ein avstand av 100 km frå sjølve dumpeposisjonen. Botnprøver som er tatt etter at dumpinga slutta indikerer ei halveringstid for nedbrytinga av organisk materiale i slammet på 3-6 år (Sayes m. fl. 1996).

### 3. Omtale av Korsfjorden (Krossfjorden)

#### 3.1 Djupnetilhøve

Korsfjorden (Figur 1) strekkjer seg vest-aust frå Marstein fyr og innover mot Lysefjorden. Lengda på fjorden er om lag 15 km, mens breidda mellom Sund og Austevoll er 2-3 km. Største djup ligg i det opne området SV for Korsneset. Der er det djupner på 678 m i følgje sjøkartet. Djupner på over 600 m førekjem også langs landet på Austevoll-sida. Ved innseglinga til Langenuen er der djupner ned mot 690 m. Figur 2 syner eit lengdesnitt frå Marsteinen og innover.

Mot nord dannar Vattlestraumen ein barriere for djupvass-sirkulasjon nord-sør, med ca 40 m terskeldjup. Mot sør er det svært djupt mot Langenuen og Bjørnafjorden. Mot Nordsjøen grunnest det opp noko vest for Marsteinen og terskeldjupet der er på 180 m. Dei andre utgangane frå fjorden mellom øyane i sør har terskeldjupner på 100 m eller grunnare (Mathews og Sands 1973).



**Figur 2.** Djupeprofil frå Marsteinen og innover forbi Korsfjorden og søraustover mot Langenuen (frå Mathews og Sands, 1973).

#### 3.2 Vassutskifting

Korsfjorden har ikkje vore rekna som noko problemområde, og har difor ikkje vore gjenstand for større granskingar tilknytt utslepp o.l. Med den opne topografien mot vest må ein rekne med at effektar av variasjonar i strømfelt og hydrografi på kysten (kelvinbølgjer f.eks.) vil forplante seg innover i Korsfjorden. Returstrøm, lineære og ikkje-lineære effektar og indre bølgjer (Parker 1991) er døme på fenomen som kan opptre i djupvatnet i Korsfjorden og som vil kompliserte strømbiletet.

Institutt for marinbiologi ved Universitetet i Bergen studerte vassutskifting og pelagial biologi i Korsfjorden i perioden 1968-1972 (Mathews og Sands 1973). Hydrografi og vassprøver blei tatt frå 0,

100, 200, 300, 400, 500, 600 og 650 djup. Målingane har altså for grov oppløysing til å kunne bli nytta i våre modellberekningar, men utgjør eit grunnlag for å bedømme vassutskiftinga.

35.0 isohalinen som indikerer grensesjiktet til Atlanterhavsvatn låg i perioden rundt 150-200 m djup, men gjekk nokre få korte periodar både grunnare og djupare. Djupvatnet hadde gode oksygentilhøve i perioden 1968-1972. Verdiane var alltid over 5 ml/l. Dette svarar til karakteristikken "Meget God" i høve til SFTs klassifiseringssystem (Molvær m. fl. 1997). Det var generelt sett høgare oksygenverdiar om sommaren enn om vinteren i djupvatnet.

Gaarder (1916) målte oksygen i Korsfjorden i perioden august 1912- september 1914, i alt 10 gonger. Gaarders målingar i djupvatnet låg i det alt vesentlegaste over 6 ml/l. Kun 5 prøver av i alt ca. 50 frå større djup enn 200 m synt verdiane under 6 ml/l, og ingen lågare enn 5,5 ml/l. Materialet frå perioden 1968-1972 kan tyde på ein svak reduksjon i oksygenivået i høve til perioden 1912-1914. I følge Aure m. fl. (1997) har det skjedd ein nedgang i oksygenkonsentrasjon i fjordar i den sørlege/austlege delen av Norge i det siste, og endringane har vore mest markerte etter ca. 1980. På grunn av manglande regelmessig overvaking er det enno uklårt om denne tendensen også gjeld for vestnorske fjordar.

Helle (1975) rapporterte frå strømmålingar gjort i Lerøysundet i 1973-74. Resultata synt at strømmen gjekk vekselvis mot nord og sør. Nettostrømmens retning var sørgåande i djupner frå ca 50 m og oppover til ca 20 m, og nordgåande i djupare sjikt. På ca 150 m djup (nær botn på målestaden) vart det målt sterkast ström, sannsynlegvis som ein effekt av kraftig innsnevra topografi der.

NIVA gjennomførte strømmålingar i Lerøyosen sommaren 1996 (Nygaard og Golmen 1996). Målingane synt nettoström mot sør i 18 m djup og mot nord i 40 m djup. Terskeldjupet i Vatilestraumen er ca 40 m (Linde 1970) og vatn grunnare enn dette kan flytte seg rimeleg fritt nord/sør forbi Lerøy, mens sirkulasjonen djupare nede blir modifisert på grunn av botntilhøva. NIVA målte strømfart på over 50 cm/s i 70 m djup i Lerøyosen.

Sterk ström i djup ned til ca 160 m synes altså vere eit permanent fenomen i området ved Lerøy (Lerøyosen). Men det er usikkert om dette er eit generelt trekk som gjeld for djupvatnet i heile Korsfjorden.

Byfjordundersøkelsen (f.eks. Botnen m. fl. 1996) som er gjennomført i regi av UiB, har sine sørlegaste stasjonar i Raunefjorden og Fanafjorden, slik at resultata derfrå har mindre/liten relevans for Korsfjorden.

### **3.3 Marinbiologiske tilhøve**

Korsfjorden har god kommunikasjon med kystvatnet i sjikt grunnare enn om lag 200 m. Difor kan ein forvente å finne artar der som er karakteristiske for større område langs kysten. I øvste metrane vil ein merke gradienten mot brakkare fjordvatn i form av endra marin flora/fauna. Utsleppet frå Andershola påverkar imidlertid neppe dette sjiktet nemnande, og under alle omstende må ein søke å finne utsleppsløysingar som eliminerer denne risikoen.

Utsleppet frå Andershola påverkar i dag sannsynlegvis for det meste sjikt i området frå 20-30 m og nedover (jamfør med berekningar i kapittel 5 av innlagingsdjup m.m.). Eksakt kva sjikt det er tale om er det vanskeleg å sei, men ei nedre grense ved 100 m kan sannsynlegvis setjast når det gjeld direkte påverknad. Men for artar som har sesongmessig eller dagleg vandring opp og ned i sjøen kan eit sjikt med forureina vatn danne ein barriere i høve til slik vandring, og såleis påverke biologien i eit større djupnesjikt og område.



I fjordar med markert forureining vil det vere redusert diversitet i botnfaunaen. I Oslofjorden t.d. der det er mest forureining i nordlege deler, er det også tilsvarande mindre artsrikdom i nord, noko som også medfører mindre botnfisk der (Nash 1983).

Djuptlevande pelagisk plankton i Korsfjorden vart inngåande studert i perioden 1968-1972 av UiB (Mathews og Bakke 1977), og på midten av 1970-talet (Båmstedt og Holt 1978). Det innsamla materialet vil kunne vere nyttig som basis dersom ein skal foreta meir inngåande miljøkonsekvensanalyser for eit framtidig slamutslepp.

Miljøeffekter i tilknytting til eventuell framtidig djupvassdeponering av CO<sub>2</sub> frå t.d. gasskraftverk, inkludert mindre eksperiment med dette i fjordar, har vore studert i det siste (Magnesen 1993, Golmen m. fl. 1997, Stenevik og Giske 1997). Erfaringar frå desse utgreiingane når det gjeld biologiske tilhøve vil også kunne nyttast som grunnlag for vidare analysar.

### **3.4 Eksisterande tilførsler av forureining**

Det er vanskeleg å angi eksakt mengde og type forureining som Korsfjorden mottar, utanom slammet frå Andershola. Der er forureining frå mindre lokale kjelder. I tillegg kan ein anta at fjorden mottar diffus forureining frå meir tettbefolka områder lenger nord (Bergen/Sotra), inkludert bidrag frå dei store reinseanlegga ved Flesland og Knappen.

Planavdelinga i Hordaland Fylkeskommune laga ein sone-oversikt over forureiningssituasjonen i fylket (Hordaland Fylkeskommune 1989). Korsfjorden hamna dels i sone 11 ("Raunefjorden") og dels i sone 21 ("Austevoll"). Samla tilførsler i Sone 11 vart rekna til ca 111 tonn fosfor, ca 980 tonn nitrogen og 3.900 tonn organisk stoff. Sone 21 blei oppsummert til 53 tonn fosfor, 515 tonn nitrogen og 2.300 tonn organisk stoff, der havbruk stod for det meste av belastninga.

Ein god del av denne forureininga vil sannsynlegvis ta andre vegar enn gjennom Korsfjorden. Kor mykje forureininga som berører Korsfjorden, og då særleg djupvatnet der, er usikkert. Sannsynlegvis blir ein stor del, transportert gjennom fjorden eller andre vegar utan å forårsake lokale effektar.

## 4. NIVAs målinger ved Andershola i 1997

### 4.1 Bakgrunn/motivasjon

I dette kapitlet omtalar vi strøm- og hydrografimålingane som vart gjennomført i Korsfjorden i april - mai 1997 då det vart målt med ein botnmontert strømmålar ved Andershola. Det vart også gjort hydrografimålingar i samband med utsetting og opptak av strømmålaren. Her presenterer vi måleresultata og litt informasjon om instrumenta og målemetodane som blei benytta.

Målingane vart gjort for å framskaffe opplysningar om spreingstilhøva på utsleppsstaden, som så kunne nyttast i vidare berekningar av effektar. NIVA har frå før ein lang serie med hydrografimålingar frå Korsfjorden utanfor Toftarøy, og desse målingane også blitt henta fram og nytta i rapporten. Sjå nærare omtale av desse målingane i Golmen og Oug (1995).

### 4.2 Måleprogrammet for strøm

#### 4.2.1 Instrument

Strømmålingane vart gjort med ein Aanderaa Instruments DCM12 (Doppler Current Meter) strømmålar. DCM12 er ein ultralyd strømmålar som nyttar Doppler prinsippet til å måle strømfarten. Instrumentet vart plassert på sjøbotnen og målte strøm i 5 djupneceller og i det aller øverste overflatesjiktet. Målaren finn ein middelværdi for strømmen innafor kvar djupnecelle, som kan vere 5-10 m tjukk. Figur 3 syner ei prinsippskisse av ein DCM12 strømmålar og ramma den sat i.

Målenøyaktighetene for dei enkelte sensorane på DCM12 strømmålaren er oppgitt til:

Kompassretning:	$\pm 5^\circ$
Strømfart:	$\pm 3$ cm/s, $\pm 2\%$ av måling (høgste verdi er gjeldande)
Minste målbare fart:	1 cm/s

#### 4.2.2 Måleposisjon

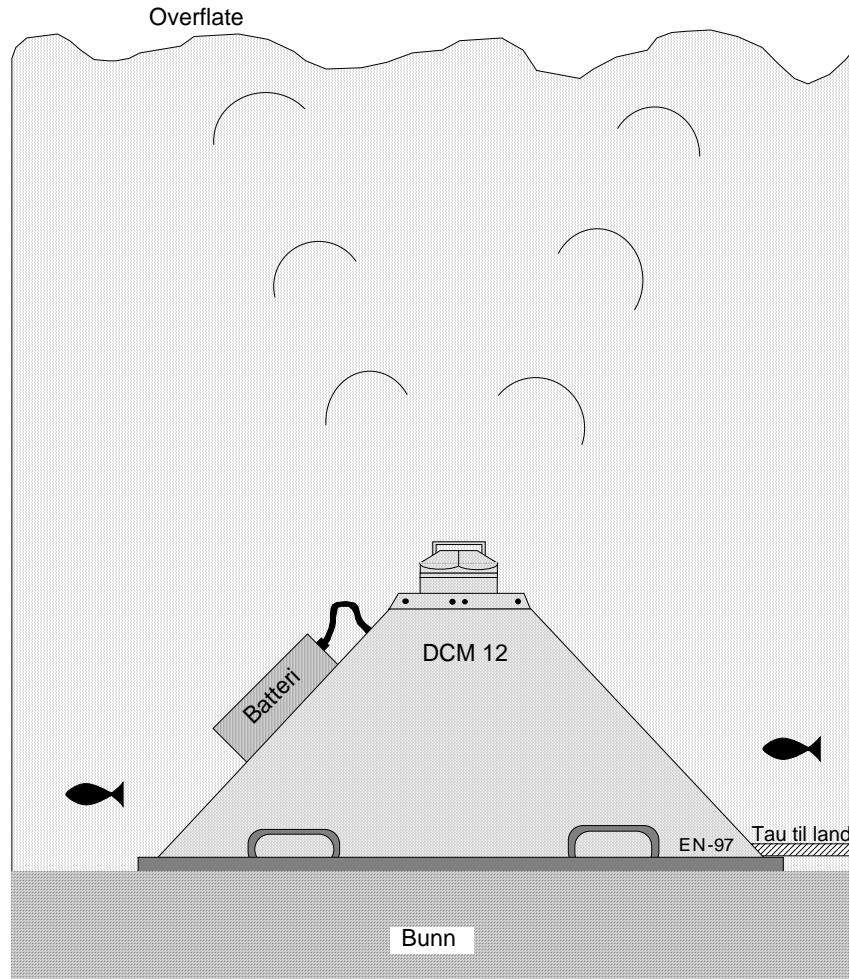
Posisjonen for strømmålingane er innteikna i Figur 1 og 4 og angitt meir nøyte i Tabell 1, som også gir andre generelle opplysningar om strømmålingane.

**Tabell 1.** Oversikt over NIVAs strømmålingar ved Andershola i Sund. Posisjonen er gitt i Europeisk datum, og er avlest frå sjøkart nr. 21. Måledjupa er gitt som midtpunktet i kvar djupnecelle som målaren midlar over.

Posisjon	Botndjup (m)	Måledjup (m)	Målar Nr	Dato ut	Dato inn
N 60° 10.74' E 05° 08.35'	45	0, 7, 14, 21, 28, 35	DCM12# 21	28/4-97	26/5-97

### 4.2.3 Måleperiode

Det var avtalt å måle strøm i fire veker. Ein 4 veker lang måleperiode strekkjer seg over to vanlege spring/nipp tidevassperiodar. Ein skulle difor få med seg det meste av korttidsvariasjonar i strømmen forårsaka av tidevatnet. Eventuelle langperiodiske variasjonar eller episodiske fenomen vil ein imidlertid ikkje nødvendigvis kunne oppdage med såpass kortvarige målingar.



