

**Nytt kommunalt utslepp
til Årdalsfjorden
Målinger ved elvemunningen
januar-april 2009**



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Nytt kommunalt utslepp til Årdalsfjorden. Målinger ved elvemunningen januar-april 2009.	Løpenr. (for bestilling) 5785-2009	Dato September 2009
	Prosjektnr. Undernr. 28482	Sider Pris 35
Forfattarar Lars G. Golmen Kjersti L. Daae	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Open
	Geografisk område Sogn og Fjordane	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Årdal kommune, v/Arne Kjos, PO boks 40, 6881 Årdalstangen	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Samandrag Årdal kommune skal etablere avlaup til Årdalsfjorden frå nytt renseanlegg i Øvre Årdal. Anlegget vert dimensjonert for 5000 pe, resp. 55 l/sek. Avlaupsleidningen er førebels vurdert lagt ut langs elva til området i fjorden litt nordvest (til høgre) for munningen av Hæreidselva der det er ca 40 m djupt. Det er prinsipielle spørsmål knytt til å legge avlaup såpass nær elvemunningen, og føresetnaden er at utsleppet ikkje påverkar vatnet i munningen eller oppover i elva. NIVA gjennomførte i denne samanheng eit måleprogram i fjorden vinteren 2009 i samarbeid med kommunen. Programmet bestod av hydrografisk profilering og strømmåling. Rapporten omhandlar måleresultata og vurderingar kring det framtidige utsleppet, med modellsimuleringar for ulike scenarier. Det er konkludert med at ved å legge avlaupet til 40 m djup vil risikoen for påverknad av elvevatnet vere minimal. Situasjonar med ein viss risiko er knytt til når det er svak sjikting i fjorden kombinert med at elva veks opp, d.v.s. overgang frå tørrver/kulde til flomsituasjonar. Dette er kortvarige perioder som pågår inntil det er bygd opp tilstrekkeleg sjikting i fjorden til å presse utsleppsvatnet djupare.

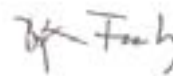
Fire norske emneord 1. Avlaup 2. Elvemunning 3. Årdalsfjorden 4. Straummåling	Fire engelske emneord 1. Discharge 2. River mouth 3. Aardalsfjord 4. Current measurements
---	---



Lars G. Golmen
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskningsleder



Bjørn Faafeng
Fag- og markedsdirektør

Nytt kommunalt utslepp

Til

Årdalsfjorden

Målinger ved elvemunningen januar-april 2009

Føreord

I samband med planene om å legge avlaup frå nytt renseanlegg i Øvre Årdal ut i Årdalsfjorden, vart NIVA v/Jarle Molvær kontakta av Årdal kommune/Norconsult hausten 2008 for å diskutere behovet for oseanografiske målingar og analyser, sidan utsleppet kunne kome til å bli liggande nær munningen til Hæreidselva, m.a.o. i eit mogleg følsamt område.

Prosjektet kom i gong i januar 2009, etter foregåande forhandlingar om omfang og pris. Norconsult i Bergen, v/Jan-Inge Nilssen, var kommunens agent når det gjalt desse forhandlingane. Hos kommunen var Arne Kjos kontraktsansvarleg, mens Tore Ødeård var ansvarleg for prikkfri gjennomføring av måletokta og det praktiske.

Hos NIVA bistod NIVAs instrumentsentral v/Uta Brant med instrumentering, mens Kjersti Daae stod for data-prosesering og plotting m.m., og Anders Hobæk deltok på første måletoktet i januar. Takk til desse og andre involverte.

Bergen, juni/september 2009

Lars G. Golmen

Forsidefoto: Munningen av Hæreidselva mot Årdalsfjorden, april 2009. Fotoet er teke frå området der enden av avlaupsleidningen er vurdert plassert.

Innhald

Samandrag	5
1. Innleiing	6
1.1 Bagrunn og formål med rapporten	6
1.2 Problemstillingar	7
1.3 Vassføring i Hæreidselva	8
1.3.1 Eksisterande data frå fjorden	9
2. Måleprogram	11
2.1 Hydrografimålingar	11
2.1.1 Måleutstyr for hydrografi	12
2.1.2 Måletidspunkt og datagjenfangst	12
2.2 Strømmåling	12
2.3 Andre observasjonar	13
3. Måleresultat	15
3.1 Hydrografi	15
3.2 Målt strøm i sjøen	19
4. Berekning av innlagring/spreiing	22
4.1 Scenariar for utsleppet	22
4.2 Resultat for innlagring og fortynning, JETMIX	23
4.2.1 300 mm diameter leidning	23
4.2.2 200 mm diameter leidning	23
4.2.3 450 mm diameter leidning	23
4.3 Simuleringar med modellen CORMIX	27
4.3.1 Simulering av elvevatnet i fjorden	28
5. Oppsummering	29
6. Litteratur	30
Vedlegg A. T/S plott for kvart tokt	31
Vedlegg B. Simulering av Hæreidselva	33

Samandrag

Årdal kommune arbeider med å overføre avlaupsvatn frå Øvre Årdal til nytt utsleppspunkt i Årdalsfjorden ved Årdalstangen. Vatnet vil bli ført i røyrleidning frå renseanlegget i Øvre Årdal ut langs Hæreidselva og til utsleppsstad på 30-40 m djup fjorden utanfor elvemunningen. Anlegget vil bli dimensjonert for 5000 pe, motsvarande maksimal vassmengde på 55 l/s (200 m³/time). Mest aktuell leidningsdiameter er 450 mm.

NIVA, Norsk institutt for vannforskning, vart engasjert av Årdal kommune/Norconsult for å vurdere om det planlagte utsleppet kunne kome i konflikt med elvemunningen, d.v.s. påverke vatn i munningen, noko som i så fall vil medføre strengare krav til reinsing av avlaupsvatnet. I perioden januar-april 2009 gjennomførte NIVA i samarbeid med Årdal kommune målingar i sjøen ved elvemunningen og utover fjorden. Det vart gjennomført hydrografitokt med ca 2 vekers mellomrom, ti tokte i alt. I perioden 24. mars-20. april vart det målt strømpofilar i sjøen i området der utsleppet er tenkt plassert. Basert på målingane er det gjort vurderingar og berekningar for innlagring og spreining av avlaupsvatnet under ulike situasjonar for vassfluks, utsleppsdjup og leidningsdiameter.

Av dei hydrografiske målingane framgår det at elvevatnet kan sporast langt utover i Årdalsfjorden, men tydeleg kun ned til ca 1 m djup. Målingane representerer ein sesong med lita vassføring i elva og dermed svak sjikting i fjorden, slik at brakkvasslaget då var tynt, typisk inntil ca 1 m tjukt, aukande til 3 m i april då vassføringa og anna tilrenning tiltok. Modellsimuleringar indikerer at strømmen i fjorden kan bidra til å avbøye elvevatnet slik at det tangerer stranda på nord/vestsida men det var imidlertid ingen signifikant skilnad i målt hydrografi nær overflata frå eine sida av munningen til den andre. Ved låg og middels vassføring tenderer sjøvatn til å trenge inn i elvemunningen, sporbart frå ½ m djup og nedover der.

Resultat av berekningar av innlagring og fortynning av avlaupsvatnet syner at med ei leidning lagt ut til 40 m djup vil dette innlagre seg med god margin til elvevatnet over, oftast djupare enn 20 m, og såleis ikkje påverke vatn i elvemunningen. Dette gjeld for leidningsdiameter på 450 mm og for minde diameterar; med redusert diameter oppnår ein noko gunstigare/djupare innblanding.

Strømmen i det tiltenkte utsleppsområdet har oftast retningskomponent ut fjorden, bort frå elvemunningen. Dette vil vere gunstig i høve til å få transportert avlaupsvatnet bort frå munningsområdet.

Avlaupsleidningen er førebels vurdert lagt ut langs elva til området i fjorden litt nordvest (til høgre) for munningen av Hæreidselva der det er ca 40 m djupt. Dette synes vere ein akseptabel plassering ut frå strømførhølda og ut frå resultatane som syner at utsleppsvatnet vil innlagre seg med god margin til overflata og elvevatnet. Risikoen for påverknad av elvevatnet vil såleis vere minimal.

Situasjonar med ein viss risiko for påverknad kan oppstå når det er svak sjikting i fjorden kombinert med at elva veks opp, d.v.s. overgang frå tørrver/kulde til flomsituasjonar. Dette er kortvarige perioder som pågår inntil det er bygd opp tilstrekkeleg sjikting i fjorden som pressar utsleppsvatnet djupare.

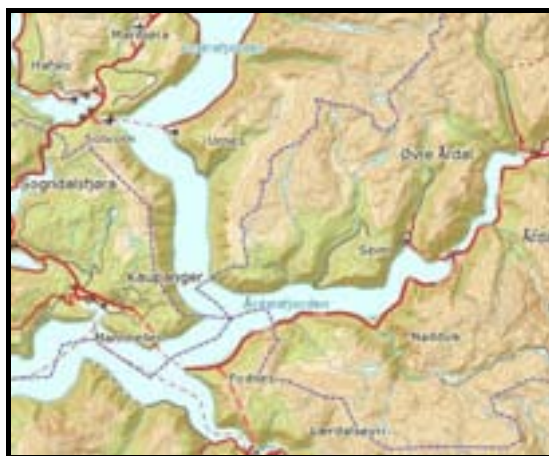
Målingane som berekningane er basert på, representerer vinter/tidleg vår. Der er foreslått å gå noko vidare med datamateriale og analyser, m.a. sjå på relasjon mellom faktisk vassføring i elva og hydrografiske tilhøve. Dette for på ein betre måte å kunne framføre vurderingane til å dekkje ein full årssyklus, og å vurdere scenarier ved flaum. Ein form for oppfølging og kontroll etter at utsleppet er etablert er også tilrådd.

1. Innleiing

1.1 Bagrunn og formål med rapporten

Årdal kommune skal overføre avlaupsvatn frå Øvre Årdal til nytt utsleppspunkt i Årdalsfjorden ved Årdalstangen (**Figur 1**). Vatnet vil bli ført i røyr frå renseanlegget i Øvre Årdal ut langs Hæreidselva og til fjorden (**Figur 2**). Anlegget vil bli dimensjonert for 5000 pe, motsvarande maksimal vassmengde på 55 l/s (200 m³/time).

Røyrleidningen vil bli ført ut gjennom Årdalsvatnet og elvemunningen som er 1-3 m djup til fjorden utanfor, der djupnene raskt aukar til 100 m eller meir. Det har vore skissert å legge utsleppet på rundt 40 m djup, noko som normalt vil sikre tilstrekkeleg blanding og djup innlagring.



Figur 1. Kart over Årdalsfjorden.



Figur 2. Kart over indre delar av Årdalsfjorden med Hæreidselva. Tentativ plassering av utsleppspunktet er markert med pil/punkt.

Sidan det aktuelle utsleppet vil ligge i eit område med eit elveutlaup er det krav om at utsleppet ikkje ligg inne i sjølve elvemunnings-området, og at det vil vere klassifisert som eit normalt utslepp på < 10.000 pe til sjø.

Fylkesmannens miljøvern avdeling ønsker at dette vert dokumentert, og i den samanheng fekk NIVA i oppdrag å utføre dei naudsynte målingane og analysene. Oppdraget vart organisert gjennom Norconsult som har hovedkontrakten med kommunen for design av renseanlegg og rørleidning m.m.

Hovedformålet med prosjektet har såleis vore å få vurdert utstrekninga på elvemunningen både horisontalt og vertikalt, og kombinere dette med berekningar for utsleppet for å finne om der er risiko for interferens med elvemunningen.

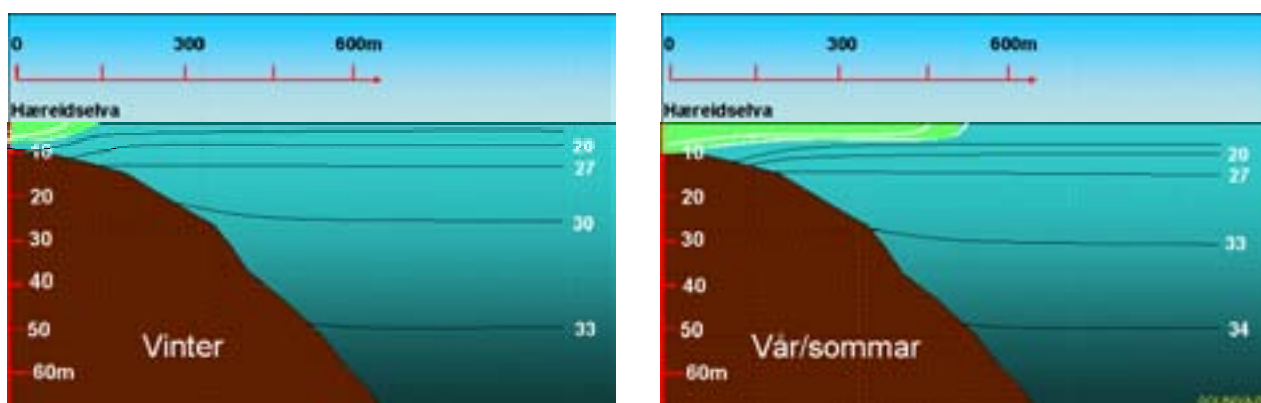
Prosjektet kom i gong i januar 2009, og p.g.a. tidsplan og tidsfristar måtte måleprogrammet innskrenkast til månadane fram til påske, medio april 2009. Det er såleis ein vinterperiode som er kartlagt og målt.

