

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

Akvaplan-NIVA A/S

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

Tittel Strøm på havbrukslokaliteter Måling med akustisk Doppler instrument og tradisjonelle metoder	Løpenr. (for bestilling) 4133-99	Dato Desember 1999
	Prosjektnr. Undernr. 94408/98201	Sider Pris 33
Forfatter(e) Lars G. Golmen Arild Sundfjord	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) NIVA og Sunnhordland Havbruksring, Postboks 11, 5430 Bremnes	Oppdragsreferanse B. Tveranger, 9/11 98
---	---

Sammendrag

I januar 1999 vart det gjennomført målingar i sjøen med ein ny akustisk Doppler profilerande strømmålar (ADP) på ein lokalitet i Bømlo. Samstundes blei det målt med tre konvensjonelle rotorinstrument. ADPen målte strømmen kontinuerleg i 32 djupnesjikt frå overflata til botn. ADPen målte sterkast strøm, mens SD6000 målte svakast. Rapporten peikar på moglege årsaker til avvika. Ulike måleprinsipp og det at instrumenta ikkje stod i eksakt same posisjon og hadde ulik avstand frå anlegget er deler av forklaringa. Både i fjordane og på kysten kan det vere kompliserte strømforhold med lagdeling m.m. ADP instrument er langt meir effektive enn konvensjonelle metoder når det gjeld kartlegging og dokumentasjon av slike tilhøve og kan også hjelpe til å kartlegge negative faktorar som førespill, algar, plankton og lakselus. Havbruksnæringa bør i større grad ta den nye teknologien i bruk, både til eingongs kartlegging og til sanntids overvaking av strømmen for optimal drift og tryggleik.

Fire norske emneord 1. Strømmåling 2. ADP 3. Matfisklokalitet 4. Vassutskifting	Fire engelske emneord 1. Current measurements 2. ADP 3. Sea farm 4. Water exchange
--	---


 Lars G. Golmen
 Prosjektleder

ISBN 82-577-3743-7


 Bjørn Braaten
 Forsknings sjef

Strøm på havbrukslokaliteter

Måling med akustisk Doppler instrument og tradisjonelle metoder

Av:

Arild Sundfjord, NIVA-Vest

Lars G. Golmen, NIVA-Vest

Med bidrag frå:

Einar Nygaard, Statoil

Terje Hopen, NIVA

Bjarte Tveranger, Sunnhordland Havbruksring

Føreord

NIVA har gjennom fleire år samarbeidd med Sunnhordland Havbruksring omkring gransking av miljøet på lokalitetane, særleg med vekt på lokalitetsplassering i høve til strømforholda. Etter ein førebels oppsummering og rapportering av utført arbeid i perioden 1994-1997 (Nygaard og Golmen 1997) blei det hausten 1998 vedteke å fortsette samarbeidet. Havbruksringen løyvde 25.000 kr til dette på slutten av 1998. Ei tilleggsøyving frå NIVA gjorde det mogleg å kome i gang med eit nytt måleprosjekt i Bømlo i januar, 1999.

Bjarte Tveranger hos Sunnhordland Havbruksring bidrog til få det heile i gong, og bistod også i den praktiske tilrettelegginga. Bremnes Fryseri stilte lokaliteten ved Åsholmen i Bømlo til disposisjon for målingane. Einar Nygaard hos NIVA (no tilsett i Statoil) hjelpte til med klargjering av instrument og primærbehandling av data i innleiande fasar av prosjektet, mens Terje Hopen (NIVA) leverte ein del grafisk materiale.

Vi takkar dei som ga ei hjelpande hand med å få utstyret ut og opp av sjøen og til personar på anlegget som heldt eit auge med utstyret i mellomtida.