**Figur 3.** Prinsippkisse av NIVAs DCM12 strømmålar opphengt i pyramideforma botn-ramme.

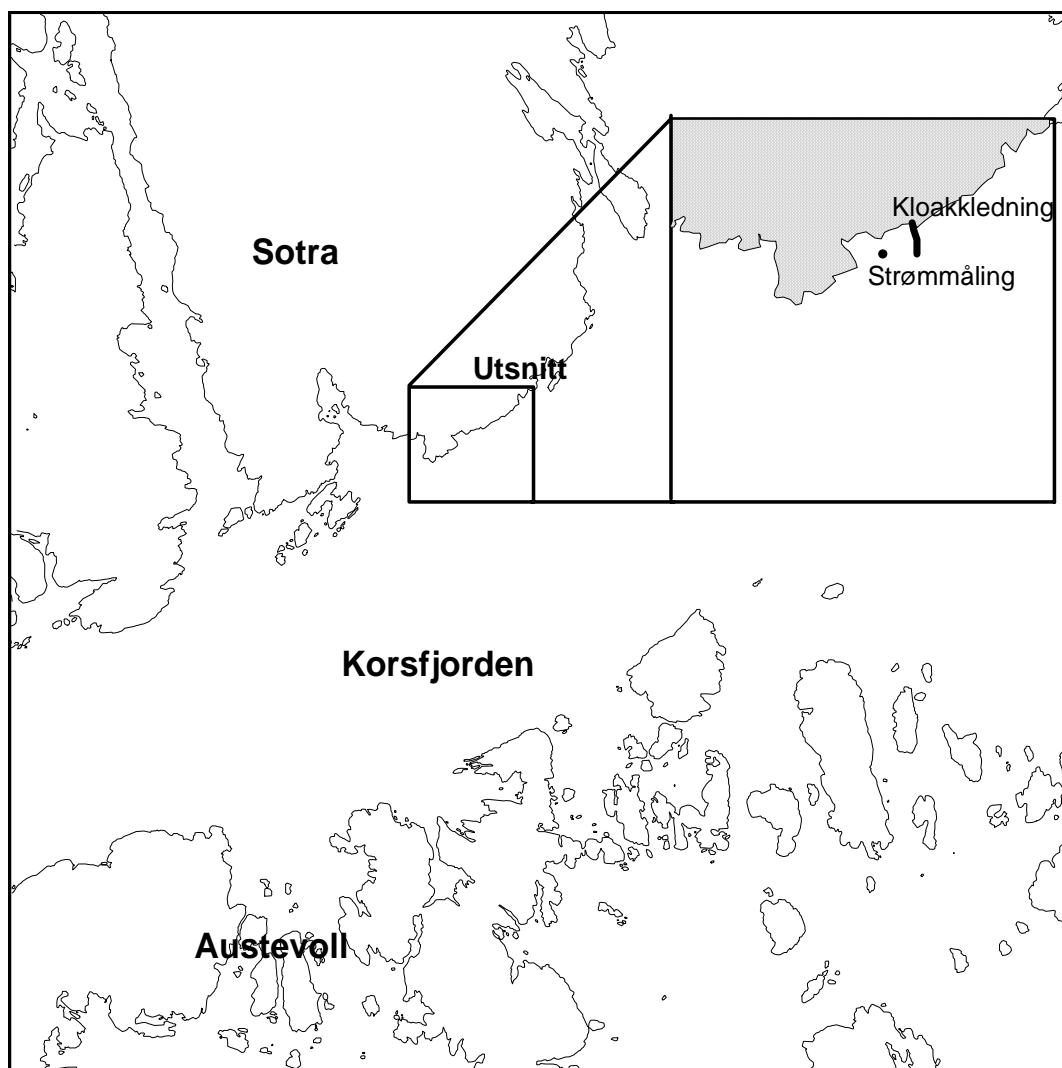
## 4.3 Nye hydrografimålingar

### 4.3.1 Instrument

Ein Sea-Bird Electronics STD-sonde (salinitet, temperatur og djup) vart nytta. Denne registrerer 2 gonger i sekundet og lagrar internt.

### 4.3.2 Tidspunkt for målingar

Det blei gjort hydrografimålingar i sjøen nær Andershola ved 2 tidspunkt samtidig med utsetting (28/4 1997) og opptak (26/5 1997) av strømmålaren. Posisjonen for hydrografimålingane er den same som for strømmålingane.



**Figur 4.** Kart over Korsfjorden med deler av Sotra og Austevoll. Utsnittet viser Andershola og posisjon for strømmålingane.

#### 4.4 Resultat frå strømmålingane

Resultata frå strømmålingane er synt i Vedlegg A, Figur A1 - A13. Figurane viser tidsseriar av strømhastighet og retning.

#### 4.4.1 Middelerdiar

Tabell 2 syner middelerdiar frå strømmålingane i dei 6 nivåa for målingane. Tabellen syner at det var eit sterkt strømskjær mellom 7 og 14 meter. I dei øverste to djupa var det netto strøm mot nord/aust, mens det var ein svak netto strøm mot nord/vest i dei andre djupa.

**Tabell 2.** Middelerdiar for strømmålingane ved Andershola. Stabilitetsfaktoren er definert som absoluttverdien av middel strømvektor delt på middelerdien for fart i midlingsperioden. Dette gir eit tal mellom 0 (tilsvarer svært vekslende strøm) og 1 (tilsvarar einsretta strøm). Verdien for overflatestrømmen (0 m) må tolkast med varsemd, fordi det er mange støykjelder som kan ha påverka resultatet.

Djup (meter)	Skalar middel		Vektor middel	
	Fart (cm/s)	Stabilitetsfaktore r	Retning (°)	Fart (cm/s)
0	47,56	0,46	48	21,78
7	33,13	0,41	39	13,72
14	2,13	0,54	299	1,15
21	1,83	0,61	295	1,12
28	1,87	0,61	293	1,15
35	1,78	0,48	311	0,86

#### 4.4.2 Nokre resultat frå målingane

Figur 5 syner komponent av målt strømfart langs aksa SW-NØ. Strømmen i måleposisjonen var variabel. Frå nivået rundt 7 m djup til nivået rundt 14 m djup var det markert reduksjon i strømmen. I nivået rundt 7 m var strømfarten tidvis opp mot 1 m/s og i dette sjiktet dominerte strøm mot nord/aust. Strømmen var ikkje særleg tidevassdominert. I staden dominerte periodar med ulik varighet og strømsstyrke. Strømmen var i periodar retningsstabil i fleire dagar i strekk. For ein tidevassdominert strøm ville ein forvente skifte av strømreretning 4 gangar dagleg.

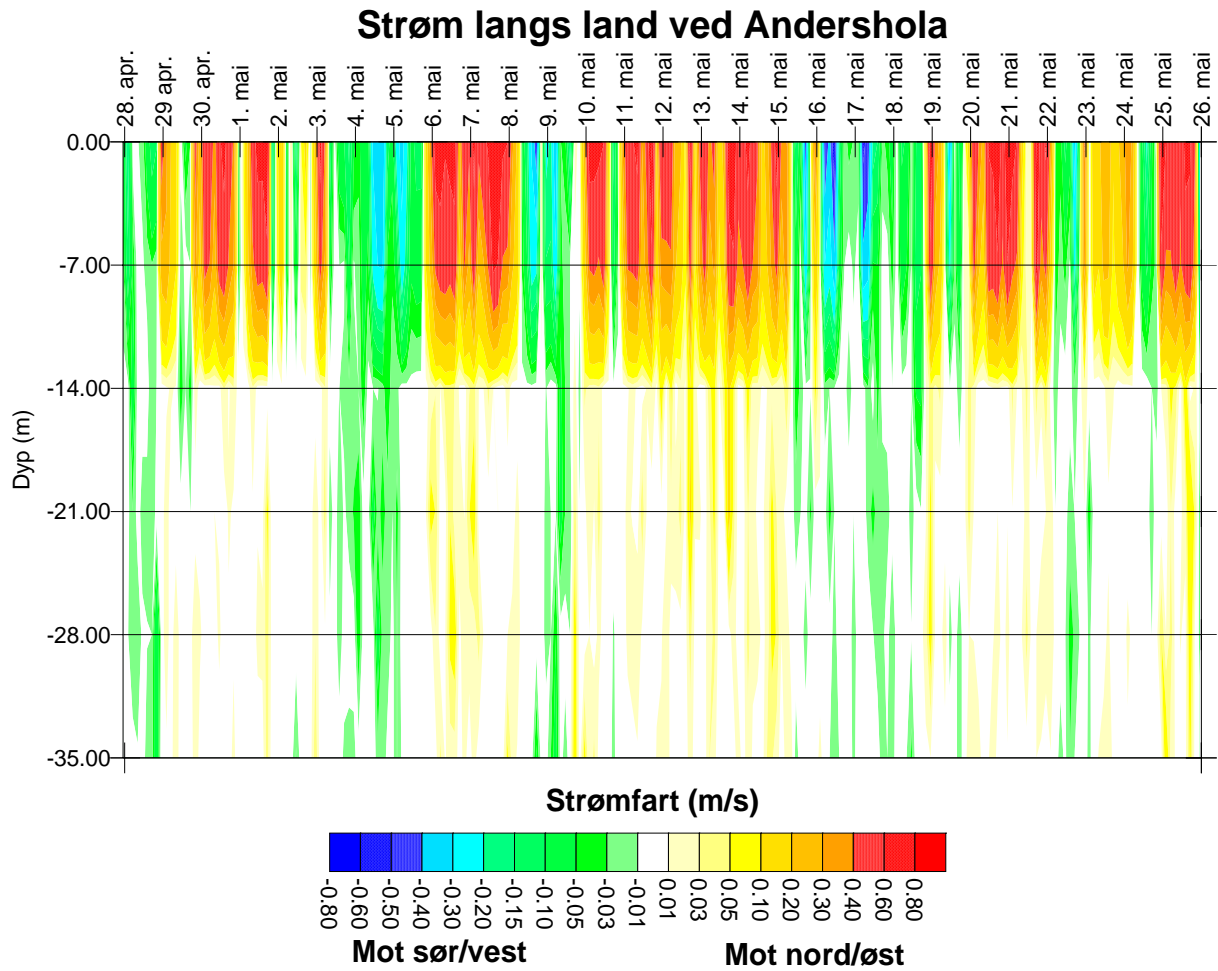
I djup rundt 14 og 21 m varierte strømreretningen omtrent som i øvre lag. Strømfarten var under 10 cm/s mesteparten av tida. I desse djupa var netto strømmen mot nord/vest.

#### 4.5 Resultat frå hydrografimålingane

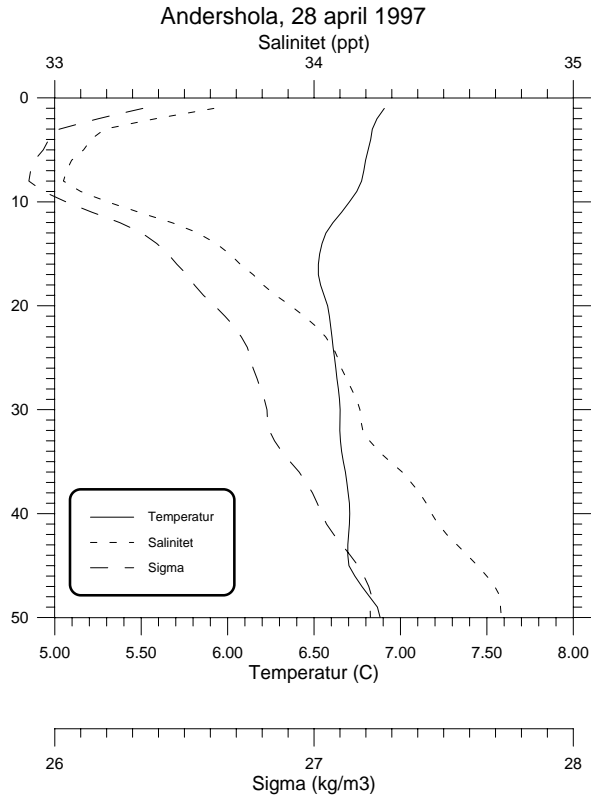
Figur 6 og 7 syner resultat av målingane som NIVA gjorde i nærleiken av utsleppet frå Andershola den 28. april og 26. mai 1997. Ved begge høve var det relativt låge sjøtemperaturar. Sjiktingstilhøva var ganske like ved dei to tidspunkta. Densitetsforskjellen mellom vatn i overflata og i 50 m djup var ved begge høve om lag 1 kg/m<sup>3</sup>.

I April var det ein inversjon i fordelinga av salinitet og densitet i dei øvste 7-8 metrane, d.v.s. at tyngre/meir salt vatn låg øvst. Dette må ha vore eit kortvarig forbigåande fenomen, sannsynlegvis i samband med at vatn frå ulike retningar konvergererte i området der målingane blei gjort.

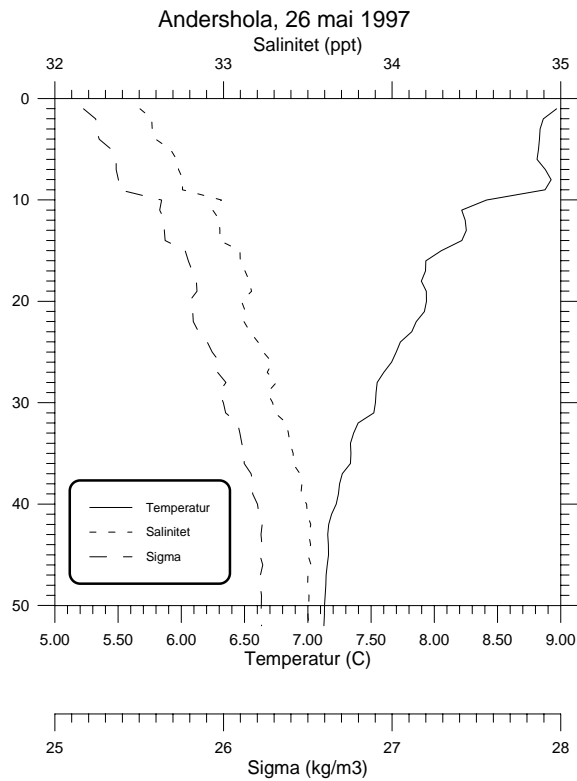
Desse målingane er samanstillt med eldre målingar frå Korsfjorden i samband med modellberekningane i kapittel 5.



**Figur 5.** Syner konturplott av strømfart projisert inn langs ein akse i 60-240° retning. Dette tilsvarar omtrent strøme eine eller andre vegen parallelt med land ved Andershola. Figuren syner at strømmot nord/aust dominerte mesteparten av tida. Det var også eit kraftig strømskjær mellom 7 og 14 m djup.



**Figur 6.** Hydrografimålinger ved Andershola den 28. april 1997. Sigma er sjøens densitet, uttrykt som  $\text{kg/m}^3 - 1000$ .