1.2 Problemstillingar

Utslepp ved elvemunning er underlagt særskild regelverk, strengare enn for utslepp i opne sjøområde. Dersom eit utslepp vert definert som å ligge i ei elvemunning stiller styresmaktene gjennom Avløpsdirektivet strenge krav til rensing, fordi desse områda er rekna for å vere sær sårbar for forureining. I utgangspunktet inneber dette same krav til utslepp som i ferskvatn, med sekundærrensing for utslepp større enn 2.000 pe, men med opning for dispensasjon for utslepp inntil 10.000 pe.

Hæreidselva er stor nok til at den fell inn under den vanlege definisjonen av elv/elvemunning ($> 10 \text{ m}^3/\text{s}$) i Avløpsdirektivet. Det er imidlertid ingen klar definisjon av omgrepet "elvemunning", som høver for norske tilhøve, og ein må difor gjerne basere seg på faktiske målingar for å få utbreiing og straumtilhøve verifisert.

Overgangen mellom elvevatn og fjordvatn (i overflata) kan vere karakterisert av ein konvergenssone eller front med tydelege gradientar i salinitet. Denne fronten kan også vere synleg (render eller skilnad i bølgemønster), men let seg best bestemme med målingar i sjøen. opplysningar om topografi, utbreiing av marine flora/fauna samt numerisk simulering kan gje støtte for slike vurderingar. For Hæreidselva er det ikkje tidligare gjort spesifikke vurderingar kring dette, og foreliggende vurdering må difor basere seg på antakingar.



Figur 3. Skisse av variasjon i utstrekninga av ein "elvemunning" slik det kan antakast foregå i inst i Årdalsfjorden.

Eit neddykka utslepp frå eit renseanlegg som det i Øvre Årdal, kan forventast å bestå av ferskvatn som er lettare enn sjøvatnet (densitet ca $1,0 \text{ kg/l}$ mot $1,025 \text{ kg/l}$ for sjøvatn). Utsleppsvatnet vil dermed

stige oppover i sjøen mens det gradvis blir innblanda med omgjevande sjøvattn, slik at kontrasten gradvis blir utviska.

På eit visst djup vil utsleppsvatnet slutte å stige, og derfrå fordele seg horisontalt utover i sjøen i det som blir kalla innlagingsdjupet. Ved straumstille vil horisontalutbreiinga i horisontalplanet vere radielt symmetrisk, som ein soppsky. Med straum vil det oppstå ei assymmetrisk sky som fordeler seg nedstraums frå utsleppspunktet.

For tilfellet der utsleppet ligg nær ein elvemunning vil ein ved ugunstig plassering av utsleppet kunne risikere at utsleppsvatnet blir dradd innover mot elvemunningen av den innoverretta "kompensasjonsstraumen" som blir skapt av elvevatnet (illustrert i **Figur 4**). Dette er naturleg nok uønska, og det er difor viktig å få lokalisert utsleppet djupt nok og/eller langt nok borte frå elvemunningen slik at denne risikoen kan eliminerast.

Vi hadde innleiingsvis ikkje data for straumtilhøva eller sjiktinga i sjøen nær munningen, så i første omgang måtte vi basere oss på skjøn eller "worst case" for desse faktorane ("føre-var" prinsippet) når det gjalt å fastslå eit målprogram i fjorden.

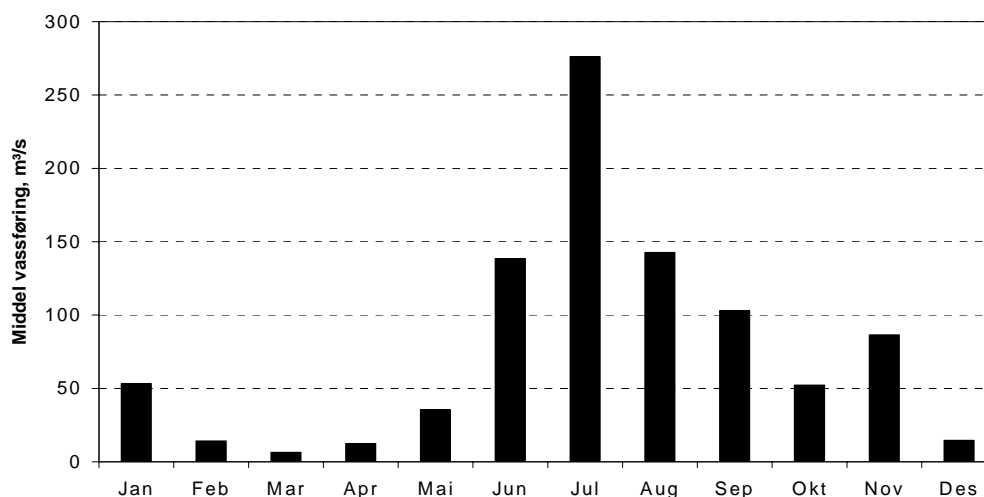
SFTs forskrifter/retningsliner TA 1890/2005 og TA-2237/2007 omtalar aktuelle prosedyrer for å få vurdert utstrekning på elvemunningsområde. Det er understreka der at i djupe fjordar med bratt topografi kan det vere problematisk å bruke definisjonar som baserer seg på vertikalfordelinga av salinitet (95% grensa for middel salinitet i høve til sjøvattn). Dette gjeld sannsynlegvis også for munningen av Hæreidselva, så difor er det aktuelt med alternative metoder (modellering). Vi hadde i foreliggende prosjekt også utfordringa med å få gjort tilstrekkelig med gode/representative hydrografiske målingar i sjøen innafor tidsrammen.



Figur 4. Illustrasjon av utslepp nær ei elvemunning, der kompensasjonsstraumen fører fortynta avlaupsvatt innover (ugunstig arrangement).

1.3 Vassføring i Hæreidselva

I følgje våre førebels opplysningar har Hæreidselva middelvassføring på $44.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (NVE Atlas) og middelvassføringa i 2007 var $42.9 \text{ m}^3/\text{s}$. (Er dette inkl. nye Tyin kraftverk?) Verdiane ligg langt over minstekravet for at avløpsdirektivet skal gjelde ($10 \text{ m}^3/\text{s}$).



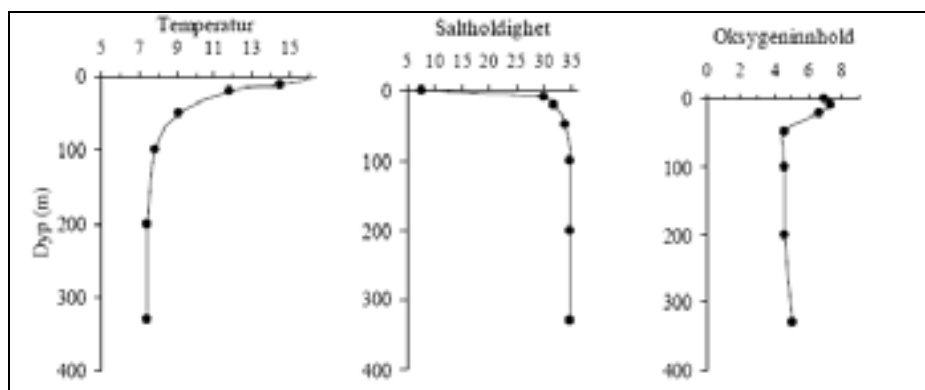
Figur 5. Månadsmiddel for vassføring i Hæreidselva.

Figur 5 viser månedleg middelvassføring for heile vassdragsområde 074. Hæreidselva fører ca 55% av dette, og pga omfattande regulering må vi anta at vintervassføringa der er relativt større og vårfloem evt haustavrenning relativt mindre enn det figuren viser. NVE måler vasstand i Årdalsvatn (og kan dermed rekne vassføring ut i Hæreidselva.)

I perioder med låg vassføring og kulde kan fjorden bli islagd i fleire veker (Den norske los 2001). Islegging skjedde også vinteren 2009, mens målingane pågjekk.

1.3.1 Eksisterande data frå fjorden

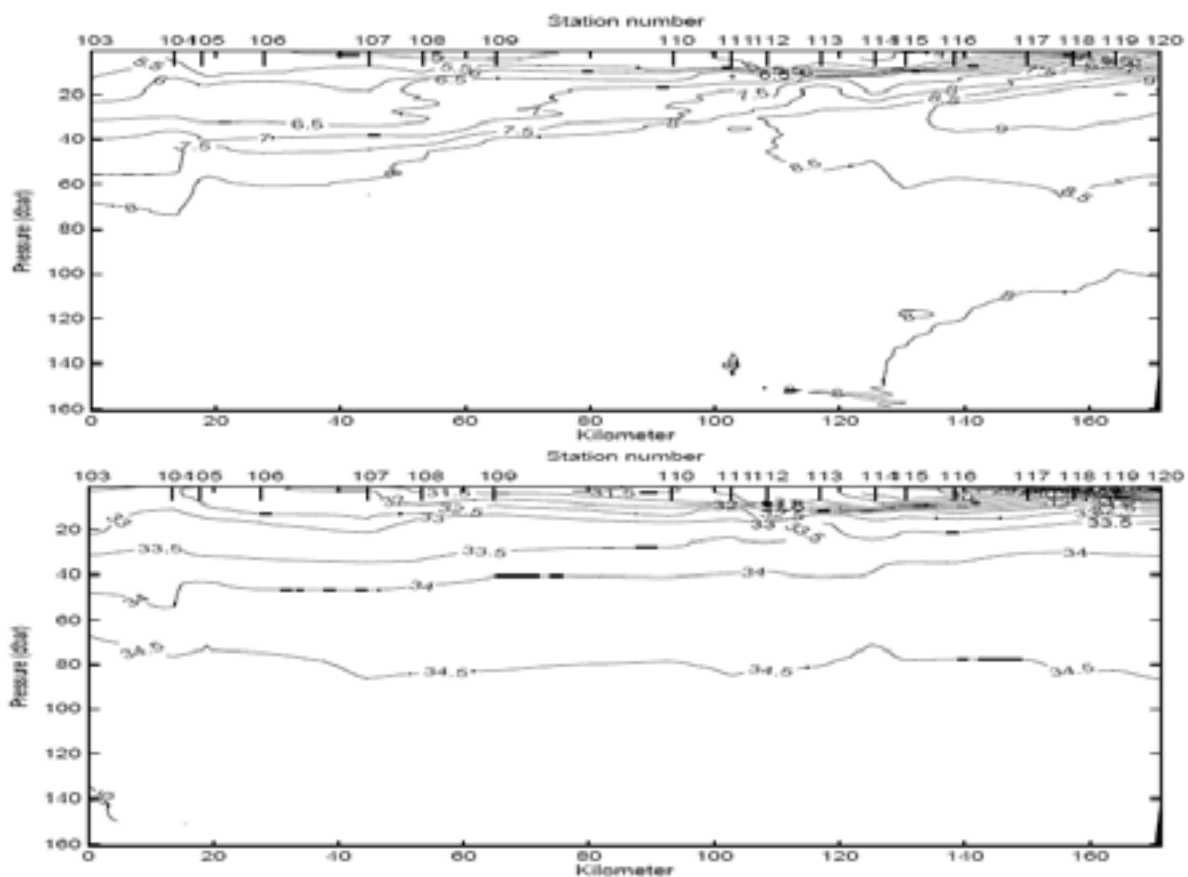
Det finst ein del målingar av sjikting i sentrale deler av Årdalsfjorden og vidare utover langs Sognefjorden. Mens data frå elveosen var det lite å finne av.



Figur 6. Hydrografisk profil frå Årdalsfjorden i september 2006 (Data frå UiB).

Dei hydrografiske tilhøva (sjikting) generelt i Sognefjorden er omtalt i fleire arbeid, m.a. Helland-Hansen & Lie (1944), Hermansen (1974), Rustad (1978) og Wiborg (1954), Svendsen (2006). UiB har gjort ein del målingar i det siste i samband med undervising og miljøgranskningar, den siste (i 2006) inkluderte ein stasjon i Årdalsfjorden (Johansen m fl. 2007), sjå **Figur 6** (data frå 0, 10m, 20m 50 m).

Figur 7 Syner lengdesnitt av temperatur og salinitet langs Sognefjorden ned til 160 m djup i februar 2004, som er nær terskeldjupet for Sognefjorden. Djupneroppløyinga gjev ikkje høve til å avdekke detaljar i materialet, men der framtrer tydelege gradientar inst, særleg frå munningen av Lusterfjorden og inn Årdalsfjorden. Sjiktinga avtok djupare ned enn 20 m.



Figur 7. Målt temperatur (øverste diagram) og salinitet i eit snitt frå Årdalsfjorden (t.h. utover til munningen av Sognefjorden i februar 2004. Frå Svendsen (2006).