Bergen/Oslo, desember 1999

Lars G. Golmen

Innhold

Strøm på havbrukslokaliteter	2
Måling med akustisk Doppler instrument og tradisjonelle metoder	2
Samandrag	5
1. Prosjektet: bakgrunn og målsetting	6
1.1 Bakgrunn	6
1.2 Ålmenne og tekniske krav til strømmålinger	7
1.3 Behov og spesifikasjoner frå det offentlege	7
1.3.1 Norsk standard for strømmåling	7
1.3.2 Norsk standard for retningslinjer for miljøovervaking av marine matfiskanlegg.	8
1.3.3 Søknadsskjema for nyetablering	8
1.4 Målsetting med prosjektet	8
1.5 Omtale av lokaliteten	10
2. Gjennomførte målinger i januar, 1999	13
2.1 Omtale av ADP instrument	13
2.1.1 Generelt	13
2.1.2 Måleprinsipp	14
2.1.3 Nortek 500 Khz ADP	16
2.1.4 Programmering og utplassering	17
2.2 Aanderaa RCM 7	18
2.2.1 Instrument og måleprinsipp	18
2.2.2 Instrumentoppsett og utplassering	19
2.3 Sensordata SD6000	19
2.3.1 Instrument og måleprinsipp	19
2.3.2 Vektormidling av strømdata	20
2.3.3 Instrumentoppsett og utplassering	21
3. Måleresultat	22
3.1 NORTEK ADP	22
3.2 Strøm i 3 m djup	25
3.2.1 Strømretning	26
3.3 Strømmen nær botn	28
4. Vurderingar og diskusjon	30
4.1 Grad av måloppnåing	30
4.2 Oppsummering av resultat	30
4.3 ADP programvare	31
4.4 Sluttmerknader og element for oppfølging	31
5. Litteraturreferansar	32

Samandrag

Det er aukande interesse innan havbruksnæringa for kartlegging av strømførholda på matfisklokalitetane. Samstundes kjem styresmaktene med nye krav til strømmålingar ved lokalitetsvurderingar og nye konsesjonssøknader. Tradisjonelt har strømmåling på havbrukslokalitetar og andre stader foregått med konvensjonelle batteridrivne rotormålarar i fast djup. Slike instrument har vore nytta av NIVA og andre i mange år.

Profilerande akustiske Doppler strømmålarar (ADP eller ADCP) er relativt nye på marknaden. Dei har vore nytta av NIVA og andre ei tid til grunnforskning. ADP instrumenta måler strømmen samtidig i mange djupnesjikt ved hjelp av lydimpulsar som blir reflektert tilbake til instrumentet av små partiklar i sjøen. Metoden inneber dermed eit stort sprang framover når det gjeld detaljeringsgrad i datamaterialet som kjem fram av ein måleserie. Instrumenta har òg praktiske fordelar slik som at dei er lite ømfintlege for tilgroing og at dei kan stå oppankra på sjøbotnen utan behov for oppdriftsbøye, taurigging til overflata eller feste til gangveggar e.l. I merdanlegg vil dei såleis ikkje forstyrre eller vere i vegen for drifta.

Rapporten gjev innleiingsvis ein oppsummering omkring bruk av strømmålingsdata innafor havbruk, og kva krav som blir stilt til dette. Nyleg er det kome retningslinjer og krav til strømmålingar i samband med nye lokalitetar, mellom anna frå Fiskeridirektoratet og Norsk Allmennstandardisering. Desse og andre skriv tar som utgangspunkt bruk av konvensjonell instrumentering, og rapporten tilrår at slike skriv ikkje bør utformast utan å ta omsyn til ny og meir effektiv måleteknologi.

I samarbeid med Sunnhordland Havbruksring gjorde NIVA ein utprøving av eit av sine ADP instrument på lokaliteten Åsholmen (Bremnes Fryseri) i Bømlo i januar, 1999. Saman med ADPen blei det også målt med tre konvensjonelle instrument av type Aanderaa RCM og Sensordata SD6000. Måleperioden var frå 11. til 20. januar. I tillegg til å få praktisk røynsle med ADPen ga datamaterialet eit visst grunnlag for å vurdere måle metodane opp mot kvarandre.

Måleresultata synte ein del avvik mellom ADP og rotorinstrumenta i dei to djupa 3 m og ca 35 m der desse målte samstundes. ADPen hadde tendens til å måle sterkast strøm, mens SD6000 målte svakast. Vi har all grunn til å tru at ADP representerer den beste metoden og dei mest reelle verdiane. Det at rotormålarane sannsynlegvis underestimerer strømsstyrken kan vere ei forklaring til at fisk tilsynelatande kan trivast og får nok oksygen på lokalitetar der det har vore målt svært svak strøm nettopp med slike instrument. Rapporten diskuterer moglege årsaker til måleavvik. Ulik måleprinsipp og det at instrumenta ikkje stod i eksakt same posisjon og hadde ulik avstand frå anlegget er sannsynlege forklaringar.

Med ADP instrument kan det framskaffast målingar som syner skilnader og detaljar om lagdeling i strømmen. Slike kompliserte dynamiske tilhøve veit ein eksisterer i fjordane og også på kysten om sommaren. Her vil også skjellnæringa kunne ha stor nytte av den nye teknologien som elles kan hjelpe til å kartlegge forekomst av t.d. fôrspill, plankton og lakselus.