**Figur 7.** Hydrografimålinger ved Andershola den 26. mai 1997. Sigma er sjøens densitet, uttrykt som  $\text{kg/m}^3 - 1000$ .

## 5. Spreiing av utvatna slam

Utsleppsblendingen vil bestå av sjøvatn som er pumpa opp frå stranda nedanfor Andershola, og utvatna råslam, inkludert nokre lettare og tyngre komponentar. Densiteten til mesteparten av denne blendinga vil sannsynlegvis ligge ein stad mellom densiteten for ferskvatn og densitet for sjøvatn. Densiteten for dei andre komponentane (partiklar) er ikkje målt. Det er rimeleg å anta at ein vesentleg del av den fortynna blendingen vil spreie seg oppover til sjikt over utsleppsdjupet på 57 meter. Kva innlagingsdjup det kan bli tale om, vil avhenge av dei aktuelle sjiktingstilhøva. Eksisterande hydrografiske data frå Korsfjorden blir nytta til å vurdere kva variasjonar i innlagingsdjup som kan forekome.

### 5.1 Innlagingsberekningar

Når avlaupsvatnet stig opp blandar det seg med det omkringliggende sjøvatnet. Dermed aukar både volumet og densiteten av denne "blandingsvannmassen". Dersom vatnet i resipienten er lagdelt, dvs. der er lettare vatn over tyngre vatn, vil avlaupsvatnet ikkje nå opp til overflata. Grunnen er at densiteten til blandingsvannmassen (avløpsvatn+sjøvatn) etterkvart blir lik densiteten til det sjøvatnet omkring. Då stoppar den vertikale rørsla og skya av fortynna avlaupsvatn vil byrje å breie seg horisontalt utover, mens den blir fortynna vidare. Ein seier då at avlaupsvatnet er innlagra.

Modellberekningane blir utført i to trinn. Først blir innlagingsdjupet og primærfortynninga berekna med eit EDB-program, *JETMIX*, utarbeidd av Bjerkeng og Lesjø (1973). Programmet bereknar fortynning og innlagingsdjup for ein enkelt stråle avlaupsvatn i ein sjikta resipient, på basis av hydrografiske profilar i resipienten og data om utsleppet. Programmet bereknar ikkje eksakt innlagingsdjup, men gir det nivået der "blandingsvatnets" densitet er den same som for omgjevande vatn. Blandingsvatnets energi gjer imidlertid at det stig litt forbi dette "likevektsdjupet", før det sekk tilbake og blir innlagra. I det følgjande vil imidlertid innlagingsdjup være likelydande med likevektsdjupet.

Modellen bereknar den teoretisk høgste opptrenginga på to måtar:

- ved fortsatt fortynning etter at likevektsdjupet er "passert" (EQS).
- utan blanding eller friksjon etter at likevektsdjupet er "passert" (GRAV).

Den første metoden (EQS) er antatt å gi mest sannsynleg resultat.

JETMIX inkluderer ikkje verknaden av strøm på fortynninga i strømmens retning etter at avlaupsvatnet er innlagra.

For andre tekniske opplysningar om modellen syner vi til Bjerkeng og Lesjø (1973) eller til tekstbøker om temaet slik som Fischer m. fl. (1979).

#### 5.1.1 Inn-parametrar til modellen:

*Densiteten til utsleppsvatnet* er innleiingsvis satt til  $1.000 \text{ kg/m}^3$ . Dette tilsvarar eit lett utsleppsvatn (ferskvatn). Dernest har vi modellert for noko høgare densitet, opp til sjøvassdensitet på rundt  $1.026 \text{ kg/m}^3$ .

*Diameteren* på utsleppsrøytet (sirkulært tverrsnitt) er satt lik nåverande diameter, d.v.s. 6 " (15,2 cm).

*Vassfluks*en ut av røytet er satt til 16 l/s.



Utsleppsdjupet er satt til 57 m som tilsvarar dagens utsleppsdjup.

*Hydrografiske tilhøve i resipienten:* Til berekningane har vi nytta NIVAs målingar i Korsfjorden frå 1987-1989 påskøytt einiskilde målingar utover på 1990-talet, inkludert dei to målingane våren 1997. Dette utgjer 36 profilar i alt, som dekkjer alle sesongar, og fleire år. Tabell 3 indikerer måletidspunkta. NIVAs målingar frå Korsfjorden går til om lag 90 m, altså mykje djupare enn utsleppsdjupet på 57 m.

### 5.1.2 Resultat

#### A. Lett utsleppsvatn, 1.000 kg/m<sup>3</sup>

Resultata for innlagringsdjup, ekstremdjup og senterfortynning (fortynningsfaktor) ved innlagring er synt i Vedlegg B. Utdrag av resultata er synt i Tabell 3 under. Ekstremdjupet tilsvarar høgste opptrenging for senter av utsleppsskya etter at likevektsdjupet (innlagringsdjupet) er passert. Skya sekk deretter litt nedover igjen, til "innlagringsdjupet".

Resultata viser at det i enkelte situasjonar kan forekome opptrenging til rundt 17 m djup. Målingane frå februar 1988 indikerer dette, og også målingane frå april 1989 gir relativt høg oppstiging (23,9 m). Fortynninga i desse tilfella er svært høg (> 200X).

**Tabell 3.** Nokre resultat frå berekningane av innlagring og fortynning med NIVAs modell *JETMIX*. Djup er angitt i meter. Fortynninga er forholdet mellom volumet av innblanda vatn frå resipienten og utsleppsvatn. År og Mnd/dag representerer måletidspunkt for hydrografi i Korsfjorden.

Profil nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
År	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	88	88
Mnd/dag	04/06	04/27	05/11	05/25	06/23	07/13	08/11	08/31	09/21	10/12	02/02	02/24
Innlagr. djup	36,4	45,3	40,3	41,0	33,8	38,7	38,6	46,1	48,2	37,0	22,8	39,5
Ekstremdjup	31,3	41,2	34,5	34,9	28,3	34,4	32,8	41,6	44,4	31,3	17,4	33,6
Fortynning	151	65	107	109	174	128	127	58	42	140	326	116

Profil nr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
År	88	88	88	88	88	88	88	88	89	89	89	89
Mnd/dag	03/29	04/05	04/26	05/18	06/06	06/28	11/30	12/20	03/13	04/10	05/22	06/19
Innlagr. djup	41,2	30,6	38,4	41,4	46,0	35,2	38,7	39,6	36,0	29,0	41,1	36,8
Ekstremdjup	35,4	22,8	33,1	36,0	41,4	27,3	33,8	33,3	32,1	23,9	36,5	31,1
Fortynning	98	214	127	95	61	165	121	109	148	243	102	146

Profil nr	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
År	89	89	89	89	90	90	90	90	94	95	97	97
Mnd/dag	07/11	09/07	10/16	11/13	04/30	08/21	10/22	12/14	01/12	02/23	04/28	05/26
Innlagr. djup	35,4	47,9	48,2	34,3	39,4	39,6	39,4	43,4	44,6	34,6	38,7	34,3
Ekstremdjup	29,9	44,4	44,4	27,8	34,8	36,3	34,4	40,4	36,5	28,7	33,3	28,2
Fortynning	161	45	42	172	120	11	110	78	70	167	127	177

### B. Utsleppsvatn med innblanda sjøvatn frå overflata

Ovanfor tok vi utgangspunkt i eit "lett" utsleppsvatn, med densitet på  $1.000 \text{ kg/m}^3$ . For å få eit inntrykk av effekten av at det er sjøvatn og ikkje ferskvatn som blir innblanda, har vi berekna innlagingsdjup etc. for nokre profilar som ga særleg grunn innlagring i foregåande berekningar, og nokre som ga djup innlagring. Resultata er synt i vedlegg C, samt i Tabell 4 under (utdrag av resultatata).

**Tabell 4.** Resultat for innlagingsberekningar som inkluderer effekt av sjøvassinnblanding i høve til faktisk salinitet/temperatur i overflatelaget. Djupner i meter. Auke i djup representerer differanse i innlagingsdjup, d.v.s. sjøvassinnblanding minus ferskvassinnblanding (sistnemnde tal er frå Tabell 3).

	Profilar som ga grunn innlagring ved $1.000 \text{ kg/m}^3$						Profilar som ga djup innlagring				
Profil nr	5	11	14	18	28	36	2	9	17	26	27
År	87	88	88	88	89	97	87	87	88	89	89
Mnd/dag	06/23	02/22	04/05	06/28	11/13	05/26	04/27	09/21	06/06	09/07	11/05
Innlagr. djup	50,4	51,3	54,7	44,1	51,1	49,2	50,4	55,1	49,8	54,0	55,1
Ekstremdjup	48,0	46,1	52,8	39,0	46,2	41,6	48,0	53,7	48,0	52,2	53,8
Auke i djup	16,6	28,5	24,1	8,9	16,8	14,9	5,1	6,9	3,8	6,1	6,8
Fortynning	62	27	20	49	23	32	25	11	27	14	11

Det framgår at større densitet i utsleppsvatnet har merkbar innverknad på innlagingsdjupet, særleg når det elles er tale om relativt grunn innlagring. Der berekningane for ferskvatn ga innlagring i sjiktet mellom 17 og 35 m (profilane 4, 11, 14, 18, 28 og 36) får ein no innlagring i sjiktet 43-54 meter.

I realiteten skjer innlagringa sannsynligvis i sjikt mellom det som tala i tabell 3 og 4 syner. Altså typisk i djup rundt 30-40 meter, men med variasjon frå kanskje opp mot 20 meter til ned mot 50 meter i høve til rådande hydrografiske tilhøve.

#### Djupare inntak av sjøvatn

For å få enno djupare innlagring kan ein ta inn sjøvatn frå større djup. I prinsippet kunne eit ta inn sjøvatn på større djup enn utsleppet, og gjennom dette oppnå at utsleppsvatnet blir innlagra enno djupare, eventuelt slik at det dannar ein tung botnstraum. Vi har ikkje gjort berekningar for dette. Ulempa med slikt djupt vassinntak kan vere at fortynna slam då i større grad kjem i kontakt med botnen over eit større område.

## 5.2 Spreiing på grunn av strøm

Dei føregåande berekningane vart gjort utan å ta omsyn til strømmen i resipienten. Strømmen kan bidra til å auke primærfortynninga, og til å transportere fortynna avlaupsvatn bort frå utsleppsstaden. Strømmen i sjikt under 10-15 meter er svak, i følge strømmålingane som blei gjort i 1997. Middelveidiane for dei forskjellige måledjupa låg rundt  $2 \text{ cm/s}$  (avsnitt 4.4.1). Det var sjeldan registrert sterkare strøm enn  $10 \text{ cm/s}$ .

Vi har forsøksvis gjort nokre berekningar av innlagingsdjup og sekundærfortynning med bruk av modellane PLUMES og CORMIX (Baumgartner m. fl. 1993). Begge tar omsyn til strøm i resipienten, men har litt forskjellig struktur når det gjeld inn-data og formelverk. CORMIX kan ta omsyn til at strømmen reverserer regelmessig, t.d. i takt med tidevatnet, men har ein forenkla struktur på inn-data for hydrografi og strøm (kun to lag). Modellane er interaktive, men noko meir omstendelege å bruke enn JETMIX. M.a. må ein gjere berekningar for ein og ein profil for hydrografi og strøm.

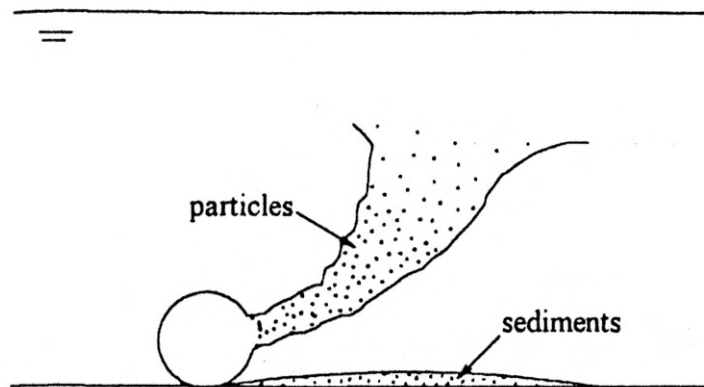
Modellane ga tilnærma same innlagringsdjup som føregåande berekningar med JETMIX. For ein test med PLUMES med innlagt strømpofil tilsvarande middelverdiane for målt strøm i 1997 (Tabell 2), og ein situasjon med hydrografi representativ for april, fann vi eit innlagringsdjup på 41 meter, med tilhøyrande primærfortynning på 146. Sistnemnde tal er noko større enn det JETMIX ga, og representerer sannsynlegvis ein tilleggseffekt på fortynninga på grunn av strømmen.

Innlagring blir oppnådd raskt, etter ca 10 sekund. Deretter transporterer strømmen avfallet vidare, mens det foregår ei vidare fortynning. Etter 1/2 time er fortynninga 100 m nedstrøms 90 gonger. 500 m nedstrøms utsleppet er fortynninga for den aktuelle situasjonen om lag 2000. Dette er basert på føresetnad om eit kontinuerleg utslepp. I realiteten foregår slamtømminga i kortare periodar enn 1/2 time (jamfør med avsnitt 1.5), men for effektar og fortynning under adveksjonen nedstrøms betyr ikkje dette stort.

Effekten av strøm i resipienten er m.a.o. auka primærfortynning av utsleppet, og transport av avfallstoffet bort frå utsleppsstaden. Dette blir nærare vurdert under diskusjonen kapittel 6.

### 5.3 Sedimenterande materiale

Berekningane ovanfor tok ikkje omsyn til at ein del partikulært materiale vil felle ut og sedimentere i nærleiken av utsleppet. Dette er ei relativt kompleks problemstilling, som det inntil nyleg har vore arbeidd relativt lite med i forhold til studiar av spreiding av oppløyst stoff (Baumgarner m. fl. 1993). Figur 8 illustrerer korleis ein slik “to-fase” spreiding inkludert sedimenterande materiale kan sjå ut.



**Figur 8.** Illustrasjon av korleis partiklar/partikulært materiale sedimenterer ut frå eit kloakkutslepp (frå Neves og Fernando 1995).