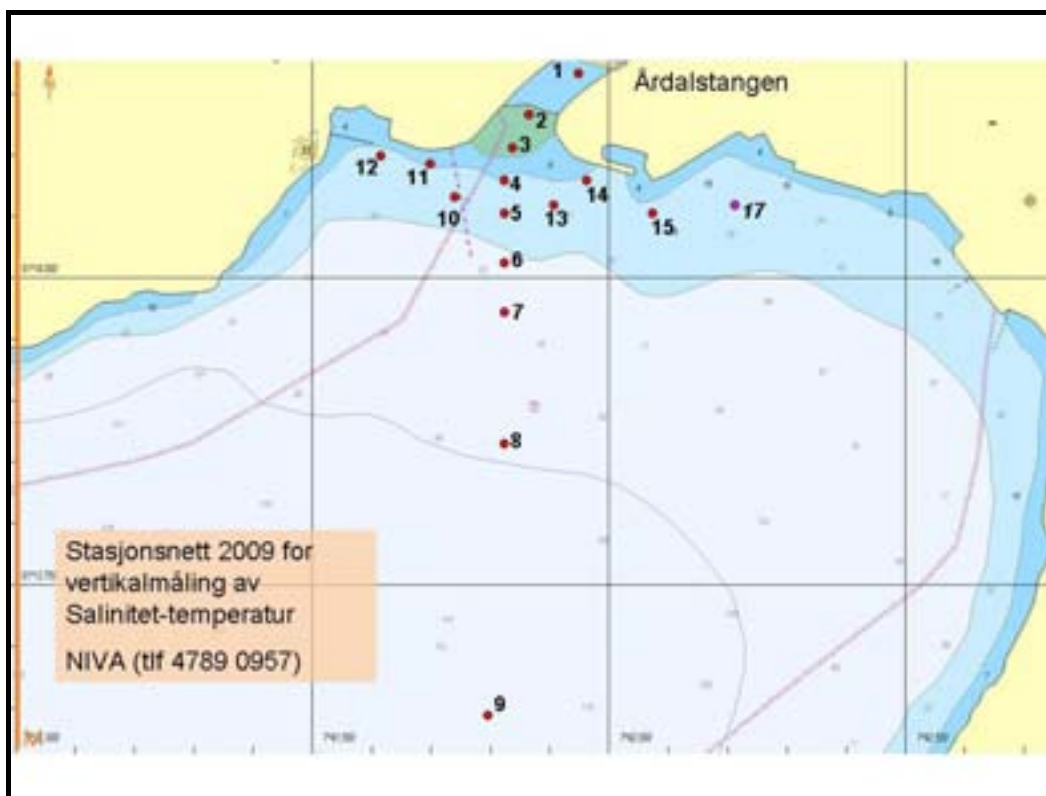
For straum/utskifting kjenner vi ikkje til eldre målingar inne ved Årdalstangen.

2. Måleprogram

2.1 Hydrografimålinger

Innafor den planlagte måleperioden (medio des. 08 – mars 09) vart det foreslått samla inn data for sjikting (salinitet/temperatur i sjøen) i eit fast stasjonsnett i munningsområdet og utover. Etter noko diskusjon kom ein fram til stasjonsnettet som er synt i **Figur 8**. Det har 17 måleposisjonar/stasjonar i alt. Stasjon 1-9 utgjorde eit snitt frå inne i elva og utover fjorden. Dei andre vart lagt til for å få detektert evt skilnader i sjiktinga frå eine sida av munningen til den andre.

Stasjonsnettet vart dekt med målingar om lag kvar 10. dag i snitt. Første måling vart utført 22. januar 2009. NIVA var med på det toktet. Deretter foretok kommunen målingane sjølve, med utstyr lånt frå NIVA. Data frå kvart tokt vart oversent NIVA for kontroll og lagring. NIVA var også med på to tokt til, i samband med utsetting og opptak av strømmålaren. På tokta vart det brukt ein plastbåt med påhengsmotor.



Figur 8. Kart med måleposisjonar for hydrografi.

Kursar og posisjonar på kvart tokt vart registrert ved hjelp av GPS-spor lagra i medbrakt GPS-mottakar. I tillegg til å registrere kursar/spor kunne GPS-en også nyttast til å måle distansar frå t.d. elveosen. I Årdalsfjorden kan ein rekne med nøyaktigheit på +/- 4-5 m eller betre for slikt utstyr. I området frå nord for elveosen, ved småbåthamna, var det noko dårleg dekning, slik at ein måtte flytte og justere litt på båten før ein fekk posisjon.

2.1.1 Måleutstyr for hydrografi

Målingane vart gjort med ein nedsenkbar målesonde av type SAIV STD/CTD mod. 204. Denne har internt dataminne og loggar måledata frå sensorane med fast tidsintervall, saman med tilhøyrande trykk (djup). Målesonden var innstilt på å ta ei måling kvart 2. sekund, evt kvart sekund. Dei vertikale målingane (profilane) vart gjort ved å senke apparatet (festa til ei lang snor) roleg nedover i sjøen. Opphaling vart gjort noko raskare. Sonden måler både ved nedsenking og opphaling; vertikal-målingane presentert i denne rapporten er basert på målingar under nedsenking.

På nokre av tokta vart ein Seabird SBE-19 STD sonde nytta i tillegg til SAIV sonden.

2.1.2 Måletidspunkt og datagjenfangst

Det vart gjennomført i alt ti måletokt. **Tabell 1** syner detaljer for målingane. Andre toktet, den 10. februar, vart noko redusert p.g.a. islegging i fjorden slik at båten ikkje kom seg fram. Ved nokre andre høve hadde målesonden ikkje starta logging på stasjon, slik at ein miste data der. Antal stasjonar med data varierte frå 11 til alle 16, med aukande datagjenfangst utover i programmet.

Tabell 1. Oversyn over hydrografimålingane i Årdalsfjorden vinteren 2009. "OK": stasjon med målingar.

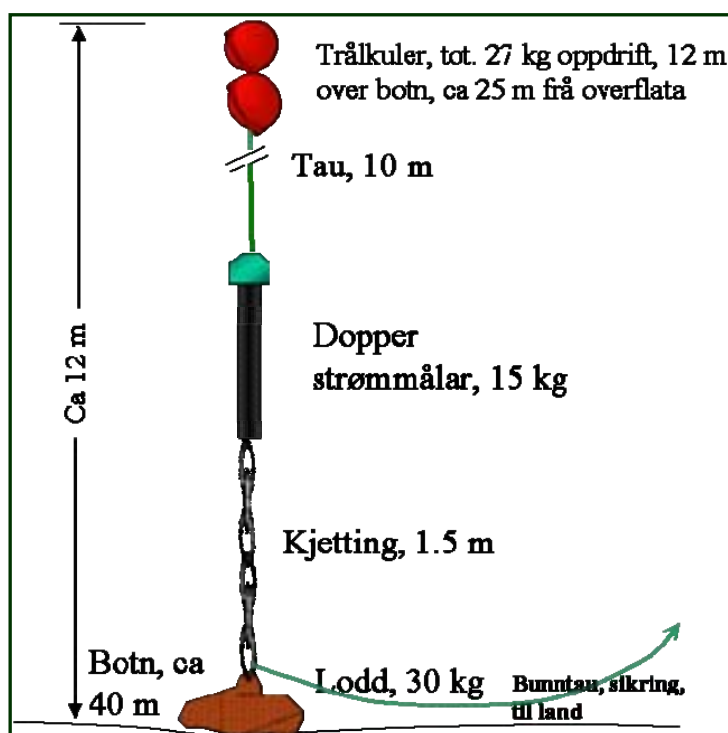
Tokt nr:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dato:	22/1	10/2	18/2	25/2	5/3	11/3	18/3	24/3	2/4	20/4
Målepos.↓										
1	OK	OK	OK	OK		OK		OK	OK	OK
2	OK	OK		OK		OK	OK	OK	OK	
3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4	OK		OK	OK		OK	OK	OK	OK	OK
5	OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK	OK	OK
6	OK	OK		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
7	OK	OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK	OK
8			OK		OK	OK	OK	OK		OK
9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10	OK		OK	OK	OK	OK		OK	OK	OK
11	OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK	OK	OK
12	OK	Is	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
13	OK	Is		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
14	OK			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
"17"(16)	OK	OK	OK			OK	OK	OK	OK	OK
Antal:	14	10	12	12	11	16	14	16	15	15

2.2 Strømmåling

Det vart foreslått å måle strømmen i fjorden på høveleg stad ved elvemunningen over 4 veker. Dette skjedde med eit fast forankra måleinstrument, sk. profilerande Doppler målar som måler strømmen i mange djup/sjikt samtidig, v. hj. a. akustikk. På den måten fekk vi opplysning om evt. lagdeling i strømmen og om der kunne finnast sjikt med hovedretning inn mot elvemunningen (kompensasjonsstrøm). I så fall må ein unngå at avlaupsvatnet lagrar seg inn der.

Ein AADI RRP600 målar vart nytta. Den vart satt ut 24. mars 2009 kl 13, og byrja måle kl 16 (lokal tid). Måleintervallet var satt til 15 minutt, med 2 meter avstand mellom måledjupa (cellene). Plasseringa var litt SE for hydrografistasjon 10, ved botndjup på ca 40 m. Målaren stod litt opp frå botnen, slik at djupet for denne var ca 36 m. Sjå **Figur 9** for arrangement av forankringa. Frå

botnloppet la vi eit tau langs botnen inn til land, for å sikre riggen og for å ha noko å hale opp med. Det var inga kule/markering på overflata. Ei lita kule stod ca 10 m over dei store kulene, festa med eit tynt tau til desse.



Figur 9. Skisse av strømmålar-riggen. Ei lita markeringskule stod ca 15 meter over dei to store oppdriftskulene, festa med ei tynt snor.

Målaren vart tatt inn under toktet 20. april, den hadde då stått ute og målt i 27 dagar. Det synte seg at den øvste vesle markeringskula låg i overflata den dagen. Då vi halte opp riggen med botntauet, viste det seg at den var flytta noko (ca 50 m) innover mot land, til grunnare vatn (ca 12 m grunnare). Årsaka er uklar, men nokon kan ha fått fast fiskekrok i riggen og halt opp for å få løsna kroken, og så latt alt gå ut igjen.

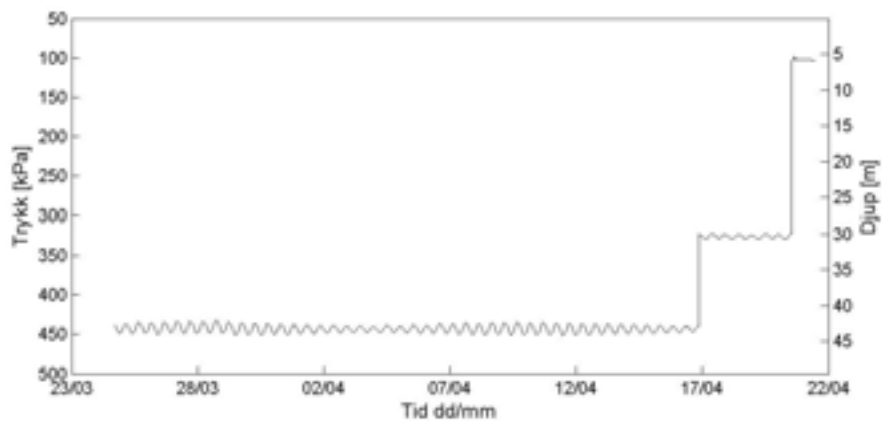
Målaren vart tatt i land, og dataminnnet tømmt. Måleinstrumentet hadde fungert fint, med OK data i heile måleperioden.

Figur 10 syner det målte trykket i løpet av måleperioden. Det framgår at målaren har blitt flytta kvelden/natta mellom 16. og 17. april, altså 4-5 dagar før opptaket. Vi har separert ut desse målingane får våre analyser, sidan kvar måleserie (djupnecelle) fekk endra djup etter flyttinga, og at også posisjonen er forskjellig.

2.3 Andre observasjonar

Under toktet i april sonderte vi botnen med eit nedsenkbart kamera, for å sjå på botntilhøva. Vi fokuserte på området ut for elvemunningen til der den nye leidningen var tenkt plassert, litt NV for munningen, i området der vi hadde strømmålaren ståande. Botnen bestod av middels grovkorna sand med litt småstein og skjell inimellom. Der var lite organisk materiale å sjå, og bra sikt også nede ved botnen.

Under toktet 20. april foretok vi også ei sonderings langsmed kaiene for å sjå etter evt nye utslepp eller forureining. Vi oppdaga litt kvitt skum på overflata nord for lossekaia, ellers ingenting unormalt.



Figur 10. Djupet (rekna av det målte trykket) der strømmålaren stod.