Rapporten konkluderer med at ADP instrument er langt meir effektive enn konvensjonelle metodar når det gjeld kartlegging av strømførholda ved havbrukslokalitetar. Særleg gjeld dette ved tilhøve med markert sjikting, d.v.s. i fjordane og på kysten om sommaren. Næringa bør i større grad ta den nye teknologien i bruk, både til eingongs kartlegging og til sanntids overvaking av strømmen for optimal drift og tryggleik.

1. Prosjektet: bakgrunn og målsetting

1.1 Bakgrunn

Gode miljøtilhøve på havbrukslokalitetar er gunstig både for fisken og for driftsresultata. Vassutskifting og strømforhold er av mange rekna som sentrale miljøparametrar i denne samanheng. Nye instrument for å måle strøm blir stadig utvikla, og metodar for å analysere og presentere måleresultat blir også gradvis fornya. Det er m.a.o. behov for kontinuerleg oppdatering og fornying på dette området blant brukarane for å kunne tileigne seg ny kunnskap ved å ta ny teknologi i bruk.

NIVA har lang røynsle med å utføre strømmåling, både for havbruksnæringa og for andre. Tilsvarande har Sunnhordland Havbruksring fleire års røynsle med strømmåling på eigne anlegg, og ønskjer samarbeid med forskingsmiljøa omkring dette, på metodeutvikling m.v. I 1998 vart det etablert eit samarbeidsprosjekt mellom Havbruksringen og NIVA, for å vurdere bruk av akustisk Doppler strømmålar (forkorta ADP eller ADCP) på havbrukslokalitetar, og samanlikne med måleresultat frå nokre konvensjonelle måleinstrument. I prosjektplanene inngjekk praktisk utprøving med målingar på ein utvald lokalitet. Resultat og analysar er oppsummert i denne rapporten.

Følgjande liste inneheld moment der opplysningar om vannstrømmen kan vere relevant, enten for oppdrettaren, utstysleverandørar eller kontrollinstansar og styresmakter:

- Etablering av anlegg på ny lokalitet
- Auke av oppdrettsvolum på eksisterande lokalitet
- Plassering/orientering av merder på lokaliteten
- Endring av anleggstype
- Berekning av "kapasitet" på lokaliteten (bereeve)
- Ved føring
- Ved båtanløp (unngå at not kjem i propellen, med rømming av fisk som resultat)
- Ved avlusing og bruk av medisinar

Mens svak strøm best vil tilfredsstill nokre av momenta eller oppgåvene, vil sterkare strøm vere best for andre. Ved avlusing i merdar t.d. vil ein kombinasjon av ein periode med svak strøm/utskifting mens fisken skal eksponerast for avlusingsmiddelet, etterfølgd av ein periode med sterkare strøm for rask utvasking og fortynning av avlusingsmiddelet vere optimalt. Fisken kan bli skadd eller døy dersom den blir for lenge eksponert for avlusingsmiddelet (p.g.a. svak utskifting), noko ein har hatt konkrete døme på i Norge i 1999. Er eksponeringstida for kort (for sterk strøm) vil lusa kunne overleve etter at den har sleppt og overføre smitte til andre anlegg.

Eit anna døme der kunnskap om strømmen er viktig, er ved båtanløp. Ved sterk strøm vil nota gjerne ligge ut i sjøen. Ved båtanløp (t.d. brønnbåt) er det i slike høve lett for å få nota i propellen, med følgje at laks rømer. Dette kan faktisk vere ein viktig årsak til rømming. Ved å ta omsyn til strømmen, vil ein kunne unngå dette.

Strømforholda på ein lokalitet må ein ta for gjevne; det er lite ein kan gjere for å endre på desse utan vesentlege inngrep og kostnader. Skjerming for å dempe strømmen er i prinsippet mogleg, men krev store installasjonar. Strømsettar kan nyttast i periodar der strømmen er særst svak eller under særskilde operasjonar. Men permanent bruk av strømsettar er neppe kostnadseffektivt.

Difor kan kunnskap om strømmen og dens variabilitet vere nyttig for oppdrettaren både ved normal drift og for å kunne styre unna periodar med ugunstige tilhøve ved særskilde operasjonar på anlegget.

Systematisert kunnskap om strømmen basert på analysar av innleiande målingar på lokaliteten vil vere eit viktig utgangspunkt. Kombinasjon med kontinuerleg måling av strøm og evt. andre parameter på anlegget, eller i alle fall måling under kritiske operasjonar, vil danne eit viktig supplement.