Metodar og modellverktøy for å berekne spreiding både av løyst stoff (avlaupsvatn) og partikulært materiale som sekk til botn, har vore mangelfulle, inntil nyleg i allefall (Neves og Fernando 1995). Sistnemnde fann to forenkla uttrykk for lengdeskalaer for partikkelbanen.

$$l_m = \frac{M_0^{1/2}}{w_s}$$

$l_m$  uttrykkjer høgd/avstand frå utsleppet der partikkelens utfellingsfart balanserer farten til den oppstigande utsleppsskya.  $M_0 = \pi R^2 w_0$  der  $R$  er utsleppsrørets radius,  $w_0$  er initialfart ut av røyret, og  $w_s$  er utfellingsfarten. Vidare uttrykkjer

$$l_b = 18 \frac{w_s^2}{g'}$$

lengdeskalane frå partikkelen står i ro i utsleppsskya til den når sin endelege utfellingsfart,  $w$ .  $g'$  er redusert tyngde (partikkel minus omgjevande vatn). Forholdet  $l_b/l_m$  kan gje nyttig informasjon om korleis gjevne partiklar vil oppføre seg. Men dette krev detaljert kunnskap om både partiklar og avlaup.

Det har vore gjort feltstudiar av sediment i nærleiken av kommunale avlaup for å måle nedfall/opphoping av partiklar. Resultata frå slike studiar kan vere vanskelege å tolke på grunn av kjemisk omdanning og vekselverknad mellom sedimentet og organismar. Romana m. fl. (1992) studerte spreining av partiklar frå eit avlaup på 42 m djup, som er i nærleiken av den djupna som er diskutert for Andershola. Metoden som vart nytta, var å tilsette avlaupet litt radioaktivt sporstoff som så kunne registrerast i sedimentprøver i eit tidsrom etterpå. Spor av utsleppet i sedimentet vart funne inntil 1.500 m frå utsleppet. Sjølv om dette dreidde seg om eit stort utslepp (60.000 pe) med ca. 85 % av faststoffet fjerna, kan resultata gje ein peikepinn på storleiken av sedimenteringsområdet rundt eit framtidig utslepp frå Andershola.

Vi går ikkje nærare inn på denne problematikken, men har påpeikt at med ein betre karakteristikk av utslepp og resipient ved Andershola vil det vere mogleg å gje svar på fleire spørsmål knyta til spreining og sedimentering av fast stoff.

## 5.4 Stoffbudsjett og fluksar

Utsleppsmengdene frå Andershola (sjå avsnitt 1.4.1, side 10) kan samanliknast med naturleg forekomande stoffmengder i Korsfjorden, og til naturlege fluksar inn- og ut av fjordsystemet.

### 5.4.1 Bidrag til konsentrasjonsauke i fjorden

I perioden februar-juni 1977 gjorde UiB målingar av næringssalt i Korsfjorden frå overflata til 50 m djup (Erga og Heimdal 1984). Konsentrasjonane følgde eit mønster med høge verdiar om vinteren, og så avtakande verdiar utover våren og sommaren på grunn av primærproduksjon (alger). Tabell 5 syner gjennomsnittskonsentrasjonar, og kva samla stoffmengde dette representerer (for eit 20 m djupt vassvolum med 5 km x 5 km utstrekning). Dei naturlege tids-variasjonane indikerer sesongmessig dobling/halvering av konsentrasjonane.

Totale årlege stoffmengder frå slamtømminga er anslagsvis 2 tonn nitrogen og 300 kg fosfor. Dersom ein antar at alt dette blir pumpa ut over ei kort tid og fordeler seg i det omtalte vassvolumet utan at dette blir fornya, er det tale om konsentrasjonsauke for nitrogen på 17 % (sommar) eller 8-10 % (vinter). For fosfor er tilsvarande tal 12 % (sommar) og 5 % (vinter). I høve til dei naturlege variasjonane i fjorden utgjer dette moderate endringar i konsentrasjon av næringssalt. Eksempelet bygg på ei rad forenklingar, som bidrar til å gjere anslaga konservative. M.a. er det berre ein del av utsleppet av Tot-N og Tot-P som vil foreligge som nitrat og fosfat. Sannsynlegvis er midlare opphaldstid for den aktuelle vanmassen langt kortare enn ei veke. Pumpinga foregår ikkje kontinuerleg, slik at vatnet i fjorden kan bli fornya heilt eller delvis mellom pumpeperiodene. Men som tidlegare nemnt, må ein rekne med ein vesentleg større prosentvis konsentrasjonsauke nær utsleppet under tømming enn det anslaga ovanfor indikerer.

**Tabell 5.** Gjennomsnittskonsentrasjonar av næringssalt i Korsfjorden, 0-50 m djup (basert på tal frå Erga og Heimdal 1984), samt berekna stoffmengde for eit 5 km x 5 km stort og 20 m djupt område av fjorden.

	Gjennomsnitt, vinter		Gjennomsnitt, sommar	
	Konsentrasjon	Total mengde	Konsentrasjon	Total mengde
Nitrat, NO <sub>3</sub> , µg/l	60	30 tonn	30	15 tonn
Fosfat, PO <sub>4</sub> , µg/l	10	5 tonn	5	2,5 tonn

#### 5.4.2 Bidrag til materialfluks

Vi har ikke funne tal i litteraturen som angir storleiken på midlare opphaldstid for vatn i Korsfjorden. Om vi betraktar det same vassvolumet som ovanfor (5 km x 5 km x 20 m), og konservativt reknar med ei veker opphaldstid for dette volumet, blir den gjennomsnittlege vassutskiftinga /fluksen på ca. 800 m<sup>3</sup>/s. Med minste næringssaltkonsentrasjonar (sommarverdiar, Tabell 5) gir dette ein stoff-fluks på om lag 0,02 kg/s for nitrat, og 0,004 kg/s for fosfat inn/ut av fjorden.

Momentan-fluks frå Andershola under pumping tilsvarar om lag 0,007 kg/s for total-nitrogen og 0,001 kg/s total-fosfor (basert på årleg effektiv pumpetid på 76 timar). Av dette framgår det at det momentane bidraget frå pumpinga mindre enn eller lik 25 % sett i høve til dei naturlege fluksane inn/ut av fjorden.

## 6. Diskusjon

Både suspendert stoff og sedimenterbart stoff blir spreidd ut i resipienten frå utsleppet ved Andershola. Deler av stoffet blir spreidd over eit stort område med strømmen. Samla mengde fast stoff i eit middel-år er om lag 130-150 tonn (avsnitt 1.4.1). Om ein tar utgangspunkt i at alt dette i den innleiande fasen held seg svevande i sjøen, indikerer modellberekningane våre at dette blir spreidd på djupner rundt 30-40 meter. Berekningane indikerer vidare ein fortynningsgrad på ca 100 i avstand 100 m frå utsleppet (for desse storleikane kan det i realiteten vere relativt store tids-variasjonar).

Strømmen i dei djupnesjiktane der avlaupsvatnet for det meste vil spreie seg (-vi ser her bort frå mindre mengder flytestoff som tidvis kan nå til overflata) hadde hovedkomponent mot sørvest. Strømmen hadde denne retninga i anslagsvis 75-80 % av tida. Det kan dermed forventast at det meste av stoffet blir spreidd mot sørvest eller mot sør.

Det stoffet som fell ut på botnen vil sannsynlegvis ligge innafør ein sektor eller eit ellipseforma område. Dykkarobservasjonar tyder på at synlege spor på botnen er avgrensa til eit lite område framfor utsleppet, og at det er små mengder der (1-2 %?) i høve til det totale utsleppet.

Hovedstrømretning ved utsleppspunktet mot sørvest vil sei at oppløyst slam blir ført utover i Korsfjorden, og i mindre grad nordover mot grunnare og sannsynlegvis meir sårbare område i retning Raunefjorden. Det er imidlertid vanskeleg å sei kor stor del som vil bli ført ut til kystvatnet, og kor stor del som vil resirkulere inne i Korsfjorden.

Slamtømmeaktiviteten har foregått over korte tidsrom (om lag 15 minutt pr tømning). Det vil sei at sjøen nær utsleppet frå ei utspyling i stor grad vil bli fortynna og ført vekk frå nærområdet før neste utspyling, mens kun mindre mengder faststoff blir liggande att på botnen, slik observasjonane tyder på.

Ei vanleg tømning representerer om lag 35 kg BOF. For kommunalt slam kan ein rekne at KOF og BOF-mengdene er om lag like. Ved normal mikrobiell nedbryting i sjøen vil det ta fleire dagar å omsette eller bryte ned alt dette. Om ein ser på eit utslepp (ei tømning) som foregår over ca 15 minuttar, vil dette i følge berekningane vere fortynna til ca 1/100 i ein avstand på ca 100 m frå utsleppet. Om ein fordeler dette jamt over eit 5 m tjukt, 100 m langt og 15 m breitt sjikt i sjøen, vil den teoretiske oksygenreduksjonen bli på ca 3,5 ml/l. Oksygenkonsentrasjonane i sjøen om vinteren og våren ligg gjerne rundt metning, d.v.s. 6-8 ml/l, slik at ein reduksjon med 3,5 ml/l kortvarig vil kunne bringe verdiane i det aktuelle sjiktet med mot uakseptable verdiar. For ein sommarsituasjon med lågare bakgrunnsverdiar kan dette teoretisk sett gje enno lågare verdiar.

Rekneeksempelet er imidlertid basert på tilnærma momentan nedbryting av slammet, noko som er urealistisk. I praksis vil nedbrytinga vanlegvis skje over lengre tid, og dermed i eit langt større vassvolum enn det som eksempelet tok utgangspunkt i (jamfør diskusjon om nærings salt-budsjett i avsnitt 5.4). Dersom ein i tillegg antar at tømninga foregår til andre tider enn om sommaren og tidleg haust, er det i praksis lite sannsynleg at det vil oppstå oksygenproblem i sjøen rundt utsleppet.

Rundt utsleppet vil det uansett vere etablert eit område med forringa kvalitet på sediment, og der sjøen vil vere påverka i perioder under og like etter tømning. I forhold til vanlege kloakkutslepp som foregår kontinuerleg og som har slamfelling, vil belastninga for utsleppet ved Andershola vere meir konsentrert i tid, og dermed vil den momentane belastninga kunne tilsvare eit langt større utslepp enn dei om lag 3.000 personekvivalentane som utsleppet representerer. Rekneeksempelet ovanfor når det gjeld KOF har tatt høgde for dette, men vi kan ikkje sjå vekk frå forbigåande effekter av andre stoff, slik overskriding av risikogrensar når det gjeld tungmetall i forhold til marine organismer.

Spreiing av patogenar er eit aspekt som vi ikkje har diskutert. Dersom smittestoff kan overleve i lengere tid i slam, vil slikt kunne bli spreidd i sjøen rundt utsleppet, evt. frå sedimenterende materiale. Kunnskapen omkring dette har i allefall inntil nyleg vore mangefull. US-EPA (1986) diskuterer dette i samband med dumping av slam til havs: *“In summary, with what little information is available, it is only possible to speculate on the occurrence of human health risks from pathogens in municipal sludge disposed in the ocean. More research is needed in order to develop a definitive risk assessment methodology.”* (Kjelde: Qualitative Pathogen Risk Assessment for Ocean Disposal of Municipal Sludge, EPA/600/6-88/010). Det er såleis vanskeleg å trekkje konklusjonar på dette område utan å foreta meir inngåande studiar.

Kvaliteten av djupvatnet i sjølve Korsfjorden vil neppe bli målbart eller merkbart berørt av framhaldande utslepp av slam frå Andershola. Det vil dermed mest sannsynlegvis bli tale om verknader som er avgrensa i tid til periodene under og like etter tømning, og i rom til området like ved utsleppet.

Fleire faktorar kan bidra til å redusere eller eliminere evt. effekter:

- Tidsmessig vil det vere mogleg å styre tømninga inn mot perioder av året med minst forventa effekter i resipienten.
- Ved å endre design av utsleppet vil ein sannsynlegvis kunne redusere influensområdet noko.
- Endring av rutiner for slamhandtering og tømning på land vil også kunne bidra til å redusere effektene i resipienten.
- Overvaking i resipienten i samband med slamtømning vil gje kunnskap om spreingsmønster og også om effektar (Petrenko m. fl. 1997). Erfaringane frå dette kan nyttast saman med modellberekningar til å endre eller forbetre tømmerutinene.

## 7. Referansar

- Aure, J., F. E. Dahl, L. G. Golmen, T. Johannessen og J. Molvær 1997: Vurdering av oksygenutvikling og organisk belastning på kyststrekninga Jomfruland-Stavanger. Rapp. Nr. 3555-96, NIVA, Oslo, 36 s.
- Baumgartner, D. J., W. E. Frick, P.J. W. Roberts og C.A. Bodeen 1993: Dilution models for effluent discharges. Rapp. US-EPA, Oceans and coastal prot. div., Newport, ORE, USA, 146 s.
- Bjerkeng, B. og A. Lesjø 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. Rapp. nr. O-126/73, NIVA, Oslo.
- Botnen, H., Ø. F. Tvedten, P. J. Johannessen og S. Hjøhlman 1996: "Byfjordsundersøkelsen" overvåking av fjordene rundt Bergen 1994 med oppsummering av resultater fra 1973-1994. Rapp. nr 11/96, IFM, UiB, Bergen, 192 s.
- Båmstedt, U. og M. R. Holt 1978: Experimental studies on the deep-water pelagic community of Korsfjorden, Western Norway. Sarsia, Vol. 63, Nr 4, s. 226-236.
- EEC 1986. Council directive on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. 86/278/EEC.
- EEC. 1991. Council directive concerning urban wastewater treatment. 91/271/EEC.
- Erga, S. R. og B. R. Heimdal 1984: Ecological studies on the phytoplankton of Korsfjorden, western Norway. Journ. Plankton Res. Vol. 6, Nr. 1, 67-90.
- Fischer, H. B., E.J. List, R. B. Y. Koh, J. Imberger og N. H. Brooks 1979: Mixing in inland and coastal waters. Academic Press Inc, San Diego, 483 s.
- Gaarder, T. 1916: De vestlandske fjorders hydrografi. 1. Surstoffet i fjordene. Bergens. Mus. Årbok 1915-1916. Naturvidensk. række, Nr 2, 200 s.
- Golmen, L. G. og E. Oug 1995: Resipientgransking ved tre havbrukslokalitetar i Austefjorden og Toftosen, Sund kommune 1995. Rapp. nr. 3362-95, NIVA, Bergen/Oslo, 55s.
- Golmen, L. G., J. Sørensen, P. Haugan, T. Bakke og V. Bjerknes 1997: Norwegian fjords as potential sites for CO<sub>2</sub> experiments. A preliminary feasibility study. Rapp. Nr. 3639-97, NIVA, Bergen/Oslo, 52 s.
- Helle, H. B. 1975: Oseanografisk resipientundersøkelse av fjordene rundt Bergen. Bind 1 og 2. Rapp. Geofysisk institutt, UiB, Bergen.
- Hem, L. J. 1996. Norway. In A global atlas of wastewater sludge and biosolids use and disposal (Edited by Matthews, P.). IAWQ.
- Hordaland Fylkeskommune 1989: Miljøplan Hordaland. Tema vassforureining. Rapp. Hordaland Fylkeskommune, 166 s.