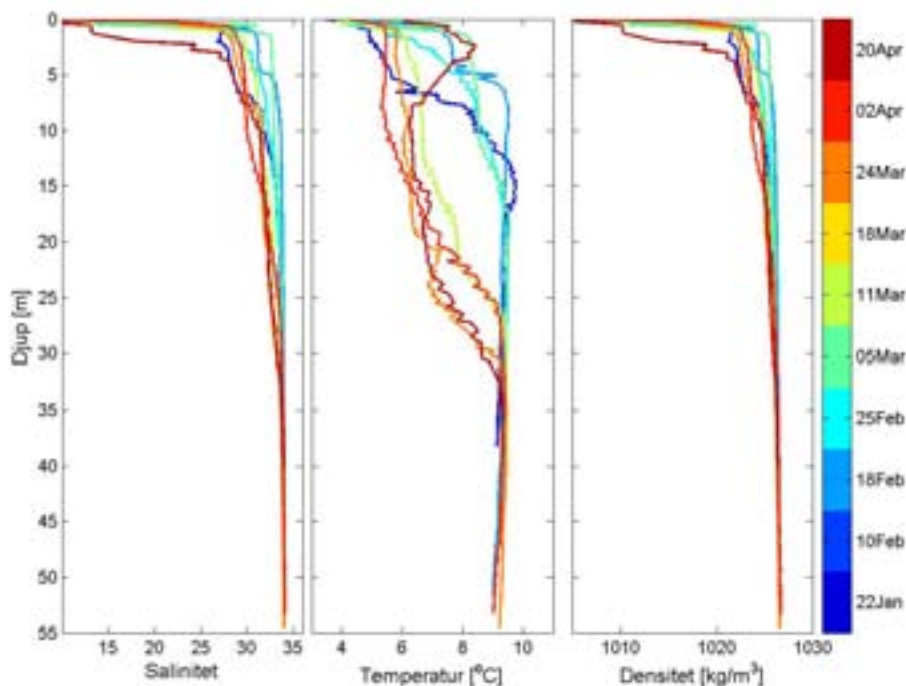
3. Måleresultat

Vi gjengir kortfatta dei viktigaste måleresultata. Målingane er nytta vidare i berekningar og modellering, sjå neste kapittel.

3.1 Hydrografi

Målt salinitet, temperatur og densitet for stasjon 10 er synt i **Figur 11** (sjå **Figur 8** for posisjon). Data frå denne stasjonen er brukt som inngangsdata til innlagringsmodellen.

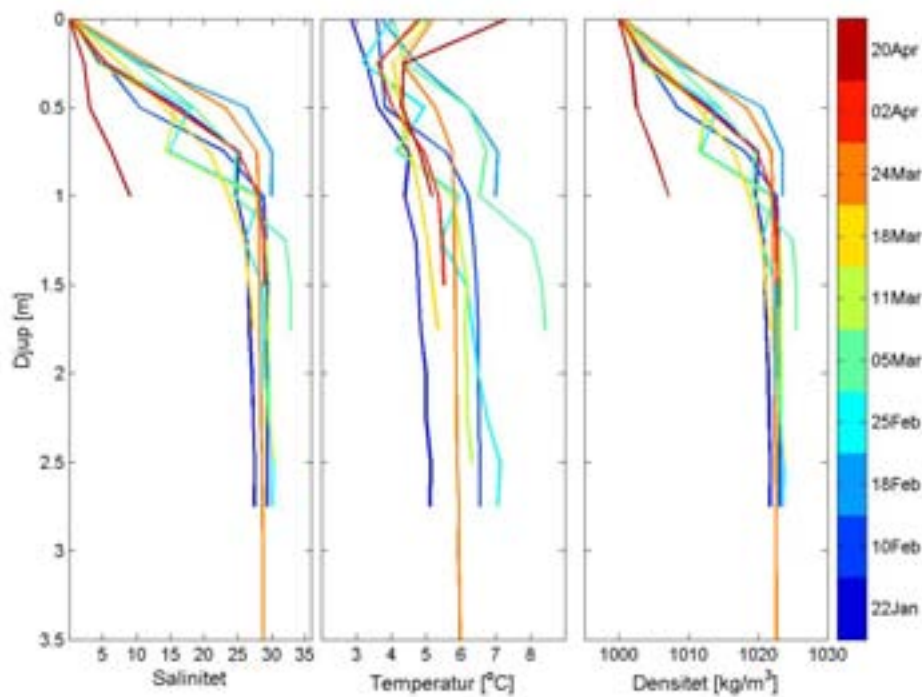
Under 35 m djup var det homogene forhold gjennom heile måleperioden. Eit kaldt overflatelag i januar og februar breier seg nedover i djupet slik at det ved 20 m djup er kaldare i mars og april enn det er i januar og februar. Dette påverkar stabiliteten lite, då det er saliniteten som har mest å seie for densiteten (densitetsprofilane gjenspeglar salinitetsprofilane). Det er stabil sjikting i heile måleperioden. I slutten av april er blandingslaget (brakkvasslaget) nær overflata markert tjukkare enn tidlegare på året.



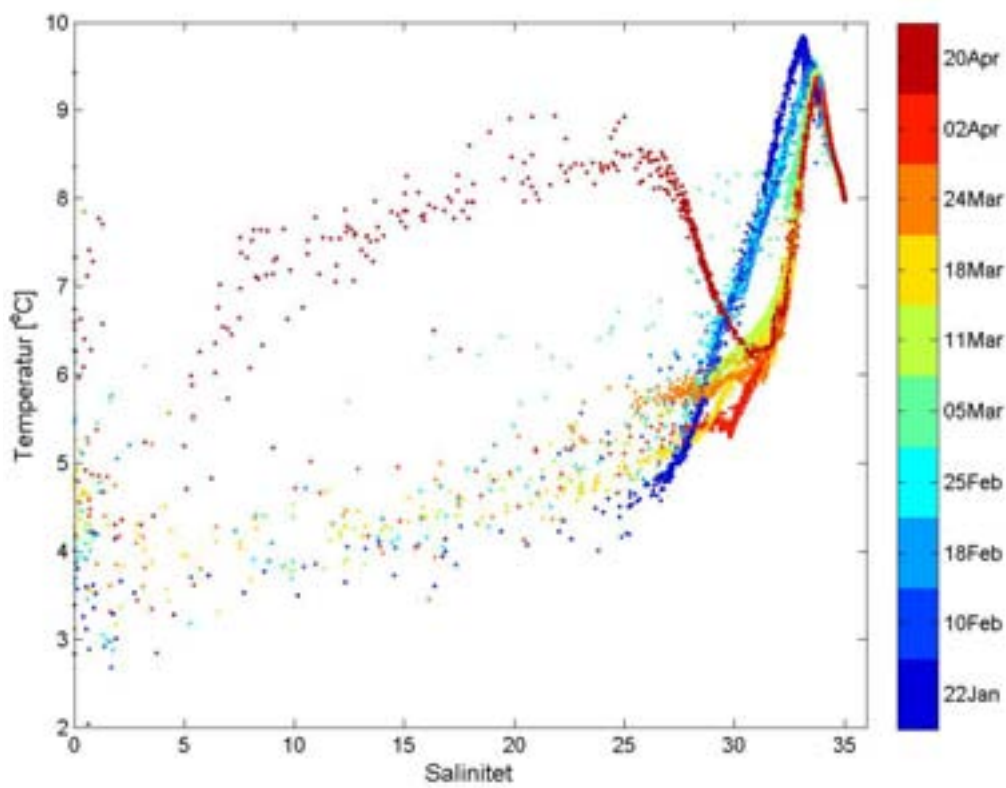
Figur 11. Vertikalprofilar av salinitet, temperatur og densitet for stasjon 10, alle målingane.

Figur 12 viser salinitet, temperatur og densitet for stasjon 3 som er lokalisert like ved elvemunningen. Der var stor variasjon mellom 1 m djup og overflata. Det er mellom anna varmare overflatevatn i siste del av perioden. Det var markert stabil sjikting i heile måleperioden på grunn av ferskvasspåverknaden. Sjøvasspåverknaden var tydeleg alt i 1 m djup (> 25 ppt) med unntak av 20. april då det var tydeleg meir ferskvasspåverknad.

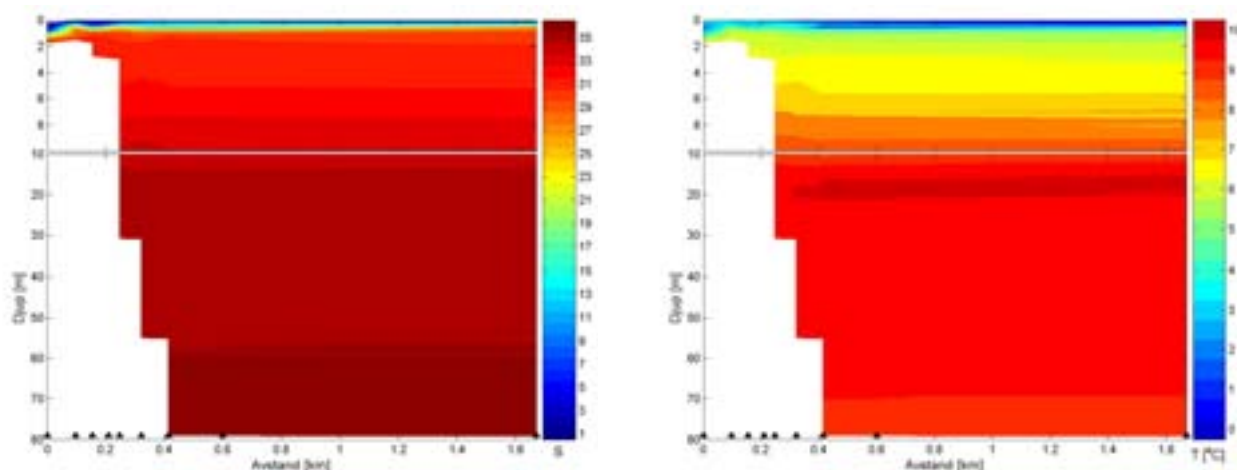
Saliniteten plotta mot temperaturen er synt i (**Figur 13**) for alle stasjonar og tokt. Det framgår at nær overflata, der det er lågast salinitet, aukar temperaturen gjennom måleperioden. I djupare lag, der det saltaste vatnet befinn seg, vart det både kaldare og saltare mot slutten av måleperioden. Den midlare vertikalsjiktinga vil difor gradvis verte sterkare.



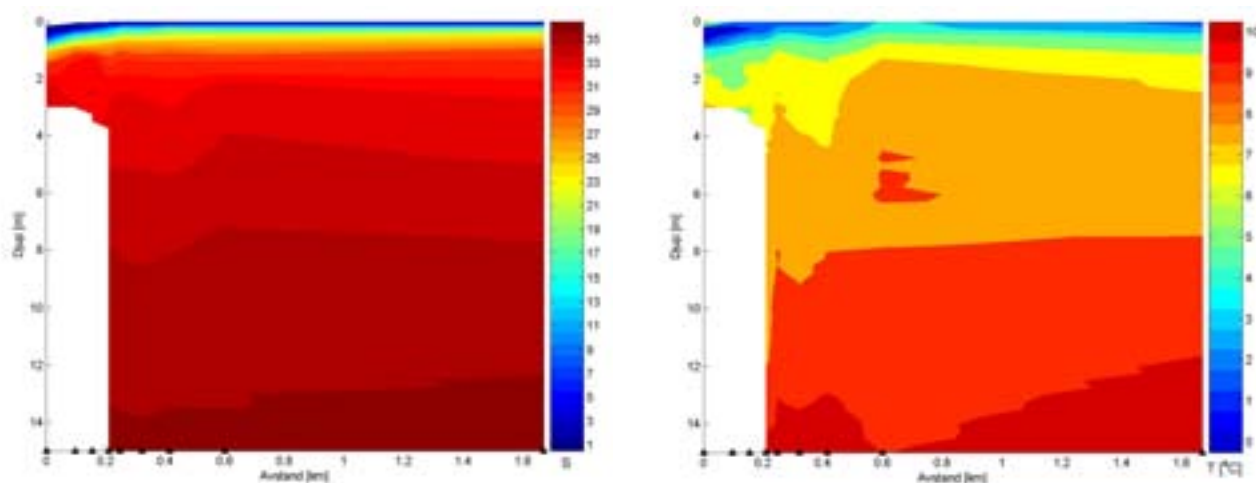
Figur 12. Vertikalprofilar av salinitet, temperatur og densitet for stasjon 3 ved elvemunningen.



Figur 13. T/S diagram for alle hydrografimålingane, alle tokt.