Fokus på strøm og vassutskifting har imidlertid vore mindre dei siste åra i samband med havbruksretta FoU. Frå forvaltningsorgana (Fiskeridirektoratet) har det vore lagt vekt på å utarbeide gode rutiner for kontroll og overvaking av botntilhøva (sediment, botndyr) under og ved anlegga. Dette vart formalisert gjennom MOM-systemet (MOM="Modellering-Overvåking-Matfiskanlegg", Kupka Hansen et al. 1997) og spesielt den såkalla "B-undersøkelsen" der. Seinare har MOM-konseptet blitt ein del omarbeidd og innarbeidd i forslag til Norsk standard for miljøovervaking av marine matfiskanlegg (Norsk Allmennstandardisering 1999b).

Framtidsanalysene for havbruksnæringa tilseier eit stort potensiale for vekst, med behov for nye lokalitetar. Her kan ytre deler av kystsona i større grad enn tidlegare bli tatt i bruk, ved hjelp av sterkare merder og anlegg. Samstundes kan ein forvente at presset for å auke produksjonen på eksisterande lokalitetar vil auke, mens ein heile tida må etterstrebe å unngå øydeleggjande sjukdoms- og miljøproblem (Jensen 1999). Kunnskap om strøm og vassutskifting vil vere viktig innafor alle desse perspektiva.

1.2 Ålmenne og tekniske krav til strømmålingar

Krav kan gå på korleis dei blir utførte (d.v.s. kvalitetssikring) og dels på når, d.v.s. ved kva høve, det skal utførast slike målingar.

For å sikre best mogleg måledata er det naudsynt å ta omsyn til:

- generelle prosedyrar som er bygd på vitskapleg og ålmenn erfaring,
- prosedyrar som byggjer på instrumentprodusentens spesifikasjonar,
- "Norsk Standard" eller tilsvarende, dersom slik finnest,
- eventuelle anvisingar til plassering av måleutstyr frå Kystverket, Fiskerisjef eller andre offentlege instansar,
- kvalitetssikringsprosedyrar utarbeidd av institusjonen som utfører målingane.

I litteraturen er det ei mengd referansar til målemetodikk, feilkjelder og gode prosedyrar. Bøker som t.d. av McClimans (1979), Pickard og Emery (1986) og andre gir omtale av instrument og metodar for strømmåling etter den tids standard.

1.3 Behov og spesifikasjonar frå det offentlege

1.3.1 Norsk standard for strømmåling

Nyleg er det utarbeidd ein Norsk standard for strømmåling i faste punkt (Norsk Allmennstandardisering 1999a). Denne omhandlar eller har som utgangspunkt måling med tradisjonelle måleinstrument i botnforankra rigg med overflatebøye eller oppdrift under vatn. Nye instrumenttyper slik som fleirnivå Doppler ADP målarar slik som vi omhandlar her, er ikkje omtalt i standarden (- i høyringsrunden gjorde NIVA merksam på dette).

Standarden er relevant for strømmålingar til havs eller på djupt vatn, og også på ein ny, ubrukt havbrukslokalitet. Ved måling på lokalitet som er i drift (med anlegg), kan det vere naudsynt å henge instrumenta i sjølve anlegget for å få representative data. Standarden gir lite råd om korleis ein skal forhalde seg i slike høve.

1.3.2 Norsk standard for retningslinjer for miljøovervaking av marine matfiskanlegg.

Som oppfølging av MOM er det utarbeidd forslag til "Norsk standard for retningslinjer for miljøovervaking av marine matfiskanlegg" (Norsk Allmennstandardisering 1999b). Standarden fokuserer på botntilhøva og berører berre såvidt temaet vassutskifting og strømmåling.

Ved etablering av anlegg på ny lokalitet føreskriv MOM-systemet (og seinare forslaget til ny Norsk Standard) omfattande botngransking (type "C") som omfattar faunasamansetting m.v. Det er nemnt at grabbprøver skal takast "nedstrøms" anlegget (avsnitt 7.5) utan at det er referert til korleis nedstrøms retning er bestemt. Underforstått må dette basere seg på skjønn frå lokalkjende eller oppdrettaren.

"A-undersøkelsen" eller "B-undersøkelsen" er for anlegg i drift og er ikkje relevant før etablering fordi nedfelling av forrestar m.m. frå anlegget enno ikkje har byrja. Det er nemnt at sedimentfellene i A-undersøkelsen "-ikke skal henges slik i forhold til strømrretningen at strømmen fører materialet bort fra dem." Dette må forståast slik at ein forutset at kunnskap om strømmen ligg føre.

Årsaka til at ein har valt å fokusere på botntilhøva i MOM og seinare Norsk Standard skal vere at dette ved optimal prøvetaking vil gi eit uttrykk for ein tidsintegrert respons eller effekt av eventuell påverknad frå anlegget under føresetnaden om direkte kopling mellom utslepp (mengder) og miljørespons.