- Interconsult 1998: Sund kommune. Framtidig slambehandling, utgreiing om bruk og oppgradering av slamtømmestasjonen i Andershola, og alternative hovudløysingar. Rapp. Interconsult, Bergen, Mars 1998, 11 s.
- Linde, E. 1970: Hydrography of the Byfjord. Rapp. nr. 20, mars 1970, Geofysisk institutt, UiB, Bergen, 38 s.
- Magnesen, T. 1993: CO<sub>2</sub> injeksjon i havet, effekter på marint liv. Rapp. Nr. 6/93, SMR, Univ. i Bergen, 21 s.
- Mathews, J. B. L. og N. J. Sands 1973: Ecological studies on the deep-water pelagic community of Korsfjorden, Western Norway. The topography of the area and its hydrography in 1968-1972, with a summary of the sampling programmes. Sarsia, Vol. 52, s. 29-52.
- Mathews, J. B. L. og J. Bakke 1977: Ecological studies on the deep-water pelagic community of Korsfjorden, western Norway. The search for trophic pattern. Helgoländer Wiss. Meeresunters. Vol. 30, s. 47-61.
- Miljøverndepartementet 1996: Forskrift om avløpsslam. Rapport T-1152, 92/4841 VA, Miljøverndepartementet, Oslo, 24 s.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei og J. Sørensen 1997: Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. Rapp. TA-1467 (1997), SFT, Oslo 36 s.
- Nash, R. D. M. 1983: The distribution of fish in the Oslofjord and its possible relationship to pollution. In: Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms (Ed. J. Gray og M. E. Christiansen), John Wiley & Sons, Chichester, UK, 639 s.
- Neves, M. J. og H. J. S. Fernando 1995: Sedimentation of particles from jets discharged by ocean outfalls: A theoretical and laboratory study. Water Sci. Tech. Vol 32, Nr 2, s 133-139.
- Nygaard, E. og L. G. Golmen 1996: Oppmåling av strømforhold mellom Lerøy og Sotra juli-august 1996. Rapp nr. 3524-96, NIVA, Oslo/Bergen, 76 s (sperra).
- Parker, B. P. (Red.) 1991: Tidal Hydrodynamics. Diverse artiklar, spesielt om modellering av tidevatn. John Wiley & Sons, New York, 883 s.
- Paulsrud, B. og K. T. Nedland 1997: Strategy for land application of sewage sludge in Norway. Wat. Sci. Tech. Vol. 36, No. 11, s. 283-290.
- Petrenko, A. A., B. H. Jones, T. D. Dickey, M. LeHaitre og C. Moore 1997: Effects of a sewage plume on the biology, optical characteristics, and particle size distributions of coastal waters. Journ. Geophys. Research. Vol. 102, No C11, s. 25-061-25.071.
- Romana, L.A., P. Bisset, G. Pagano, A. Arnoux, Y. Martin, A. Calliot og R. Loarer 1992: Use of radioactive tracing techniques to identify particulate deposits and biological effects of urban effluents from sewage outfalls. Wat. Sci. Tech. Vol. 25, No 12, s. 115-122.
- Sayes, F. L., S.P. Smith og J. E. Goudreau 1996: Deep ocean sludge disposal, sediment oxygen consumption and sediment oxygen profiles at deep water municipal dumpsite 106. Ocean Publishers Association, Amsterdam, 31 s.

SHD/MD (Sosial- og helsedepartementet og Miljøverndepartementet). 1995. Forskrift om avløpsslam.

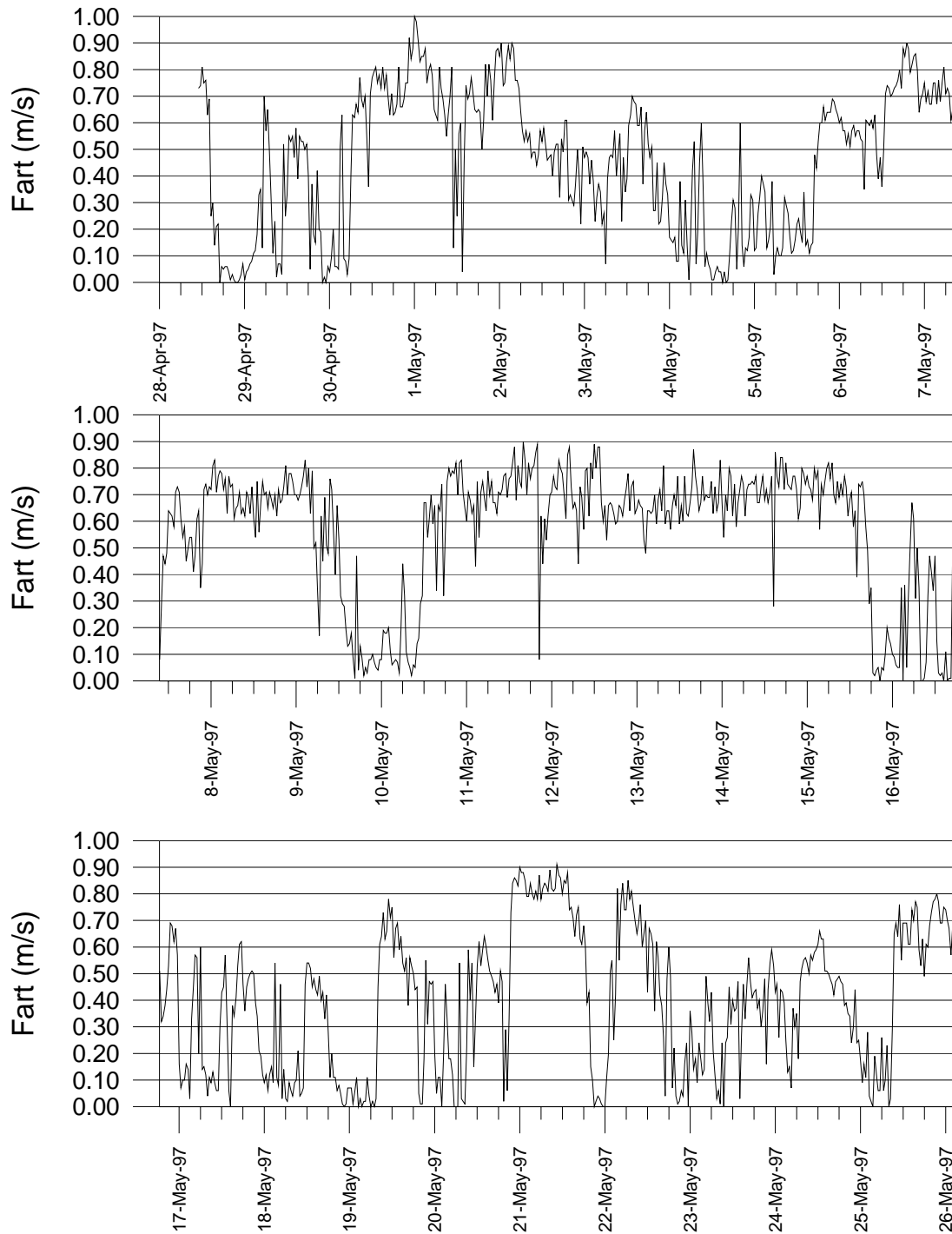
Stenevik, E. K. og J. Giske 1997: Biological impact of CO<sub>2</sub> disposal in Norwegian waters. Rapp. nr. 2/1997, IFM, Univ. i Bergen, 29 s.

US EPA 1986: Qualitative patogen risk assessment for ocean disposal of municipal sludge. EPA Doc. No. 7.600688010, Washington, 152 s.

Ødegaard, H. 1992: Norwegian experiments with chemical treatment of raw wastewater. I: Wat. Sci. Tech. Vol. 25, Nr. 12, s. 255-264.

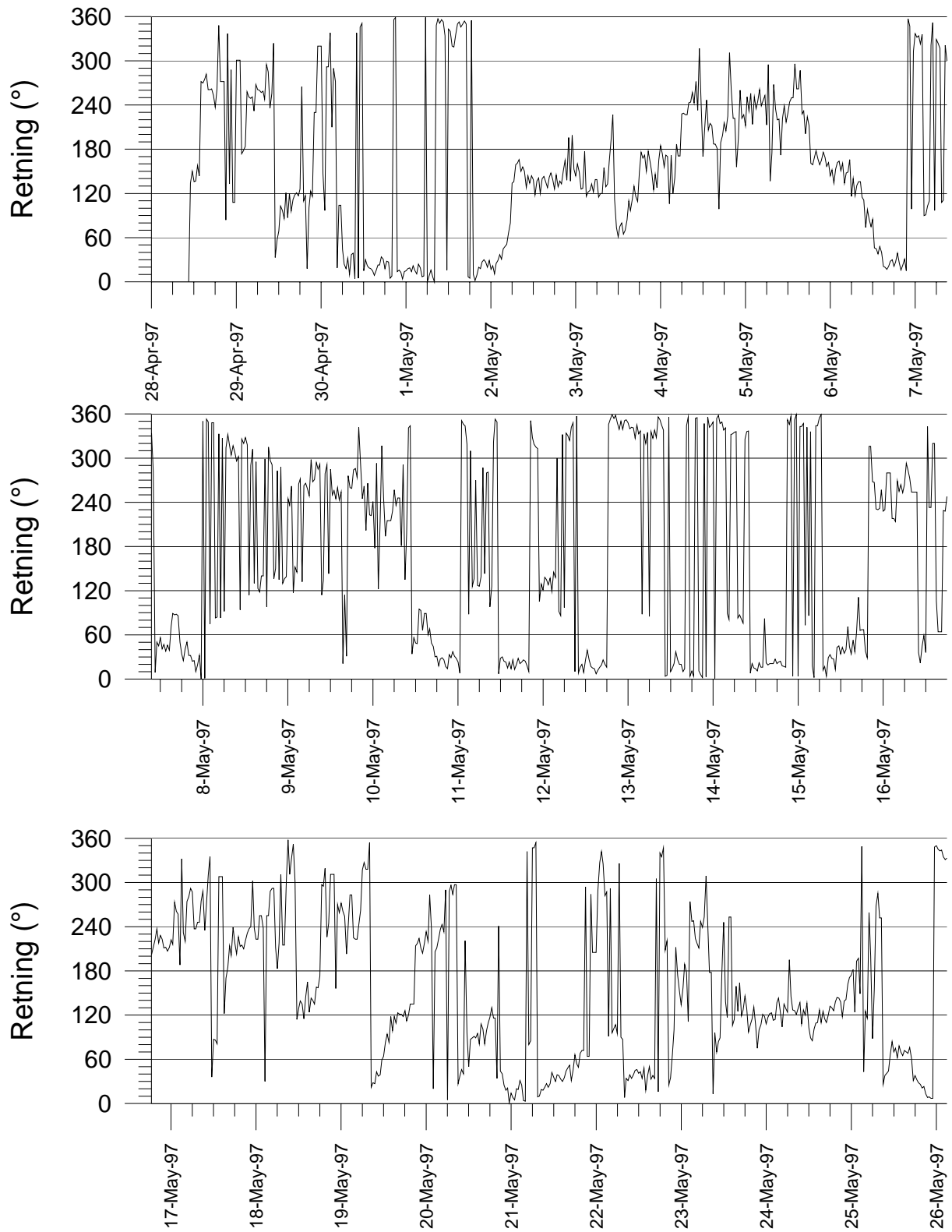
## Vedlegg A. Figurar frå strømmålingane

Sund, strømfart i overflaten



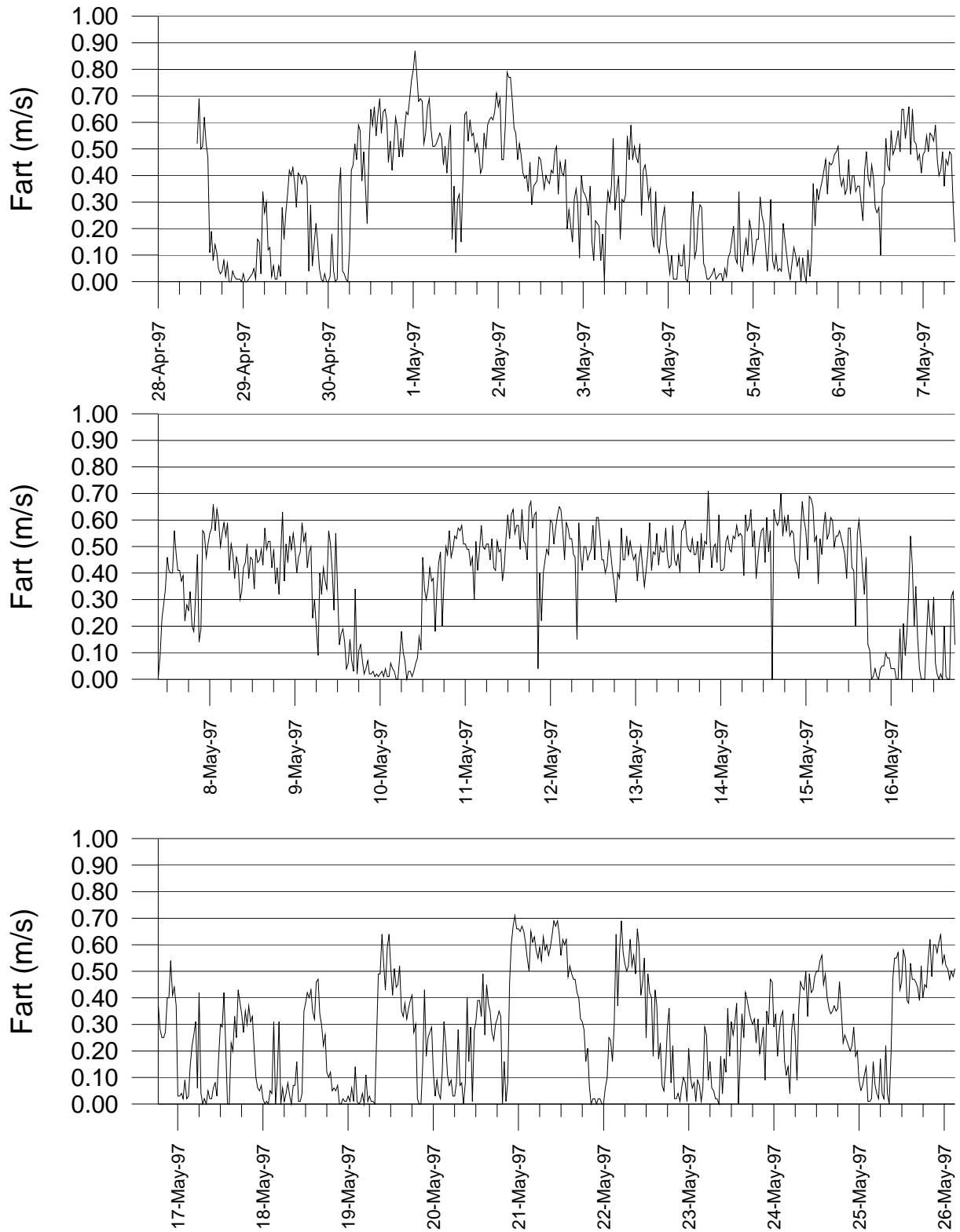
Figur A1.