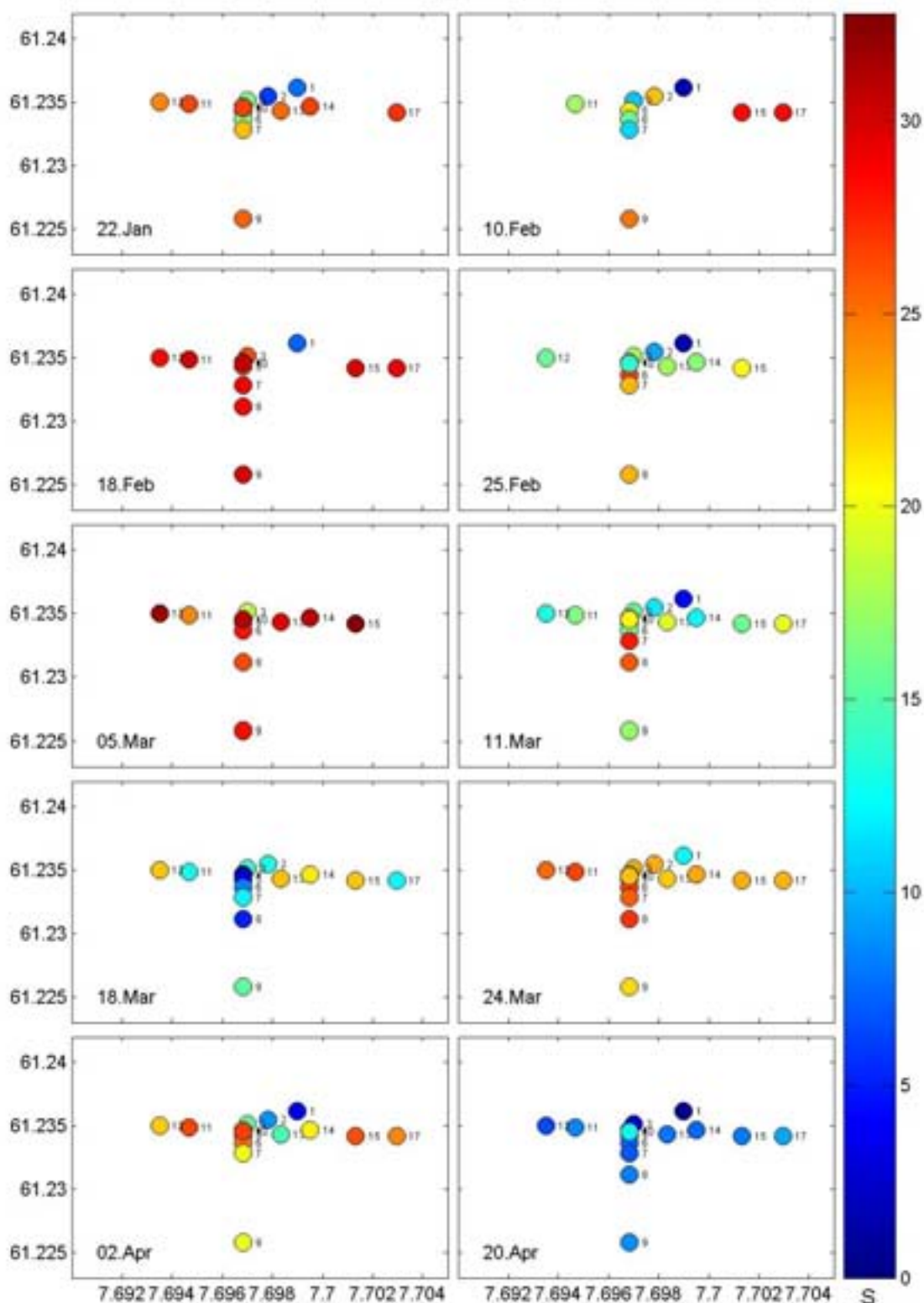
Figur 14. Vertikalsnitt av salinitet (t.v.) og temperatur (t.h.) frå elvemunninga (til venstre) og utover for målingane på tokt nr 2. Data til 80 m djup. Dei svarte trekantane indikerer stasjonsplassering i snittet.



Figur 15. Vertikalsnitt av salinitet (t.v.) og temperatur (t.h.) frå munninga (til venstre) og utover, for tidsmidla data (frå alle toktene) for kvar stasjon. Data frå overflate til 14 m djup. Dei svarte trekantane indikerer stasjonsposisjon.

Figur 14 og **Figur 15** viser vertikalsnitt av salinitet og temperatur frå elvemunninga og utover (stasjon 1-9 på **Figur 8**). **Figur 14** tar med data heilt ned til 80 m djup og er eit bilete av situasjonen under toktet 10. februar (det var på dette toktet det var data frå flest mogleg av desse 9 stasjonane). Verken saliniteten eller temperaturen varierte mykje frå stasjon til stasjon, men inst nær elvemunningen rekkjer det ferske og kalde overflatelaget litt djupare enn elles (påverknad frå elva). Det er liten horisontal variasjon djupare enn 20 m. **Figur 15** viser tidsmidla data ned til 15 m djup. Her er det lettare å sjå korleis det kalde, salte laget vert djupare nær elvemunninga.

For å studere saliniteten i overflatelaget, er saliniteten ved 0.5 m djup plotta som sirklar plassert i høve til geografisk posisjon (lengde/breiddegrad) og der saliniteten er angitt med fargekode (**Figur 16**). Saliniteten varierte mykje fra tokt til tokt. Ved toktene 18. februar og 5. mars var det tydelegast innslag av høgsalint vatn, mens særleg siste toktet, 20. april, synte mykje ferskvatn i overflatelaget, rimelegvis assosiert med aukande avrenning/snøsmelting.



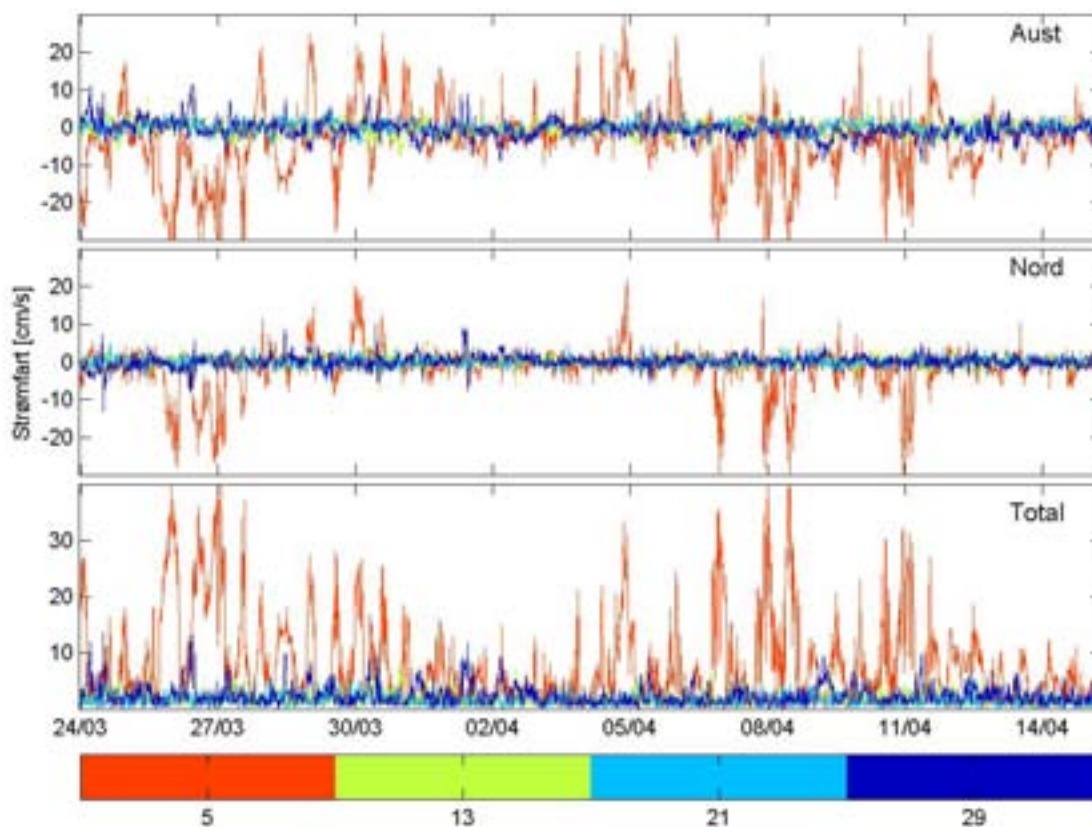
Figur 16. Saliniteten ved 0.5 m djup for alle stasjonar og tokt plassert etter geografisk posisjon. Dei små tala angjer stasjonsnummer. Saliniteten er gitt ved fargekoden til høgre.

Der er ingen klar eller systematisk skilnad mellom stasjonane vest og aust for elvemunningen å sjå i materialet, men ein moglegvis svak tendens til meir ferskvatn på austida. I alle fall var det ingenting

som tyda på overvekt av ferkvasspåverknad (frå elva) på vestida, i området der avlaupsleidningen er tenkt plassert.

3.2 Målt strøm i sjøen

Strømmålarer vart satt ut på ca 40 m djup. Av føregåande omtale og **Figur 10** framgjekk det at instrumentet vart flytta til eit grunnare djup nær 30 m den 17. april. Måledata frå 17. april og utover er difor ikkje med i den vidare analysen sidan desse dataene ikkje beinveges kan samanliknast med resten av måleserien.

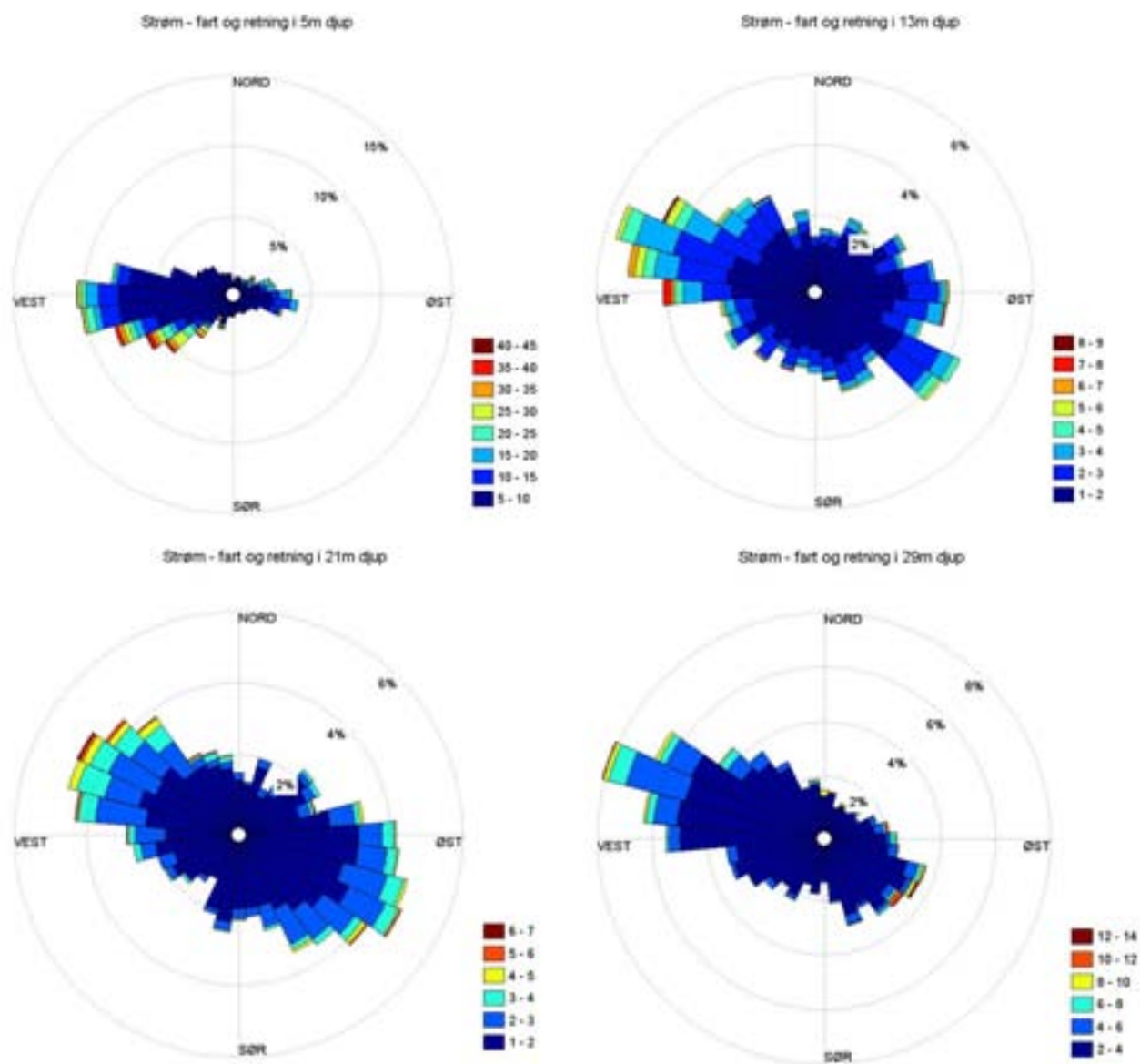


Figur 17. Målt strømfart (cm/s) i retning nord, aust og totalt for fire utvalgte djup (5m-raud, 13m-grøn, 21m-lys blå, 29m-mørk blå).

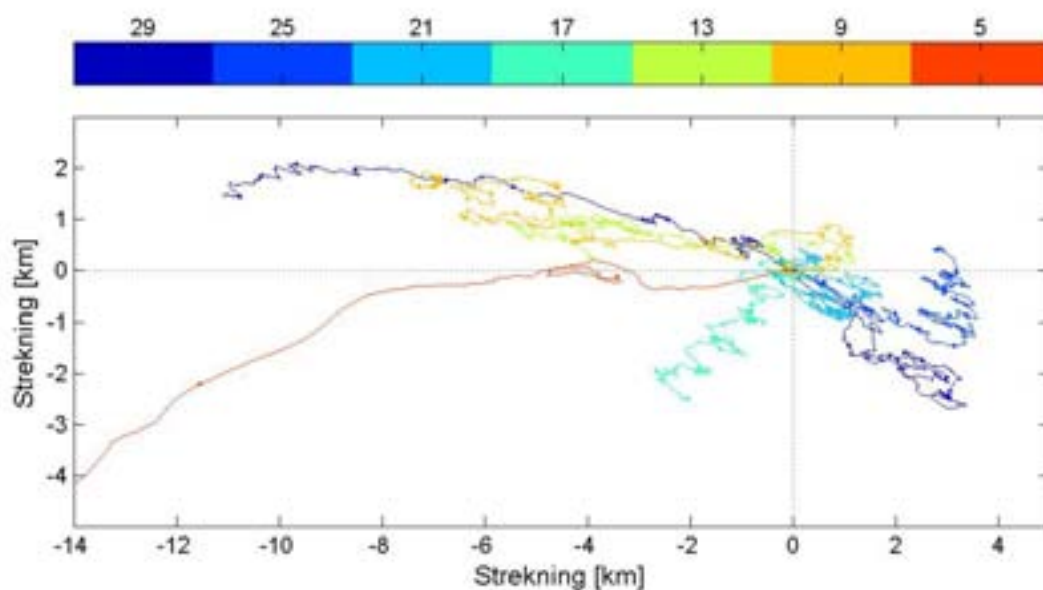
Figur 17 viser strømfart for utvalde djup i retning aust (øyst), nord (midten) og totalt (nederst). Generelt var strømmen nær overflata (raud strek) er mykje sterkare enn i djupet (grønt og blått).