Strøm er også nemnt i noverande forslag til ny Norsk standard som del av den teoretiske modelleringa av miljøeffektar på botnen frå eit konkret eller planlagt anlegg (Tillegg E). Ved modellberekningane skal det spesifiserast ein typisk strøm gjennom eller under anlegget som eit uttrykk for spreiding av forrestar og fekaliar. Her skal det nyttast ein statistisk verdi for strømmen (standardavvik, Stigebrandt og Aure 1995). Det er heller ikkje her spesifisert minstekrav til strømmålingane (metode, instrumentering).

1.3.3 Søknadsskjema for nyetablering

I samband med søking om oppdrettsløyve (også for skjeldyrking) er det nyleg kome eit skriv som gir retningslinjer og prosedyrar for dette (ANON 1998). Her er det fleire stader referert til strømmålingar, og behovet for dette er framheva: "De viktigste miljøfaktorer er de som har betydning for vannutskiftingen på lokaliteten: strømrretning- og hastighet og bunntopografi."

I følgje retningslinjene (ANON 1998) skal strømmen målast i tre djup:

1. **Vannutskiftingsstrøm.** Måling i djup tilsvarande 1/2 av planlagt merddjup
2. **Spredningsstrøm.** Måling midt mellom merd-botn og sjøbotn (men ikkje djupare enn 50 m).
3. **Bunnstrøm.** Måling 1 m over botn (men ingen måling viss djupet er > 100 m).

Minimum måleperiode er 14 dagar; anbefalt 4 veker. Det er ikkje spesifisert krav til målingane eller prosedyrar for øvrig. Aktuelle talstorleikar å rapportere er maksimum, middel- og minimum strøm, hovedstrømrretning, samt strømrstyrkens varians.

1.4 Målsetting med prosjektet

Sunnhordland Havbruksring har gjennomført omfattande program for strømmåling rundt om på lokalitetane gjennom dei siste 4-5 åra, og nokre av resultatane vart gjennomgått og rapportert av NIVA i 1997 (Nygaard og Golmen 1997). Havbruksringen nytta Sensordata type SD6000 måleinstrument i sitt program.

Dei siste 10-15 åra har det skjedd mykje når det gjeld utvikling og produksjon av nye instrumenttyper, og NIVA har investert i nytt, samtidig som eldre, konvensjonelle instrumenttyper enno er i bruk.

Dette forprosjektet hadde tre delmål:

- Foreta måling med ny type botnmontert Doppler ADP strømmålar som måler strømmen i mange djupnesjikt
- Foreta måling med konvensjonelle strømmålarar (Sensordata og Aanderaa)
- Analysere og samanlike måleresultata

Sjølv om ambisjonsnivået i prosjektet har vore moderat, kan forhåpentlegvis resultatata gje Havbruksringen nyttig tilbakemelding om kvaliteten på dei eksisterande prosedyrene, og evt. forslag til forbetringar. Resultata vil også legge grunnlaget for meir intensive målingar i oppfølgjande prosjekt.

På sikt er målsetjingane med NIVAs fokusering på strømmåling som metode i samband med miljøvurderingar innan havbruk m.a. følgjande:

- Illustrere og eksemplifisere nytten av strømmålingar
- Få illustrert feilkjelder og fallgruver ved bruk av ulike instrument og metodar
- Tilretteleggje for rasjonelle og rimelege måleopplegg (optimalisering)
- Foreslå integrering av strømmåling i totalopplegg for automatisert miljøovervaking på lokalitetar
- Vidareutvikle dataanalyseverktøy for å få meir dokumentert og strukturelt datainput til modellar
- Etablere samarbeid mellom institusjonar som arbeider med tilsvarande problemstillingar
- Profilere strømmåling saman med samarbeidande institusjonar slik at dette kan bli fast rutine ved lokalitetsvurderingar

Mykje av dette vil krevje at det blir etablert sterkare kontakt og tilknytning både mot næringa og mot sentrale forskings- og forvaltingsorgan, eksempelvis Norske Fiskeoppdretteres Forening, Vestnorsk Havbrukslag, Havforskningsinstituttet, NFR og Fiskeridirektoratet.

Uansett vil ein frå oversikten ovanfor kunne slå fast at det finnes eit behov for opplysningar om strømforholda både på nye og etablerte lokalitetar. Slike opplysningar får ein best gjennom systematiserte og kvalitetssikra målingar, med høveleg utstyr. Det synes vere eit behov for å kome fram til standard-metoder, eller minstestandard, når det gjeld sjølve strømmålingane, og kva typar data og statistikk som skal rapporterast og evt. knytast opp mot gjevne kriterium.