Sund, strømretning i 0m dyp



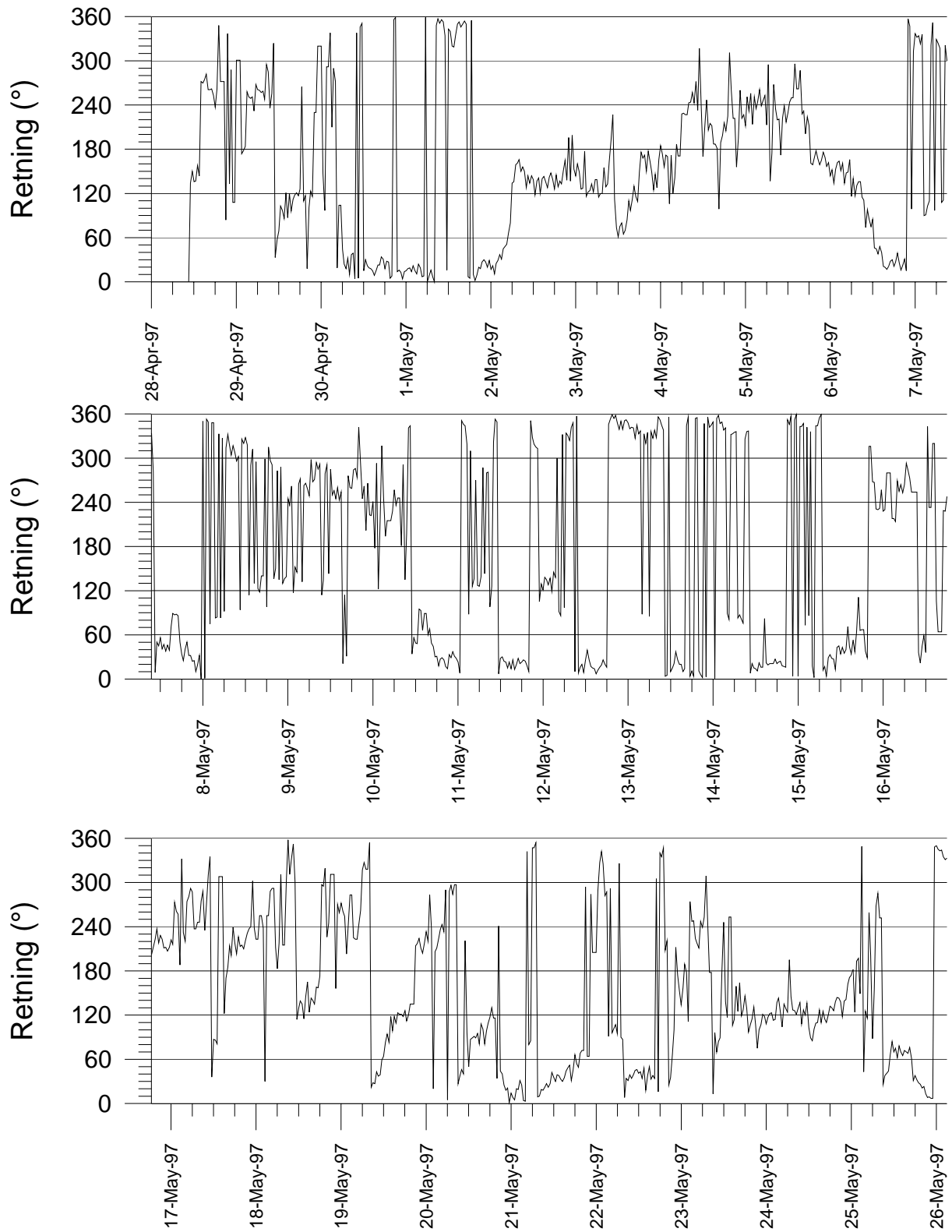
Figur A2.

### Sund, strømfart i 7m dyp



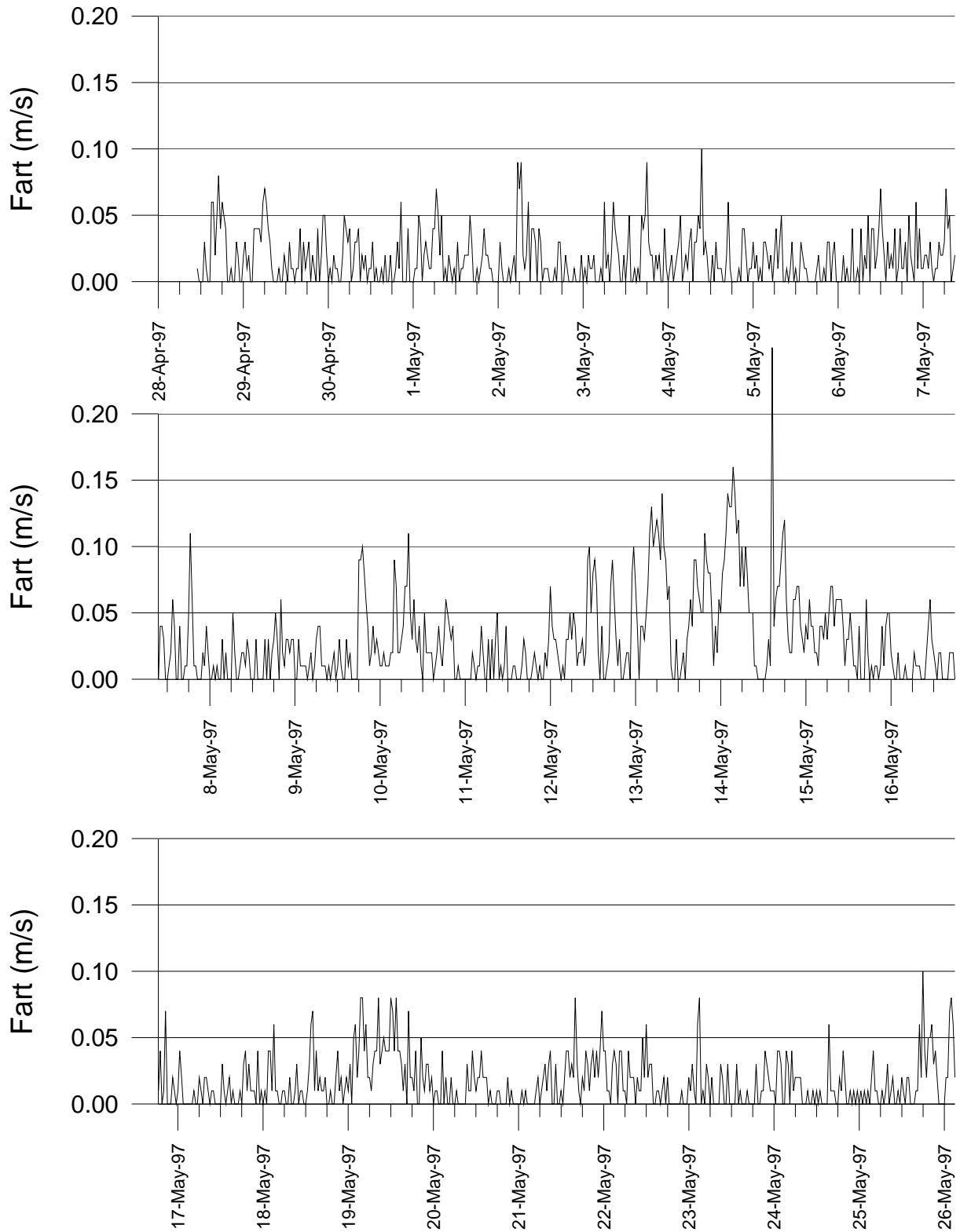
Figur A3.

Sund, strømretning i 7m dyp



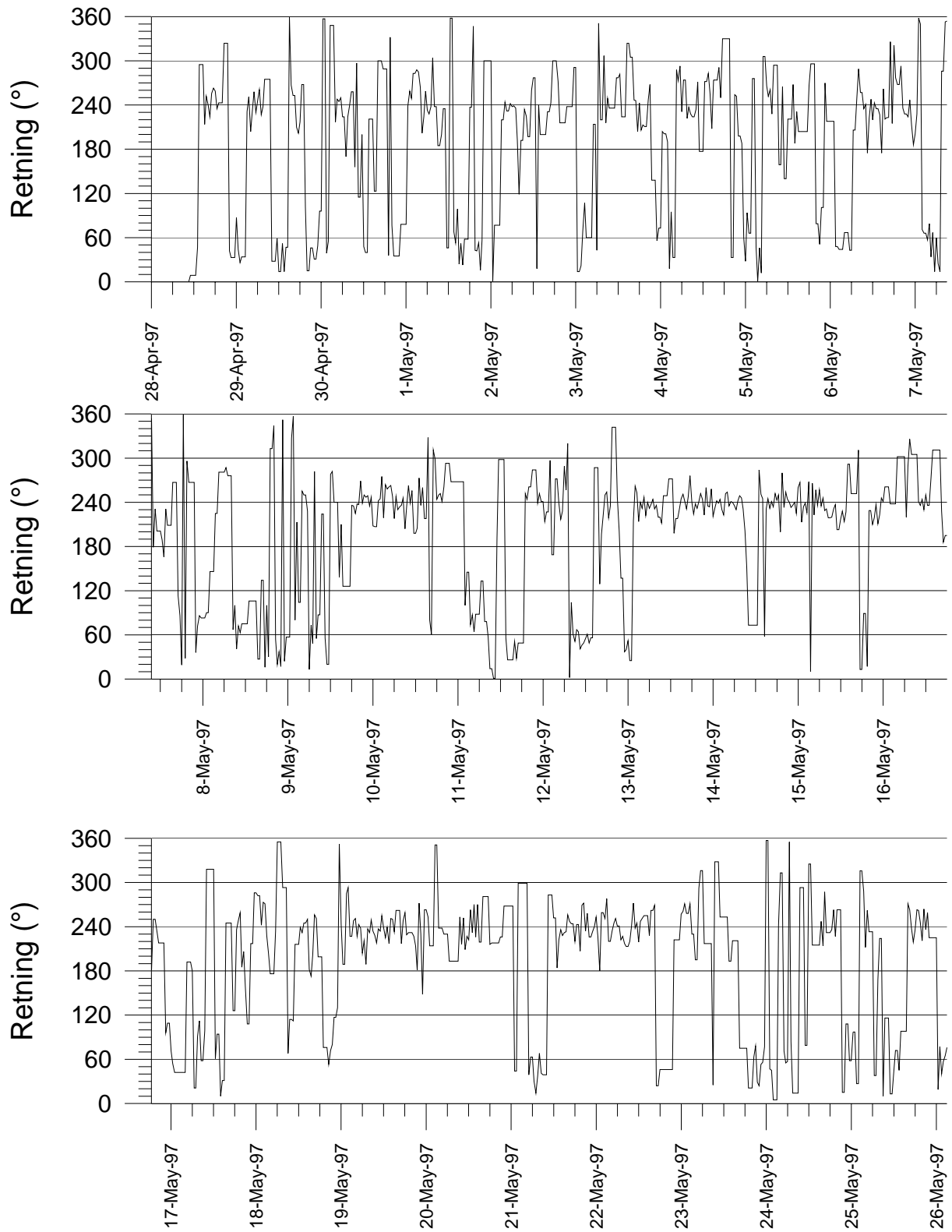
Figur A4.

Sund, strømfart i 14m dyp



Figur A5.

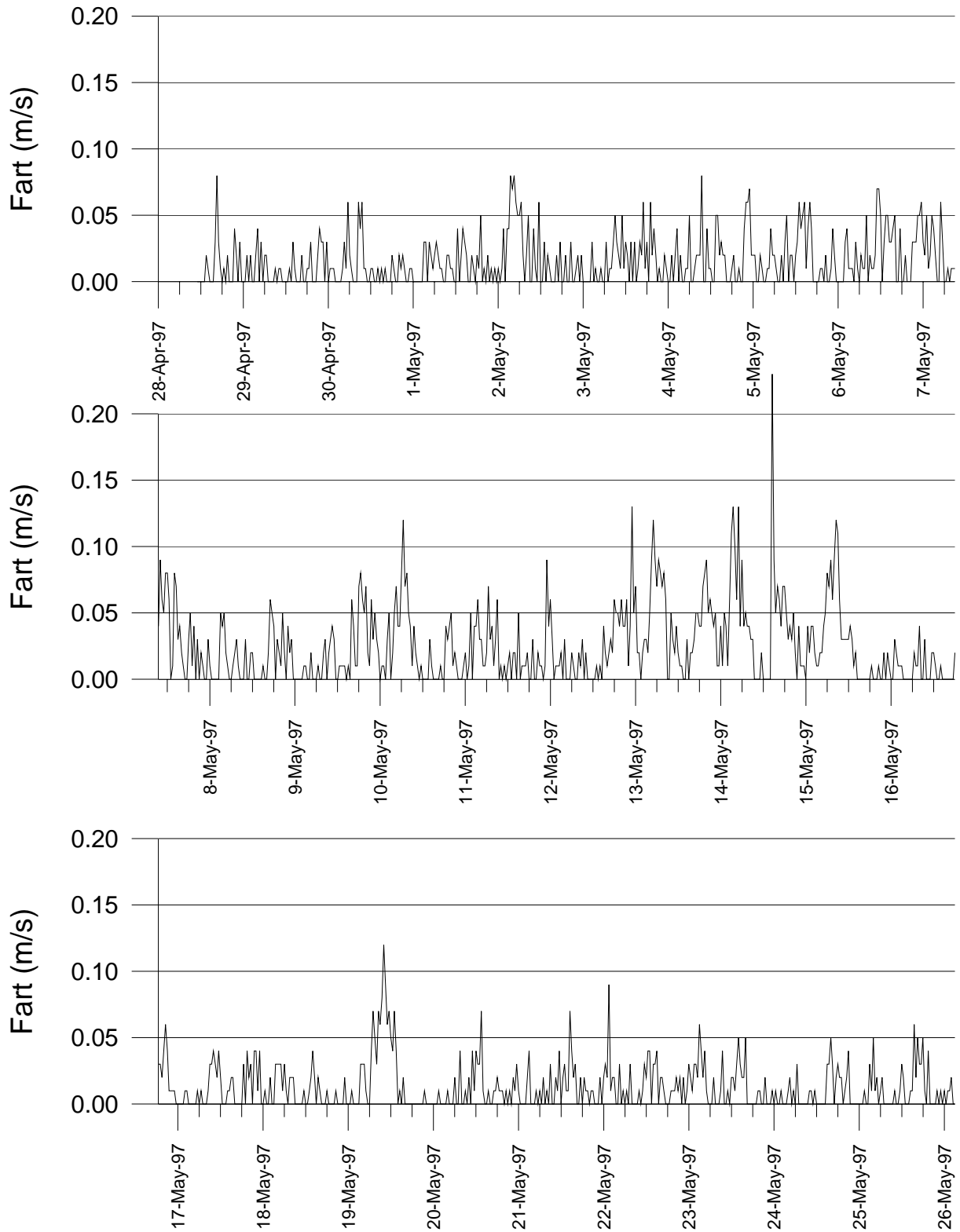
Sund, strømretning i 14m dyp



Figur A6.