Figur 18 ser ein betre kva for strømrøtningar som dominerte ved ulike styrke. I overflata dominerte strøm mot vestleg og sørvestleg retning, medan det djupare nede stort sett var nordvestleg og søraustleg strøm, d.v.s. langs land med komponent utover fjorden. Denne retningstendensen er også tydeleg å sjå i **Figur 19** som viser progressiv vektor diagram for 7 av måledjupa.

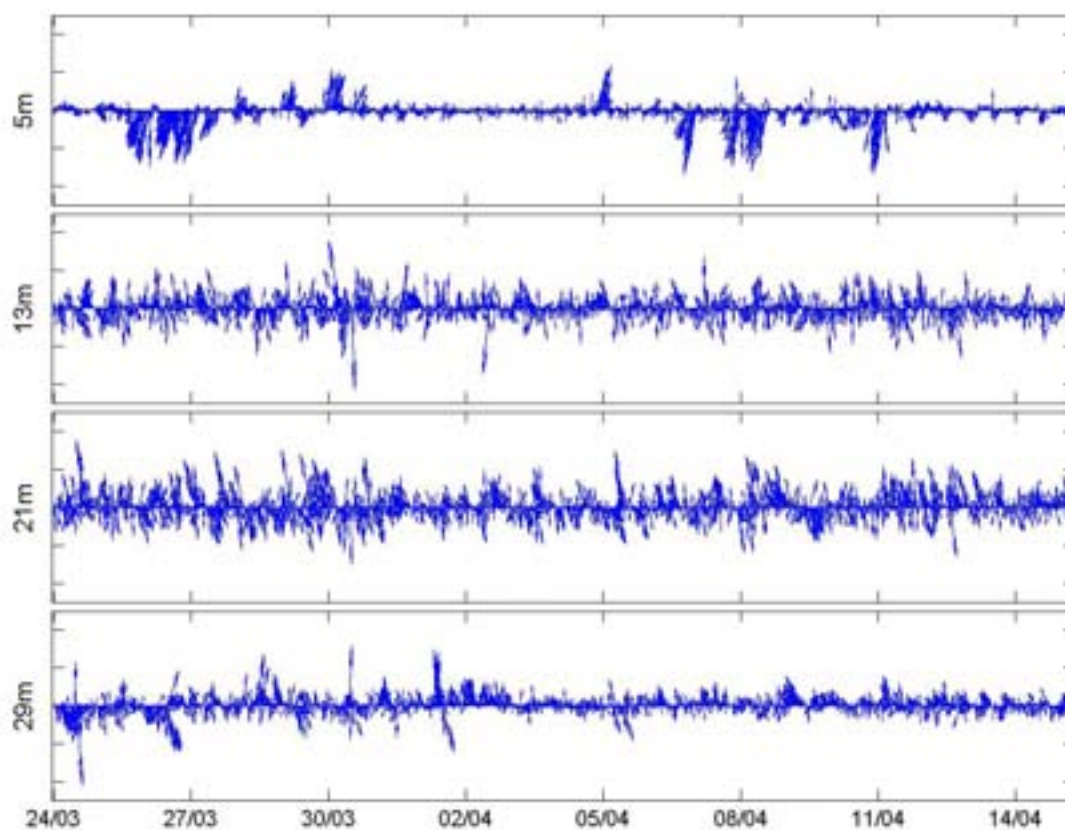
I overflata var det markert sterkare strøm i to perioder kring 26. mars og 8. april (**Figur 20**). Dette kan skuldast kraftig vind og/eller høg vassføring i elva og kan ikkje sporast djupare nede.



Figur 18. Strømroser for utvalgte djup. Søylene markerer histogram for fordeling av strømrretning, medan fargane på søylane angjer styrken i den gitte retninga. Merk at fargekoden er forskjellig for dei fire rosene.



Figur 19. Progressiv vektor diagram for 7 måledjup (angitt med fargekode og djup (m)). Det er teikna inn ein prikk for kvar dag langs trajektoriane. Ved 5 m djup er det mykje sterkare strøm enn ved dei andre djupa, og trajektorien for dette djupet endar difor utanfor figuren.



Figur 20. Stickplott av strømobservasjonane (strømpiler) for 4 måledjup. Nord er oppover i diagrammet, aust er t.h. Det er forskjellig skalering for dei ulike plotta.

4. Beregning av innlagring/spreiing

Vi har berekna sannsynleg mønster for oppstiging, fortytning og innlagring for utsleppsvatnet frå Øvre Årdal for ulike scenarier for utsleppet (djup, fluks, sjikting), basert på utslepp gjennom røyrenden (utan diffusor). Til dette har vi nytta den numeriske modellen JETMIX. Målet med å kjøre JETMIX er å finne eit utsleppsdjup som gjev tilstrekkeleg djup innlagring slik at brakkvasskilen i elveosen eller sjikt i evt. inngåande kompensasjonsstrøm ikkje blir berørt. Her presenterer vi metodikk og resultat for berekningane, som blir samanstillt med andre resultat i avslutningsdiskusjonen. **Figur 21** illustrerer korleis oppstigande vatn innlagrar og spreier seg under overflata (laboratorieforsøk).



Figur 21. Foto frå laboratorieforsøk med farga oppstigande (lett, ferskt) vatn i ei sjikta væske (sjøvatn).

4.1 Scenarier for utsleppet

Vi har nytta dei hydrografiske profilane frå vinteren 2009 for Stasjon 10 til berekningane. Der var 8 profiler i alt (data frå 2 tokt mangla, sjå **Tabell 1**). Vi har først antatt at utsleppet vil gå gjennom eit røyr med 300 mm diameter, og med ein dimensjonerande fluks på 55 l/s, i h.h.t. opplysningar frå kommunen/Norconsult. Vi har også simulert med halve fluksen (27 l/s). For desse verdiane har vi simulert utslepp i h.h.v. 30 m og 40 m djup.

I tillegg simulerte vi for mindre vassfluks (halvparten) og med litt tynnare leidning (200 mm), og med tjukkare leidning (450 mm), sistnemnde dimensjon kan vere den mest aktuelle. **Tabell 2** oppsummerer dei ulike scenaria for utsleppet, som er forutsatt plassert i området ved Stasjon 10. Modellen er kjørt under forutsetning at leidningen ligg ved botnen, skråande svakt nedover (10° helling). Vidare er det forutsatt kun ein opning, i enden av leidningen (ingen diffusor).

Tabell 2. Utsleppstal brukt i simuleringane med JETMIX.

Sjiktingstype →	
Utsleppsdjup:	30m, 40m
Leidningsdiameter:	200 mm, 300 mm, 450 mm
Utsleppsfluks:	27 l/s, 55 l/s

4.2 Resultat for innlagring og fortynning, JETMIX

4.2.1 300 mm diameter leidning

Resultat for kjøring med modellen JETMIX for utslepp i h.h.v. 30 m og 40 m djup, 300 mm røyr diameter, er synt i **Tabell 3**. Viktigaste resultat er innlagingsdjupet DEPTH, samt for høgste opptrengingsdjupet (EQS).

Høg vassfluks, 55 l/s

Det framgår at ved utslepp i 30 m djup er grunnaste innlagring 8.7 m (profil 2, 18/2 2009), og grunnaste opptrenging 4.0 m djup (profil nr 4, 5/3 2009). Ellers ligg innlagingsverdiane stort sett rundt 15 m djup.

Ved utslepp i 40 m djup vil det bli djupare innlagring enn ved 30 m utslepp. Resultata for 40 m syner typiske innlagingsverdier rundt eller djupare enn 20 m. Grunnaste innlagring er 11.5 m, og grunnaste opptrenging er til 6.1 m.

Moderat/låg vassfluks

Desse nemnde tala refererer seg til ein fluks ut av opningen på leidningen motsvarande 55 l/s (0.77 m/s strålefart ved 300 mm diameter), som nok vil representere ein maksimalfluks. Høg fluks gjev grunnare innlagring enn moderat/låg fluks, som også er simulert (27 l/s; 0.38 m/s). Den lågare fluksen gjev typisk 2-3 m djupare innlagring ved same utsleppsdjup enn høg fluks, og same tendens gjeld for opptrengingsdjupet. Grunnaste innlagingsdjup er då 14 m (grunnaste opptrenging til 8.1 m), sjå **Tabell 3**.

4.2.2 200 mm diameter leidning

Resultata her er synt i **Tabell 4**, for ellers same datagrunnlag og parametrar som i Tabell 3. Effekten av tynnare leidning er større strålefart ut av opningen. Dette gjev kraftigare initialblanding, og med resultat 1-3 m djupare innlagring enn med 300 mm leidning. For max opptrengingsdjup er tendensen den same. Tynnare leidning (tynnare opning) er m.a.o. gunstig m.o.t. å oppnå djupare innlagring.

4.2.3 450 mm diameter leidning

Resultata av berekningane for denne diameteren er synt i **Tabell 5**. Med større opning blir det mindre strålefart og dermed dårlegare initialblanding nær utsleppspunktet, i høve til dei mindre diameterane. Resultata for fortynning ved innlagring er ganske like resultata for 300 mm leidning. Også for innlagingsdjupet er det berre mindre skilnadar for 450 mm versus 300 mm diameter, med tendens til litt grunnare innlagring med 450 mm leidning. Skilnadane er imidlertid små, mindre enn 0.5 m i djupneverdi. Minste berekna innlagingsdjup (høgste oppstiging) for 450 mm diameter og utslepp i 30 m djup er 8.6 m djup ved høg fluks, og 9.6 m for låg fluks.

Tabell 3. Resultat (høgre side av tabellen) for første kjøring med JETMIX, 8 målte profiler, **300 mm leidning** (DIAM), ut på h.h.v. 30 og 40 m djup (DEPTH). Fluks 27 l/s og 55 l/s (omrekna til strålefart, VEL).

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE: AARDAL-300 mm

JET DATA AFTER CONTRACTION !PRO- !										RESULTS			
!FILE !										NEUTRAL	POINT	EXTREMAL	
! !												DEPTHS	
SCEN.	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE!	NO. !	WIDTH	ANGLE	CENTER	DEPTH				
NO.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	!	(M)	DEG.	DILUT.	(M)	(M)	EQS.	GRAV.	
1	30.0	.30	.77	-10	!	1	!	3.7	86	42	15.5	11.2	6.0
					!	2	!	5.1	88	73	8.7	4.9	1.4
					!	3	!	4.0	86	46	14.4	9.7	3.9
					!	4	!	4.6	87	57	11.8	4.0	.7
					!	5	!	3.8	86	41	15.5	11.7	4.3
					!	6	!	3.7	85	37	16.4	10.2	4.9
					!	7	!	3.2	85	31	18.3	14.2	9.3
					!	8	!	3.9	86	42	15.2	9.6	5.9
2	30.0	.30	.38	-10	!	1	!	3.3	88	55	16.4	12.8	8.0
					!	2	!	4.7	89	101	9.6	5.8	3.2
					!	3	!	3.5	88	57	16.1	11.6	6.1
					!	4	!	3.9	88	70	13.9	8.2	1.1
					!	5	!	3.4	88	52	16.6	13.3	7.8
					!	6	!	3.0	88	43	18.3	13.6	6.4
					!	7	!	2.6	87	36	19.7	15.8	11.3
					!	8	!	3.3	88	51	16.8	12.2	7.2
3	40.0	.30	.77	0	!	1	!	5.1	87	69	18.9	14.2	9.0
					!	2	!	6.6	88	110	11.5	6.1	2.9
					!	3	!	4.7	87	64	20.1	13.8	6.1
					!	4	!	5.6	88	82	16.6	10.4	1.3
					!	5	!	4.1	87	50	23.2	16.1	7.9
					!	6	!	3.9	86	42	24.9	19.5	10.7
					!	7	!	4.2	87	50	23.0	18.8	12.8
					!	8	!	3.8	86	39	25.5	19.9	10.2
4	40.0	.30	.38	-10	!	1	!	4.5	88	89	21.1	16.1	11.1
					!	2	!	6.0	89	146	14.0	8.1	4.2
					!	3	!	4.3	89	88	21.4	16.4	9.5
					!	4	!	4.9	89	106	19.1	13.2	4.3
					!	5	!	3.7	88	68	24.4	19.2	12.0
					!	6	!	3.2	88	50	27.1	22.2	14.9
					!	7	!	3.8	88	67	24.4	20.6	15.3
					!	8	!	3.1	88	46	27.8	23.4	15.1

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

Tabell 4. Resultat (høgre side av tabellen) for første kjøring med JETMIX, 8 målte profiler, 200 mm leidning (DIAM), ut på h.h.v. 30 og 40 m djup (DEPTH). Fluks 27 l/s og 55 l/s (omrekna til strålefart, VEL).