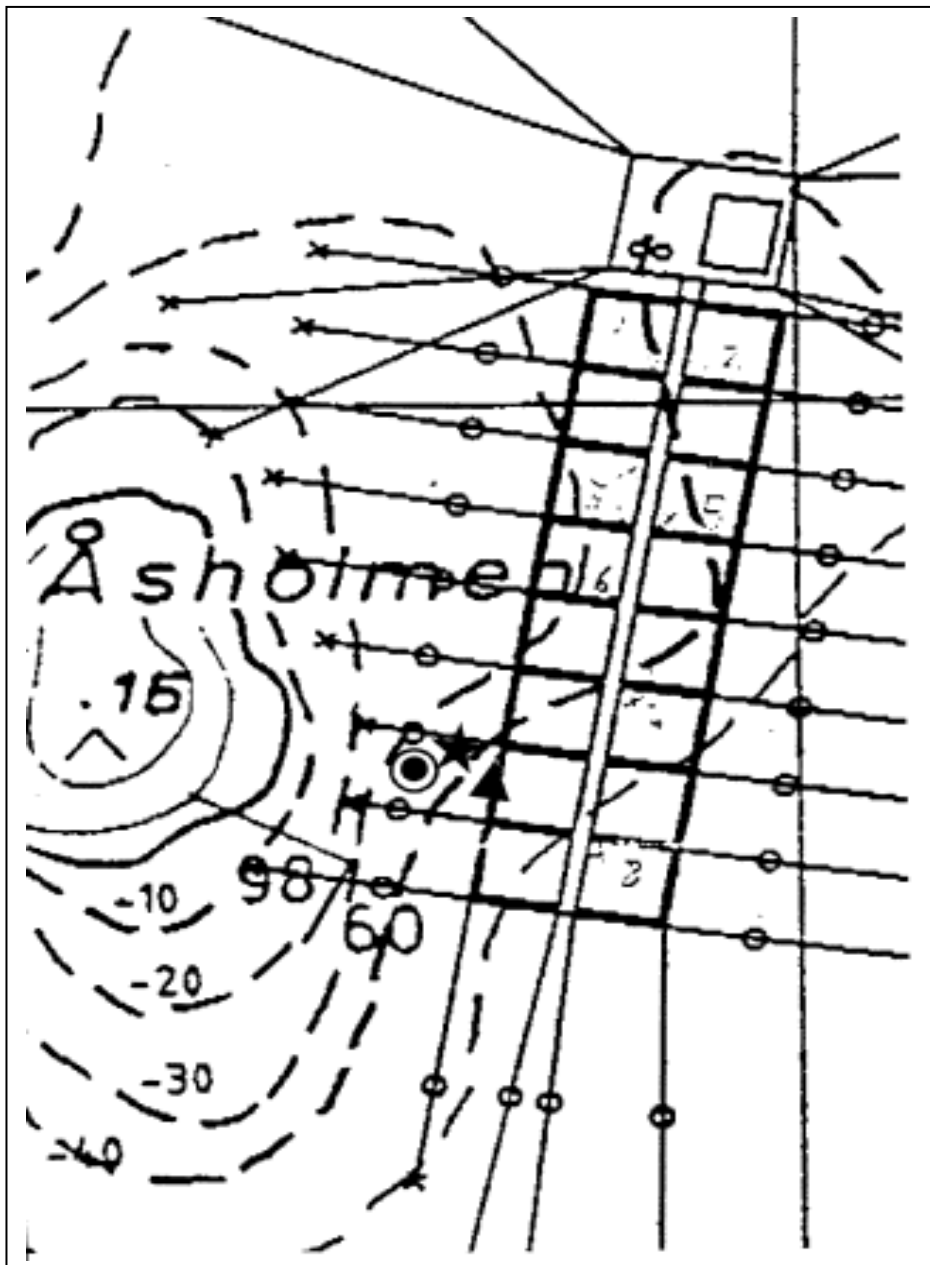
Målt standardavvik eller varians t.d. kan vere ein nyttig parameter ved berekning av spreiding av forureining ved eit anlegg. Men inntil no har ein ikkje funne fram til eins metodar for å bedømme strømmen: *"For the moment, it is not clear how to compute the critical current conditions from current measurements and the importance of horizontal dispersion processes for the flushing of a farm"* (Stigebrandt 1999).