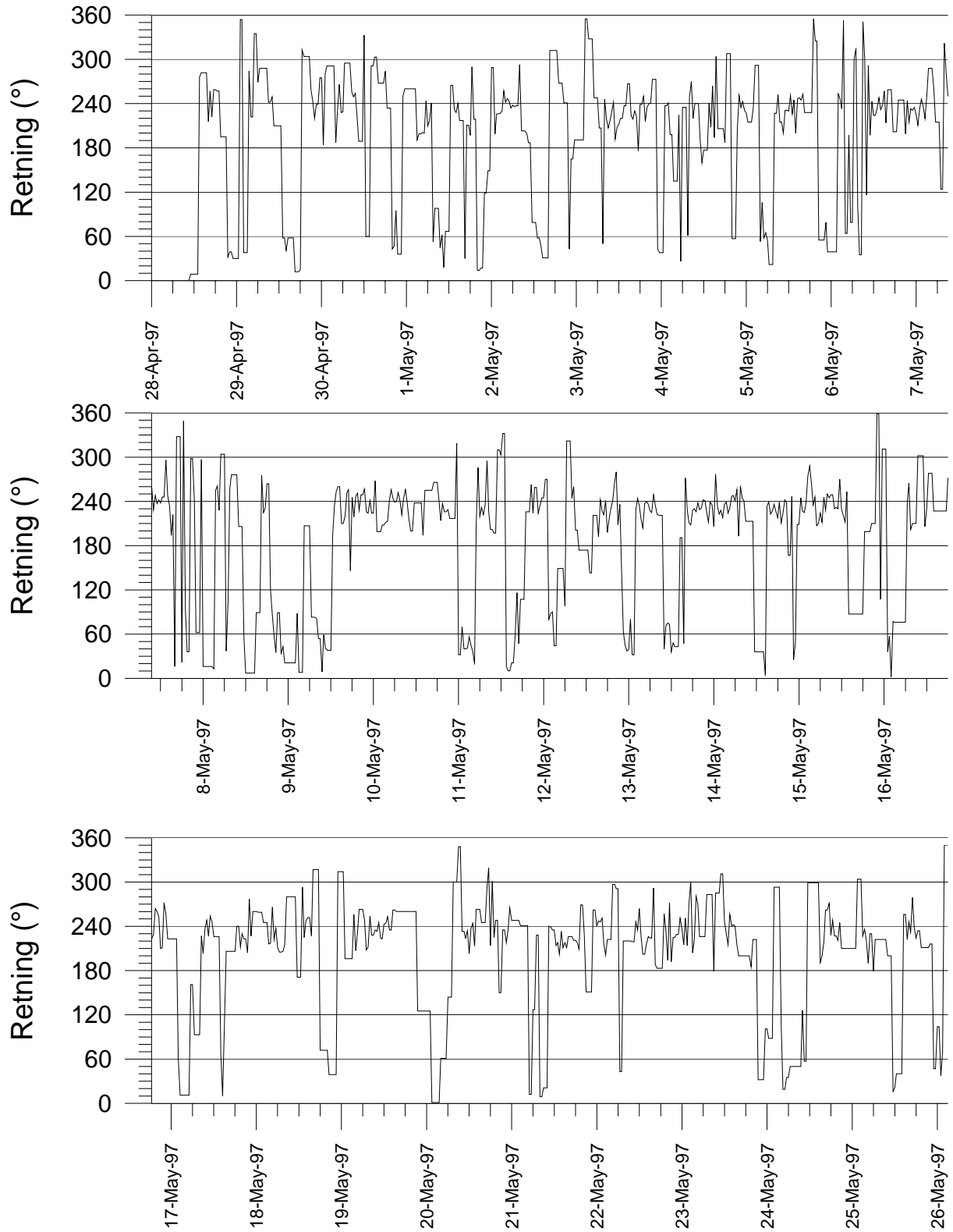


Sund, strømfart i 21m dyp



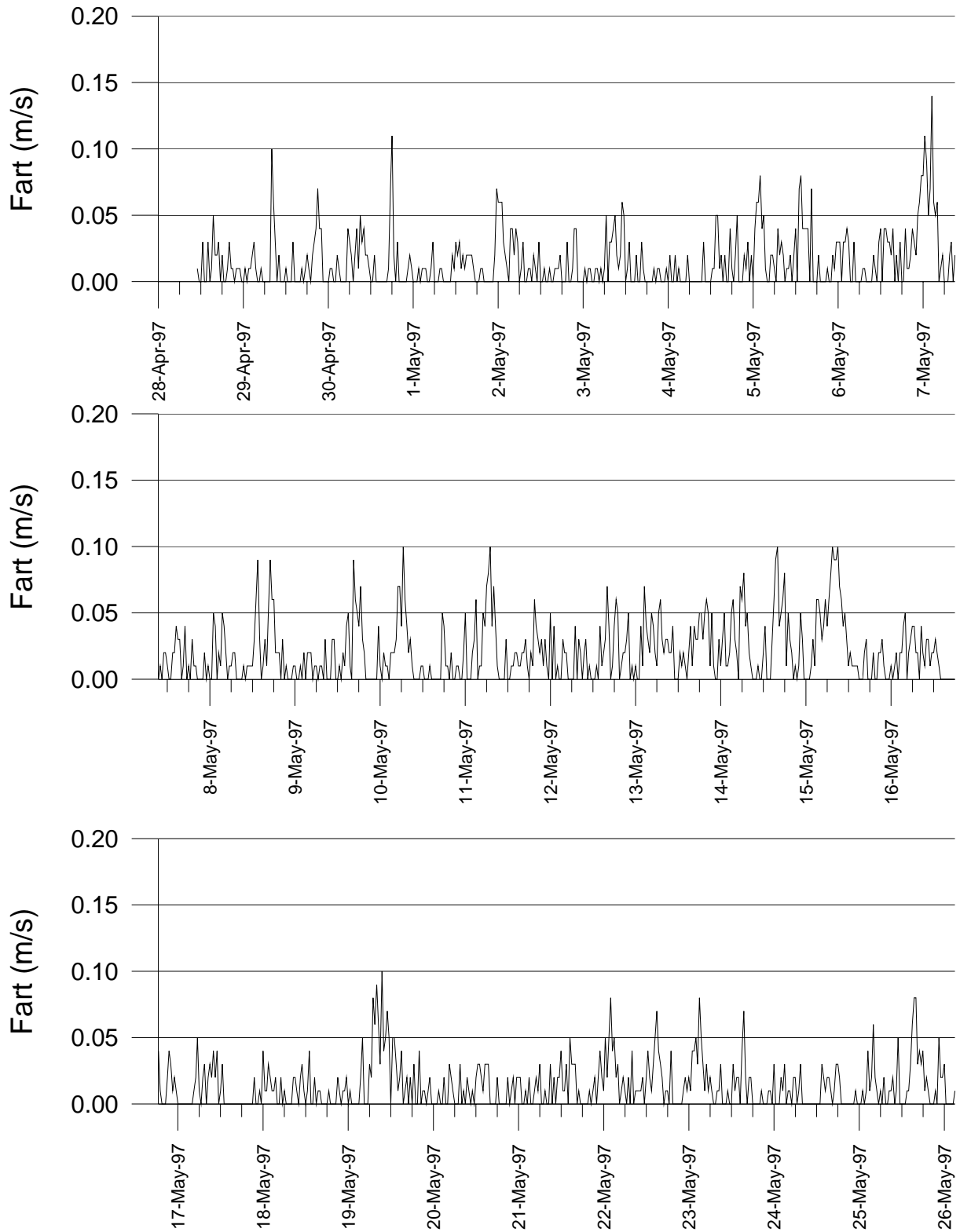
Figur A7.

Sund, strømretning i 21m dyp



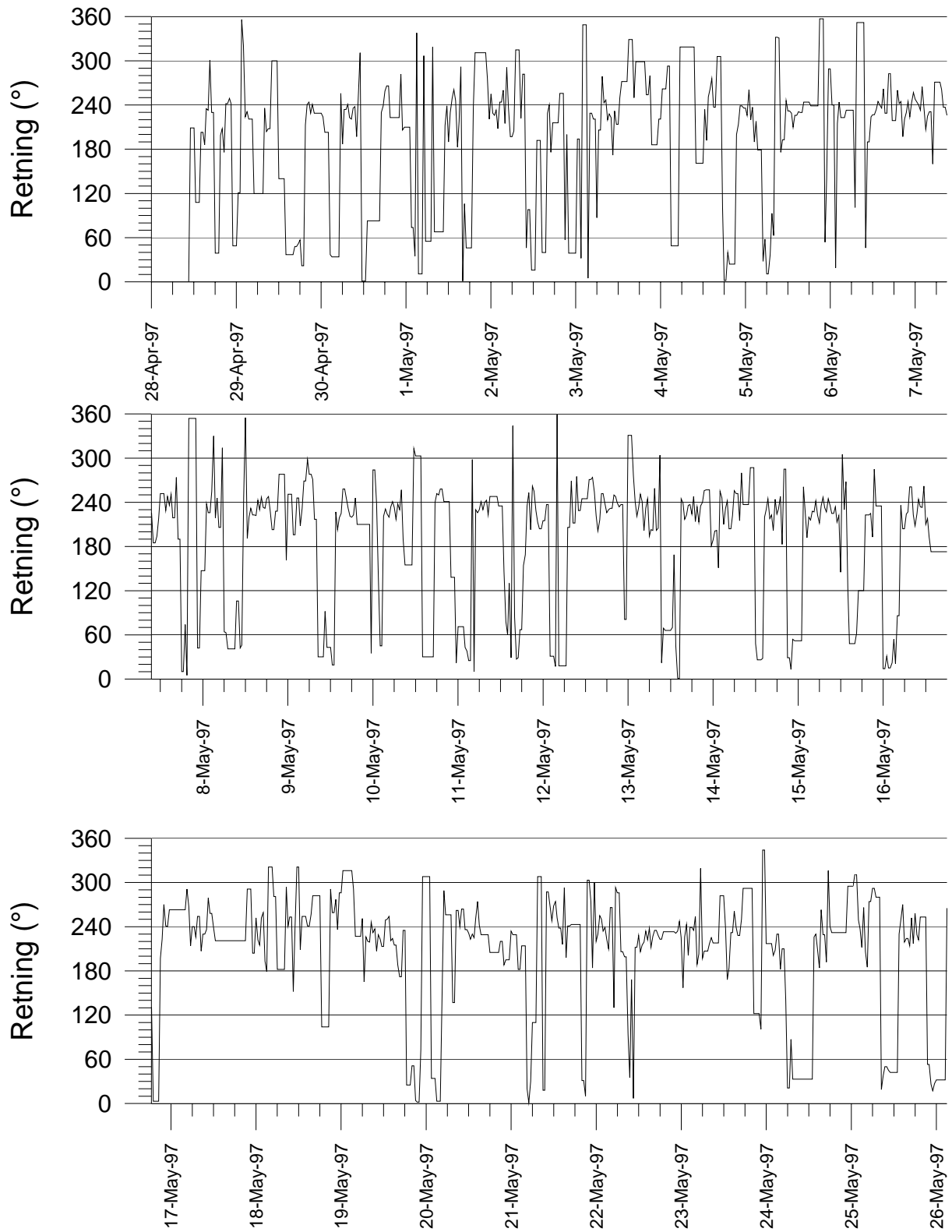
Figur A8.

Sund, strømfart i 28m dyp



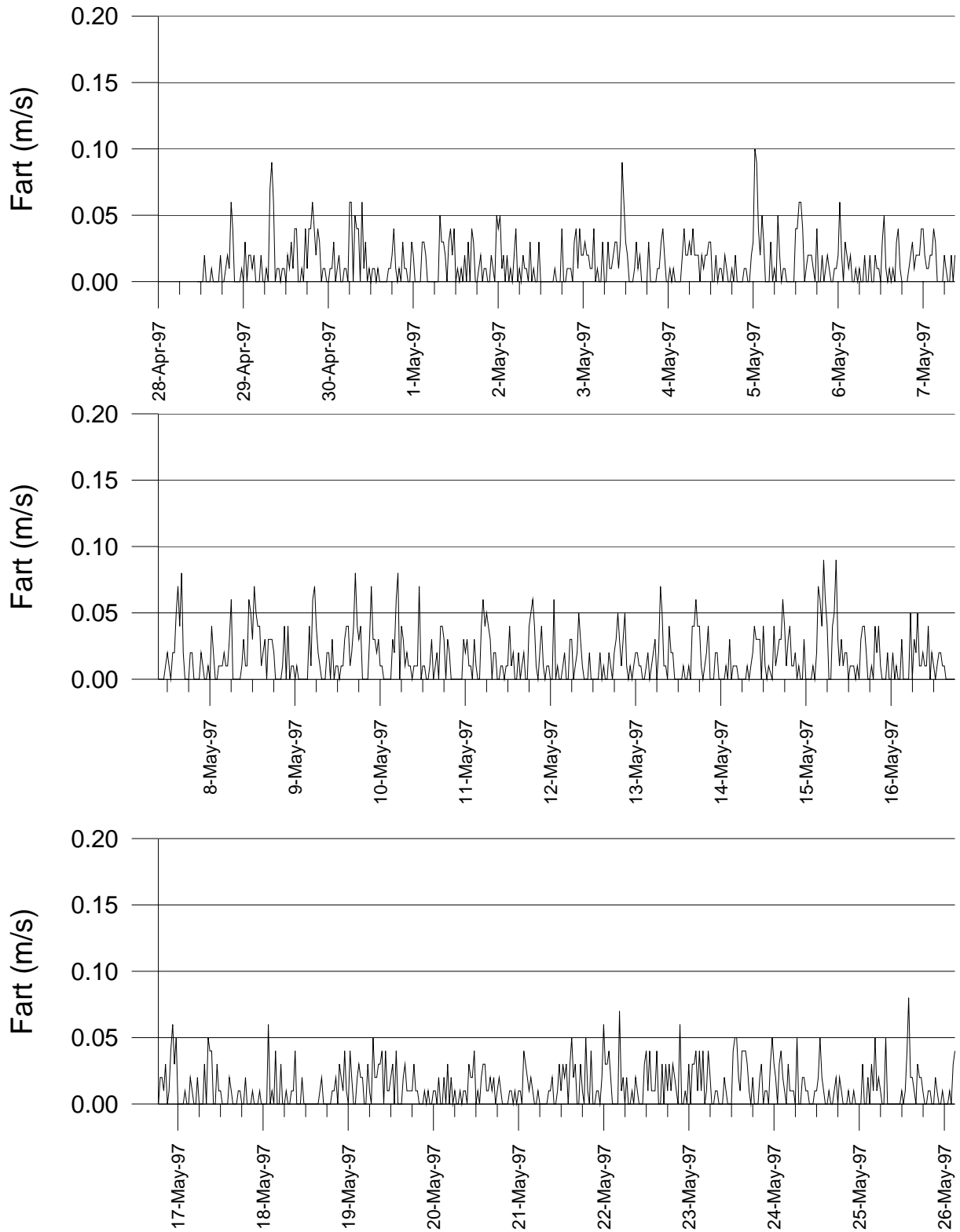
Figur A9.