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE: AARDAL-200 mm

JET DATA AFTER CONTRACTION				!PRO- !	!FILE !	RESULTS						
				! !	! !	NEUTRAL		POINT	EXTREMAL			
				! !	! !				DEPTHS			
SCEN	DEPTH	DIAM.	VEL.	ANGLE	! NO.	! WIDTH	ANGLE	CENTER	DEPTH			
NO.	(M)	(M)	(M/S)	DEG.	!	(M)	DEG.	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)
1	30.0	.20	.77	-10	!	1 !	3.3	87	59	16.8	13.2	8.5
					!	2 !	4.8	88	110	9.8	6.1	3.5
					!	3 !	3.4	86	59	16.7	12.2	6.6
					!	4 !	3.9	87	75	14.3	9.0	1.3
					!	5 !	3.3	86	54	17.2	13.8	8.5
					!	6 !	2.9	85	43	19.2	14.6	6.9
					!	7 !	2.6	85	39	20.2	16.4	11.6
					!	8 !	3.3	86	53	17.3	13.0	7.6
2	30.0	.20	.38	-10	!	1 !	3.0	88	79	17.5	14.5	10.6
					!	2 !	4.3	89	145	11.4	7.4	4.4
					!	3 !	2.9	88	73	18.2	14.2	9.0
					!	4 !	3.5	88	98	15.5	11.5	3.8
					!	5 !	2.9	88	67	18.5	15.1	11.2
					!	6 !	2.4	88	52	20.4	16.8	9.5
					!	7 !	2.2	88	48	21.1	18.0	13.4
					!	8 !	2.9	88	67	18.4	15.0	9.4
3	40.0	.20	.77	0	!	1 !	4.4	87	93	21.5	16.5	11.5
					!	2 !	5.9	88	153	14.5	8.4	4.4
					!	3 !	4.3	88	93	21.6	16.9	10.0
					!	4 !	4.8	88	110	19.5	13.7	5.1
					!	5 !	3.7	87	71	24.6	19.7	12.5
					!	6 !	3.1	86	53	27.4	22.7	15.7
					!	7 !	3.7	87	70	24.8	20.9	15.7
					!	8 !	3.0	86	47	28.3	23.8	15.8
4	40.0	.20	.38	-10	!	1 !	3.9	89	120	23.5	18.7	13.6
					!	2 !	5.4	89	203	16.7	10.9	5.7
					!	3 !	4.1	89	132	22.4	18.8	13.2
					!	4 !	4.3	89	146	21.4	16.1	9.0
					!	5 !	3.5	88	100	25.3	22.1	15.6
					!	6 !	2.7	88	67	28.7	25.2	19.1
					!	7 !	3.5	88	95	25.8	22.5	18.5
					!	8 !	2.4	88	56	30.1	26.2	19.4

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

Tabell 5. Resultat (høgre side av tabellen) for første kjøring med JETMIX, 8 målte profiler, 450 mm ledning (DIAM), ut på h.h.v. 30 og 40 m djup (DEPTH). Fluks 27 l/s og 55 l/s (omrekna til strålefart, VEL).

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE: AARDAL-450 mm

JET DATA AFTER CONTRACTION					!PRO- !	RESULTS						
					!FILE !	NEUTRAL		POINT	EXTREMAL			
					! !				DEPTHS			
HOLE NO.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	! NO. !	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER	DEPTH (M)	(M)	(M)	
1	30.0	.45	.34	-10	! 1 !	3.6	88	41	15.3	11.1	6.0	
					! 2 !	5.0	89	71	8.6	4.9	1.4	
					! 3 !	4.0	88	45	14.1	9.5	3.7	
					! 4 !	4.6	88	57	11.4	3.6	.7	
					! 5 !	3.7	88	40	15.4	11.4	4.0	
					! 6 !	3.7	88	37	15.9	9.6	4.7	
					! 7 !	3.2	88	30	18.0	14.0	9.2	
					! 8 !	3.9	88	42	14.8	9.3	5.8	
2	30.0	.45	.17	-10	! 1 !	3.3	89	55	16.4	12.7	8.0	
					! 2 !	4.7	89	101	9.6	5.8	3.2	
					! 3 !	3.5	89	56	16.0	11.6	6.0	
					! 4 !	3.9	89	70	13.8	8.0	1.1	
					! 5 !	3.4	89	52	16.6	13.3	7.6	
					! 6 !	3.0	89	43	18.2	13.5	6.4	
					! 7 !	2.7	89	37	19.6	15.7	11.2	
					! 8 !	3.3	89	51	16.7	12.1	7.1	
3	40.0	.45	.34	0	! 1 !	5.0	88	68	18.6	14.1	8.8	
					! 2 !	6.6	89	108	11.3	6.0	2.8	
					! 3 !	4.6	88	63	19.9	13.6	5.9	
					! 4 !	5.5	89	80	16.3	10.1	1.2	
					! 5 !	4.0	88	49	22.9	15.7	7.9	
					! 6 !	3.9	88	43	24.2	19.2	10.6	
					! 7 !	4.1	88	49	22.8	18.5	12.5	
					! 8 !	3.7	88	39	25.2	19.2	9.5	
4	40.0	.45	.17	-10	! 1 !	4.5	89	89	21.0	16.1	11.1	
					! 2 !	6.0	89	146	13.9	8.0	4.2	
					! 3 !	4.3	89	88	21.3	16.4	9.4	
					! 4 !	4.9	89	105	19.0	13.2	4.2	
					! 5 !	3.7	89	67	24.3	19.1	11.9	
					! 6 !	3.2	89	50	27.1	22.1	14.8	
					! 7 !	3.7	89	66	24.5	20.6	15.1	
					! 8 !	3.1	89	46	27.8	23.3	15.0	

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

4.3 Simuleringar med modellen CORMIX

Vi har også utført nokre supplerande numeriske simuleringar med modulen CORMIX1 tilhøyrande modellen CORMIX (utvikla frå Cornell Mixing Zone Experiment og nytta av m.a. US EPA). CORMIX1 er for eit vanleg neddykka utslepp ut i sjakta resipient, og der ein kan legge inn verdi for strømmen i resipienten. Resipientdata (hydrografi) for mars-perioden er nytta. Vilkår ellers som for JETMIX (55 l/s fluks).

Det framgår at innlagring skjer i 12.45 m over utsleppspunktet, d.v.s. i ca 28 m djup. Max oppstiging er 18 m (d.v.s. til 22 m djup). Dette illustrerer at strømmen bidreg til å auke blandinga og innlagringsdjupet med fleire meter, og at for øvrig JETMIX berekningane ligg på den konservative sida, d.v.s. at reell innlagring vil vere djupare en det den modellen ga.

Tabell 6. Resultat for simulering av neddykka utslepp i 40 m djup med modellen CORMIX (CORMIX1). Ein strømværdi på 5 cm/s er lagt til grunn for berekningane.

```

Profile definitions:
  B = Gaussian 1/e (37%) half-width, normal to trajectory
  S = hydrodynamic centerline dilution
  C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)
      X      Y      Z      S      C      B
      0.00   0.00   2.00   1.0 0.100E+04  0.15
      0.11   0.38   1.93   1.0 0.100E+04  0.16
Minimum jet height has been reached.
      0.57   1.20   3.39   3.5 0.284E+03  0.28
      1.00   1.45   5.22   8.5 0.118E+03  0.48
      1.51   1.59   7.04  15.3 0.653E+02  0.70
      2.10   1.69   8.84  23.9 0.419E+02  0.94
      2.78   1.76  10.57  33.2 0.301E+02  1.20
      3.63   1.83  12.26  42.6 0.235E+02  1.49
      4.75   1.90  13.79  54.3 0.184E+02  1.97
Maximum jet height has been reached.
      6.42   1.99  14.54  67.2 0.149E+02  2.52
      8.10   2.06  13.72  73.5 0.136E+02  2.41
      9.51   2.12  12.45  86.8 0.115E+02  2.60
Terminal level in stratified ambient has been reached.
Cumulative travel time =          88. sec
END OF CORJET (MOD110): JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION
-----
BEGIN MOD136: TERMINAL LAYER IMPINGEMENT/UPSTREAM SPREADING
  Vertical angle of layer/boundary impingement =   -41.53 deg
  Horizontal angle of layer/boundary impingement =    1.92 deg
UPSTREAM INTRUSION PROPERTIES:
  Maximum elevation of jet/plume rise =      18.08 m
  Layer thickness in impingement region =     3.79 m
  Upstream intrusion length =                7.69 m
  X-position of upstream stagnation point =   1.82 m
  Thickness in intrusion region =            3.79 m
  Half-width at downstream end =            15.12 m
  Thickness at downstream end =              2.10 m
Control volume inflow:
      X      Y      Z      S      C      B
      9.51   2.12  12.45   86.8 0.115E+02  2.60
Profile definitions:
  BV = top-hat thickness, measured vertically
  BH = top-hat half-width, measured horizontally in Y-direction
  ZU = upper plume boundary (Z-coordinate)
  ZL = lower plume boundary (Z-coordinate)
  S = hydrodynamic average (bulk) dilution
  C = average (bulk) concentration (includes reaction effects, if any)

```

4.3.1 Simulering av elvevatnet i fjorden

CORMIX3 er for simulering av ein utsleppsståle av lett vatn ut i ein resipient med enkel (kanal) geometri. Resultata blir omtrentlege og usikre, ettersom vi ikkje har detaljar om resipienten og utlaupsgeometrien som modellen er følsam for. Vi har satt Manning faktoren til 0,025, som tilsvarar ein moderat ujamn botn, med litt stein etc. Munningen er satt til 50 m x 2 m (teknisk sett fordelt på 5 felt). Overflatestrømmen i fjorden er satt til 25 cm/s, retning mot vest. Vassføring er simulert for 50 m³/s. Andre storleikar framgår av Vedlegg B, som også viser resultata.

Det framgår at elvevatnet bøyer noko av vestover p.g.a. strømmen, og vil berøre stranda ca 200 m ut på vestsida. Hydrografimålingane ga ingen tydeleg gradient på tvers av munningen når det gjeld ferskvasspåverknad, slik at elva sin påverknad av vatnet i fjorden i djupare sjikt uansett rask blir borte, kun ein overflatesignatur ned til ca 1 m djup er å finne over større område.

5. Oppsummering

Følgjande konklusjonar av datamaterialet og berekningane kan trekkast:

1. Elvevatnet kan sporast langt utover i Årdalsfjorden, men tydeleg kun ned til ca 1 m djup.
2. I sesong med svak sjikting som målingane omfattar, er brakkvasslaget i fjorden tynt, typisk inntil ca 1 m tjukt, aukande til 3 m i april når tilrenninga aukar.
3. Strømmen i fjorden kan tidvis bidra til å bøye av elvevatnet slik at det tangerer stranda på nord/vestsida (i følgje modellsimulering).
4. Det er imidlertid ingen signifikant skilnad i målt hydrografi nær overflata frå eine sida av munningen til den andre.
5. Ved låg og middels vassføring tenderer sjøvatn til å trenge inn i elvemunningen, sporbart frå ½ m djup og nedover.
6. Utsleppsvatnet frå ei leidning lagt ut til 40 m djup vil innlagre seg med god margin til elvevatnet over, oftast djupare enn 20 m, og såleis ikkje påverke elvemunningen. Dette gjeld for leidningsdiameter på 450 mm, og for minde diameterar; med redusert diameter oppnår ein noko gunstigare/djupare innblanding.
7. Strømmen i det tiltenkte utsleppsområdet har oftast retningskomponent ut fjorden, bort frå elvemunningen.

Avlaupsleidningen er førebels vurdert lagt ut langs elva til området i fjorden litt nordvest (til høgre) for munningen av Hæreidselva der det er ca 40 m djupt. Dette synes vere ein akseptabel plassering ut frå strømforholda og det at utsleppsvatnet då vil innlagre seg med god margin til elvevatnet. Risikoen for påverknad av elvevatnet vil då vere minimal.

Situasjonar med ein viss risiko for påverknad kan oppstå når det er svak sjikting i fjorden kombinert med at elva veks opp, d.v.s. overgang frå tørrver/kulde til flomsituasjonar. Dette er kortvarige perioder som pågår inntil det er bygd opp tilstrekkeleg sjikting i fjorden til å presse utsleppsvatnet djupare.

Vi har ikkje analysert dette nærare, det kunne vore gjort fleire analyser av materialet, m.a. å sjå på relasjon mellom faktisk vassføring og hydrografiske tilhøve for på ein betre måte å kunne framføre vurderingane til å dekkje ein full årssyklus. Våre vurderingar fokuserer på vinteren, som økologisk sett er ein mindre interessant periode, men som på den andre sida representerer lågast sjikting og truleg størst teoretisk risiko for interaksjon mellom utsleppsvatn og elvevatn. Flaumsituasjonar er også aktuelle å sjå på. Slike tilleggsvurderingar vil neppe endre konklusjonane over nemneverdig, men vil utvide grunnlaget for å understøtte desse.