1.5 Omtale av lokaliteten

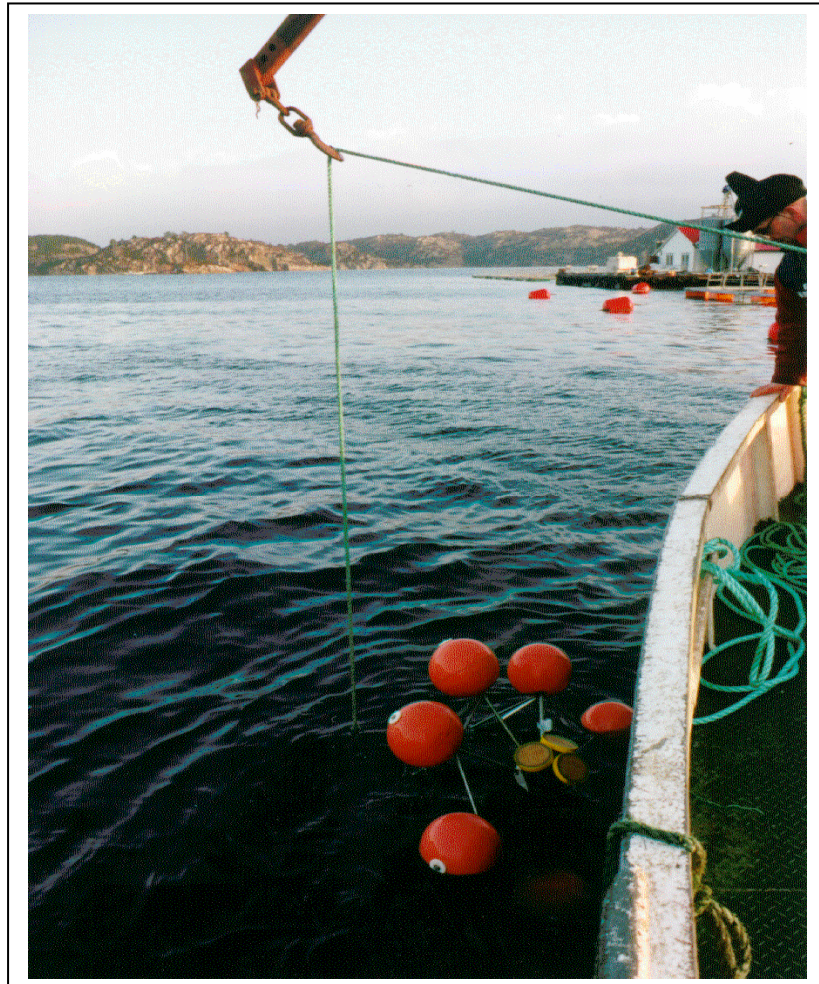
Lokaliteten tilhører Bremnes Fryseri AS og ligg i Øklandsosen i Bømlo kommune, om lag 1 km nord for Øklandsvåg (Figur 1). Området har rikeleg med øyar og holmar som skjermar for vind og sjø. Mest eksponert er lokaliteten for vind/bølger frå SV. Anlegget ligg SØ for Åsholmen, og er skissert i Figur 2. Figur 3 syner fotografi av Åsholmen.



Figur 1. Utsnitt av sjøkart Nr 19. Lokaliteten ved Åsholmen er avmerkt med firkant og pil.



Figur 2. Forstørret kartskisse av anlegget. Måleposisjon for strømmåling i januar 1999, er avmerkt.
 σ : Aanderaa RCM og Sensordata SD6000 ca 3 m frå kvarandre, på merdkanten,
H: Aanderaa RCM nær botn,
 λ : NORTEK ADP Doppler målar i ramme nær botn.



Figur 3. Øverst: Åsholmen fotografert fra anlegget. Nederst: Utsetting av ADP strømmålar.

2. Gjennomførte målinger i januar, 1999

Programmet inkluderte måling med følgende instrument:

1 stk. NORTEK 500 kHz ADP
2 stk. Aanderaa RCM 7
1 stk. Sensordata SD6000
samt spotmåling med Simtronix UCM-40 strømmålar og Seabird SBE-19 CTD sonde.

Dei tre første instrumenta vart satt i sjøen 11. januar, 1999. Opptak skjedde 20. januar. Sensordata SD6000 instrumentet vart satt ut 12. januar og tatt opp 20. januar saman med anna utstyr.

Stort sett skal instrumenta ha stått uforstyrta av båtar o.l. Der var brønnbåt ved anlegget to gongar, med ankomst den 14/1 ca kl 0830 og 18/1 ca kl 0840. Opphaldet varte i ca 1 time. Det er teoretisk mogleg at propellvatn kan ha gitt utslag på dei to instrumenta som hang i 3 m djup under gangvegen, noko vi vil ha i mente ved vurderingane av resultatane.