Sund, strømretning i 28m dyp



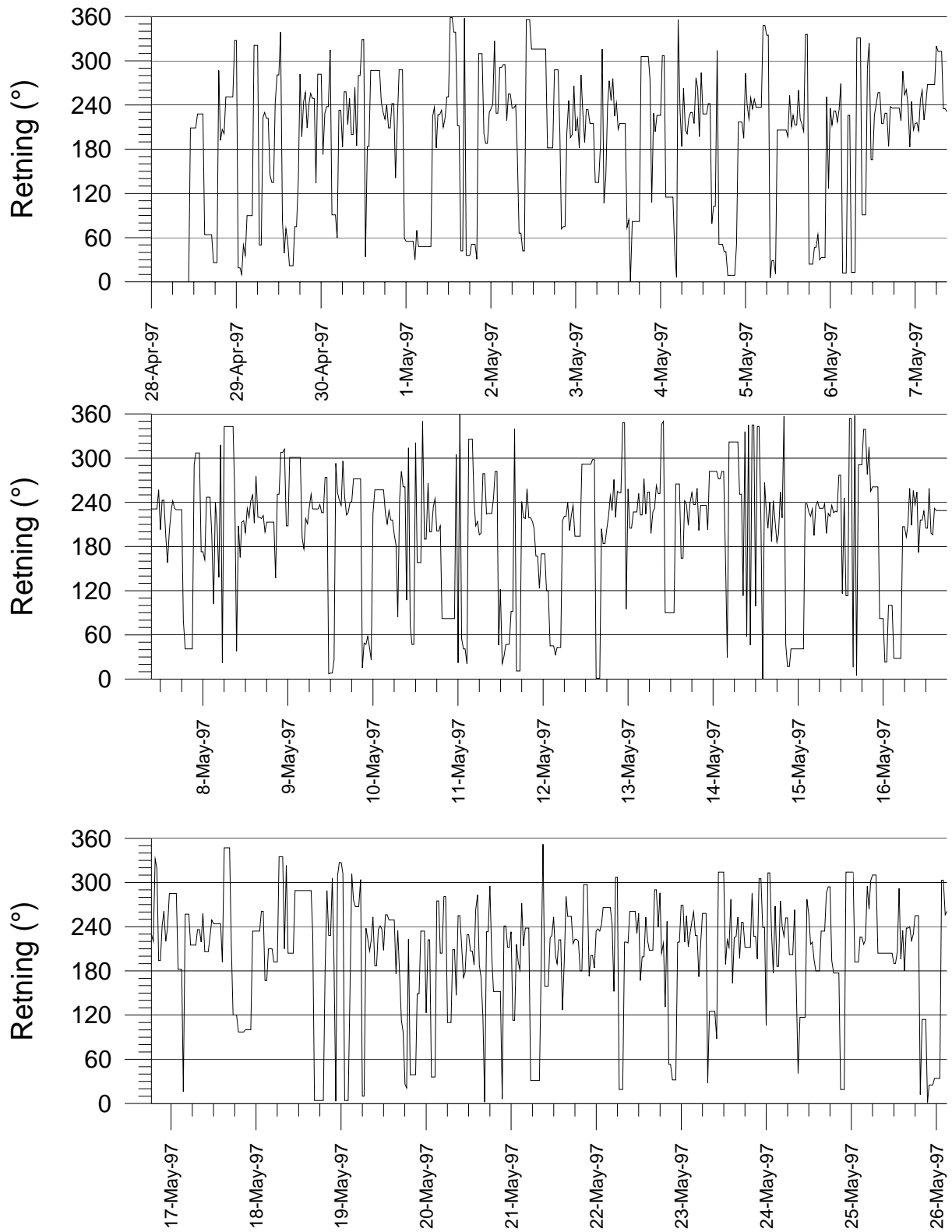
Figur A10.

Sund, strømfart i 35m dyp

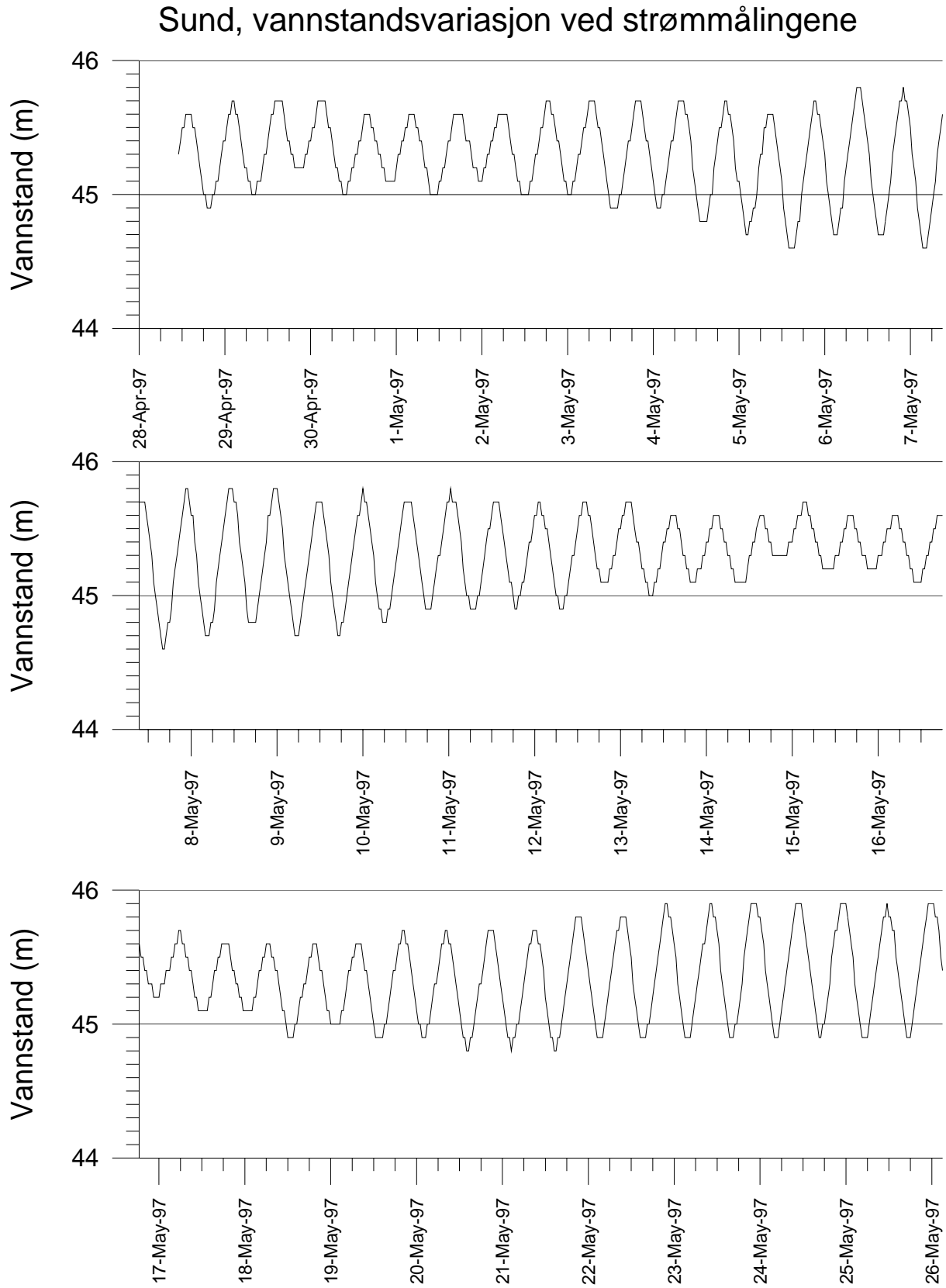


Figur A11.

### Sund, strømretning i 35m dyp



Figur A12.



Figur A13.

## Vedlegg B.

Beregninger av innlagringsdjup (DEPTH) og senterfortynning for utsepp frå Andershola, 16 l/s, 57 m djup, med lett utseppsvatn, 1.0000 kg/m<sup>3</sup>. Datagrunnlaget er hydrografiske profiler frå Korsfjorden for 36 ulike tidspunkt, 1987-1997.

-----												
PRO-	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
FILE						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)	
1	1	57.0	.15	.89	-10	4.8	88	151	36.4	31.3	25.9	
2	1	57.0	.15	.89	-10	3.0	86	65	45.3	41.2	35.6	
3	1	57.0	.15	.89	-10	4.2	87	107	40.3	34.5	26.7	
4	1	57.0	.15	.89	-10	3.7	88	109	41.0	34.9	19.3	
5	1	57.0	.15	.89	-10	5.6	88	174	33.8	28.3	22.1	
6	1	57.0	.15	.89	-10	4.2	88	128	38.7	34.4	25.5	
7	1	57.0	.15	.89	-10	4.5	87	127	38.6	32.8	26.6	
8	1	57.0	.15	.89	-10	2.9	86	58	46.1	41.6	32.2	
9	1	57.0	.15	.89	-10	2.5	84	42	48.2	44.4	38.3	
10	1	57.0	.15	.89	-10	4.8	88	140	37.0	31.3	22.7	
11	1	57.0	.15	.89	-10	7.6	89	326	22.8	17.4	11.1	
12	1	57.0	.15	.89	-10	4.2	87	116	39.5	33.6	23.3	
13	1	57.0	.15	.89	-10	4.0	87	98	41.2	35.4	26.3	
14	1	57.0	.15	.89	-10	6.2	88	214	30.6	22.8	10.3	
15	1	57.0	.15	.89	-10	4.5	87	127	38.4	33.1	26.8	
16	1	57.0	.15	.89	-10	3.9	87	95	41.4	36.0	28.5	
17	1	57.0	.15	.89	-10	2.8	86	61	46.0	41.4	33.3	
18	1	57.0	.15	.89	-10	5.1	88	165	35.2	27.3	17.3	
19	1	57.0	.15	.89	-10	4.6	87	121	38.7	33.8	25.6	
20	1	57.0	.15	.89	-10	4.8	86	109	39.6	33.3	27.2	
21	1	57.0	.15	.89	-10	5.3	87	148	36.0	32.1	27.6	
22	1	57.0	.15	.89	-10	6.2	88	243	29.0	23.9	18.4	
23	1	57.0	.15	.89	-10	3.8	87	102	41.1	36.5	29.7	
24	1	57.0	.15	.89	-10	4.7	88	146	36.8	31.1	22.8	
25	1	57.0	.15	.89	-10	5.1	88	161	35.4	29.9	20.4	
26	1	57.0	.15	.89	-10	2.5	85	45	47.9	44.4	37.8	
27	1	57.0	.15	.89	-10	2.5	84	42	48.2	44.4	33.8	
28	1	57.0	.15	.89	-10	5.3	88	172	34.3	27.8	19.6	
29	1	57.0	.15	.89	-10	4.1	88	120	39.4	34.8	28.2	
30	1	57.0	.15	.89	-10	4.0	87	111	39.6	36.3	31.8	
31	1	57.0	.15	.89	-10	4.4	87	110	39.4	34.4	25.8	
32	1	57.0	.15	.89	-10	3.4	86	78	43.4	40.2	32.5	
33	1	57.0	.15	.89	-10	3.1	86	70	44.6	36.5	26.0	
34	1	57.0	.15	.89	-10	5.6	88	167	34.6	28.7	20.4	
35	1	57.0	.15	.89	-10	4.4	87	127	38.7	33.3	24.9	
36	1	57.0	.15	.89	-10	5.3	88	177	34.3	28.2	18.0	

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



## Vedlegg C.

Innlagingsberegningar for Andershola, med sjøvassinntak i 2 m djup, og kalkulert sigma-t i utløpet basert på aktuell sigma-t i 2 m. Tabellen gjeld utvalde profilar med enten særleg grunn innlagring ved  $\sigma_{ut}=1.000 \text{ kg/m}^3$  (Vedlegg B, profil 4, 11, 14, 18, 28, 36) eller ekstra djup innlagring (profil 2, 9, 17, 26, 27).

```

-----
!
PRO- ! JET DATA AFTER CONTRACTION ! RESULTS
!
FILE ! ! NEUTRAL POINT EXTREMAL
! ! DEPTHS
NR. ! HOLE DEPTH DIAM. VEL. ANGLE ! WIDTH ANGLE CENTER DEPTH
! ! ! ! ! DILUT. EQS. GRAV.
! ! NR. (M) (M) (M/S) DEG. ! (M) DEG. (M) (M) (M)
-----
2 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 2.7 71 25 50.4 48.0 45.1
4 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 3.5 85 62 43.2 40.1 34.3
9 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 1.7 50 11 55.1 53.7 51.7
11 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 3.8 56 27 51.3 46.1 34.8
14 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 3.4 38 20 54.7 52.8 50.0
17 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 2.8 73 27 49.8 48.0 45.4
18 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 4.3 77 49 44.1 39.0 34.1
26 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 1.9 59 14 54.0 52.2 49.4
27 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 1.8 48 11 55.1 53.8 51.8
28 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 2.8 67 23 51.1 46.2 34.8
35 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 3.2 64 26 51.0 47.8 42.5
36 ! 1 57.0 .15 .89 -10 ! 4.1 61 32 49.2 41.6 36.9

```

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

NIVA; JETMIX.