Ei viss form for oppfølging av prosjektet, med tilleggsberekningar, økologiske vurderingar og verifisering av korleis utsleppet faktisk fungerer når det er etablert bør såleis vurderast. Ein funksjonstest kan lettvis utførast ved hj. av sporstoff som ein doserer ut i avlaupsvatnet og så måler på i fjorden ved utsleppspunktet.

6. Litteratur

J. Aure, J. Molvær, and A. Stigebrandt. Observations of inshore water exchange forced by a fluctuating offshore density field. *Marine Pollution Bulletin*, 33:112–119, 1996.

D.M. Farmer and H. Freeland. The physical oceanography of fjords. *Progress in Oceanography*, pages 147–200, 1983.

H.O Hermansen. Sognefjordens hydrografi og vannutveksling. 2003.

Den Norske Los 2001, volume 3 of *Farvannsbeskrivelse*.

S. Pond and G.L Pickard. *Introductory Dynamical Oceanography*. Butterworth-Heinemann, 2nd edition, 1983.

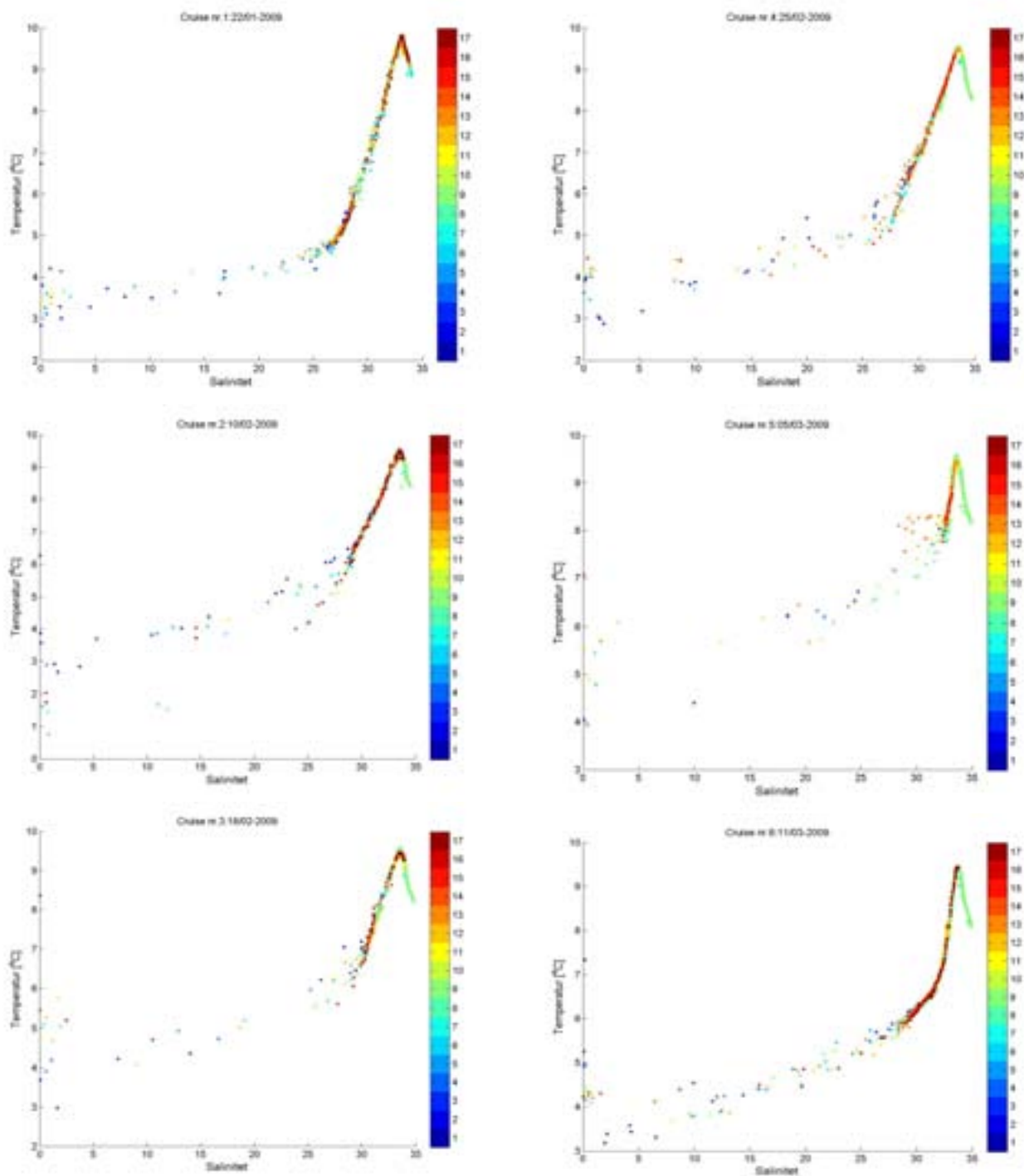
A. Stigebrandt. A mechanism governing the estuarine circulation in deep, strongly stratified fjords. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 13:197–211, 1980.

H. Svendsen. A study of the circulation in a sill fjord on the west coast of norway. *Marine science communications*, 3(2):151–209, 1977.

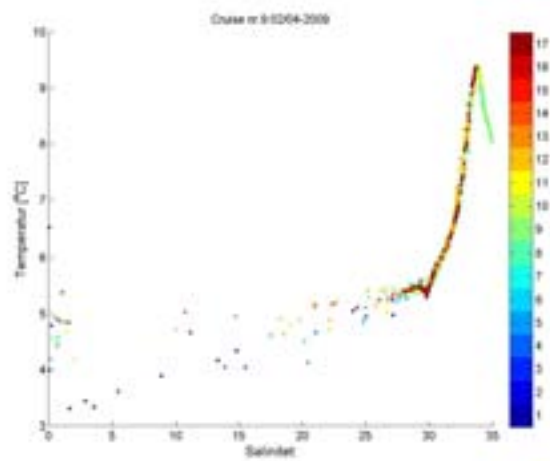
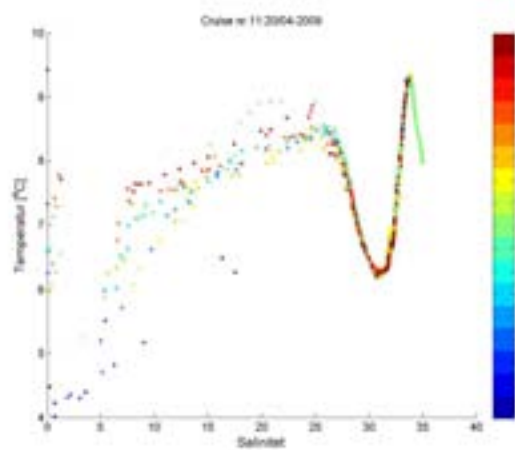
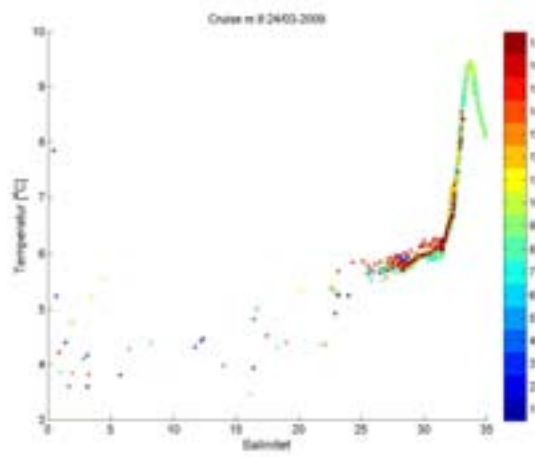
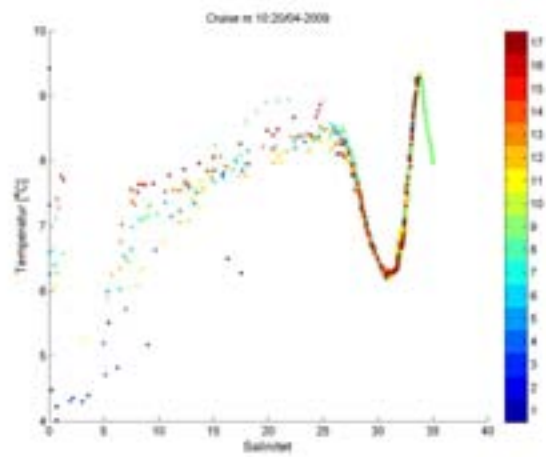
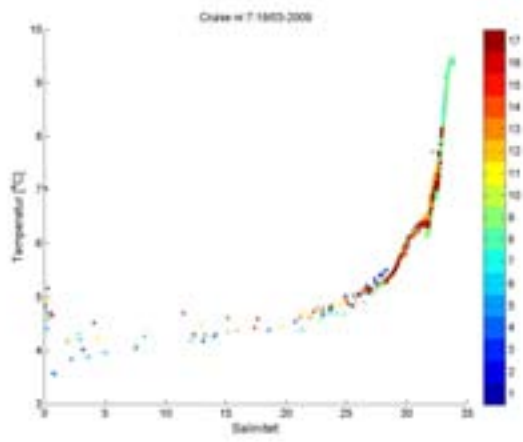
H. Svendsen. A study of circulation and exchange processes in the ryfylkefjords. *Geophysical Institute, University of Bergen*, 1981.

Svendsen, S. W. 2004: Stratification and circulation in Sognefjorden. Mastergradsoppgåve, Geofysisk institutt, UiB, 63s.

Vedlegg A. T/S plott for kvart tokt



T/S plott for alle målingane under tokt 1-6.



T/S plott for alle målingane under tokt 7-11.

Vedlegg B. Simulering av Hæreidselva

```

CORMIX SESSION REPORT:
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
                CORMIX: CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM
                CORMIX-GI Version 4.1GT

SITE NAME/LABEL:      aardal
DESIGN CASE:         Hereidselva
FILE NAME:           D:\CORMIX-GT\Aardal-elva.prd
Using subsystem CORMIX3:  Buoyant Surface Discharges
Start of session:    09/13/2009--16:41:24
*****
SUMMARY OF INPUT DATA:
-----
AMBIENT PARAMETERS:
Cross-section                = unbounded
Average depth                HA   = 2.5 m
Depth at discharge          HD   = 3 m
Ambient velocity            UA   = 0.25 m/s
Darcy-Weisbach friction factor F = 0.0361
    Calculated from Manning's n = 0.025
Wind velocity                UW   = 5 m/s
Stratification Type         STRCND = A
Surface density              RHOAS = 1003 kg/m^3
Bottom density               RHOAB = 1020 kg/m^3
-----
DISCHARGE PARAMETERS:      Buoyant Surface Discharge
Discharge located on        = right bank/shoreline
Discharge configuration     = flush discharge
Distance from bank to outlet DISTB = 0 m
Discharge angle             SIGMA = 90 deg
Depth near discharge outlet HD0   = 1.5 m
Bottom slope at discharge   SLOPE = 10 deg
Rectangular discharge:
    Discharge cross-section area A0 = 10.5 m^2
    Discharge channel width       B0 = 7 m
    Discharge channel depth       H0 = 1.5 m
    Discharge aspect ratio        AR = 0.214286
Discharge flowrate          Q0   = 10 m^3/s
Discharge velocity          U0   = 0.95 m/s
Discharge density           RHO0  = 1000 kg/m^3
Density difference          DRHO  = 10.2736 kg/m^3
Buoyant acceleration        GP0   = 0.0997 m/s^2
Discharge concentration     C0    = 100 mg/l
Surface heat exchange coeff. KS   = 0 m/s
Coefficient of decay         KD    = 0 /s
-----
DISCHARGE/ENVIRONMENT LENGTH SCALES:
LQ = 3.24 m          Lm = 12.34 m          Lbb = 63.75 m
LM = 5.43 m
-----
NON-DIMENSIONAL PARAMETERS:
Densimetric Froude number   FR0   = 1.68 (based on LQ)
Channel densimetric Froude no. FRCH = 2.46 (based on H0)
Velocity ratio              R      = 3.81
-----
MIXING ZONE / TOXIC DILUTION ZONE / AREA OF INTEREST PARAMETERS:
Toxic discharge              = no
Water quality standard specified = yes
Water quality standard      CSTD   = 1 mg/l
Regulatory mixing zone      = no
Region of interest          = 1000 m downstream
*****
HYDRODYNAMIC CLASSIFICATION:
*-----*
| FLOW CLASS = SA1 |
*-----*
*****
MIXING ZONE EVALUATION (hydrodynamic and regulatory summary):
-----

```

X-Y-Z Coordinate system:

Origin is located at water surface and at centerline of discharge channel:

0 m from the right bank/shore.

Number of display steps NSTEP = 5 per module.

NEAR-FIELD REGION (NFR) CONDITIONS :

Note: The NFR is the zone of strong initial mixing. It has no regulatory implication. However, this information may be useful for the discharge designer because the mixing in the NFR is usually sensitive to the discharge design conditions.

Pollutant concentration at edge of NFR = 93.536300 mg/l

Dilution at edge of NFR = 1.1

NFR Location: x = 0.22 m

(centerline coordinates) y = 8.25 m

z = 0 m

NFR plume dimensions: half-width = 4.65 m

thickness = 1.82 m

***** FINAL DESIGN ADVICE AND COMMENTS *****

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no