2.1 Omtale av ADP instrument

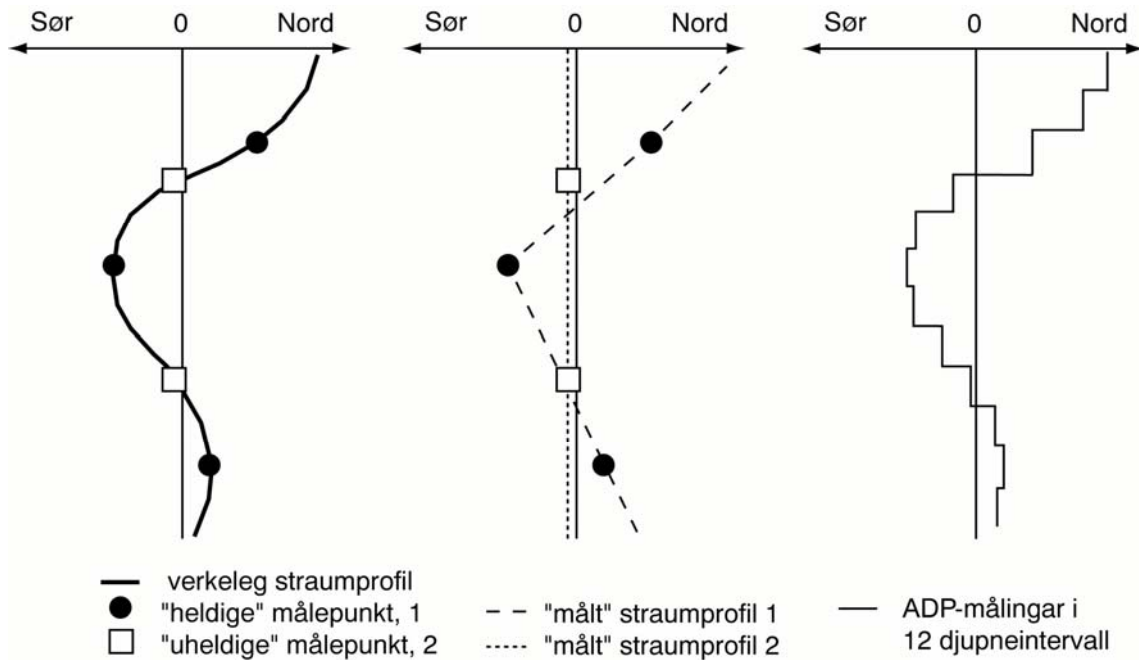
2.1.1 Generelt

Av sjølvregistrerende instrument for måling av strøm finst det i det minste to hovudtypar; akustiske og rotor-instrument. Akustiske instrument baserer seg på to hovudprinsipp:

1. Måling basert på avvik i gangtid for lydimpuls mellom sendar- og mottakar p.g.a. strømmen.
2. **Måling basert på frekvensskifte (Dopplerskifte) mellom utsende og reflekterte lydimpulsar.**

Av sistnemnde typar finnes det såkalla eitt-punkts målarar, som sender lydimpuls mot eit spesifikt vassjikt eller vassvolum, og instrument som mottar reflekterte lydstrålar frå fleire ulike sjikt, **såkalla ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) eller ADP (Acoustic Doppler Profiler) målarar**. I forsøka i Bømlø vart det nytta ein Nortek ADP.

Val av instrumenttype kjem an på kva slags fenomen ein ønskjer å kartleggje, og den naudsynte kvaliteten på resultatane. Dersom det berre er interessant å studere strømmen i eit djup kan eit rotor-instrument vere best eigna. Men dersom ein nyttar slike punktmålarar for å få oversikt over strømforholda i eit større djupnesjikt kan avvika bli store. Ein må då enten plassere fleire slike målarar under kvarandre, eller nytte ein akustisk målar som kan registrere strøm i fleire djup på samme tid. **Figur 4** illustrerer forskjellen mellom dei to metodene. Hovudprinsipp for dei to instrumenttypane er forklart under.



Figur 4. Prinsippsskisse som syner "sant" strømsprofil og "målte" profiler basert på ulike antal målepunkt i vertikalen, og ulik plassering av desse. Dersom måledjupa (eller målecellene for ein ADP) fell saman med sjikt der strømmen er sterkast, vil ein kunne få eit godt bilete av tilhøva, mens måling berre i sjikt med svak strøm vil gi eit feil bilete. Med fleire målepunkt eller djupneceller tilnærmar målt profil seg til "sant" profil.

2.1.2 Måleprinsipp

Akustiske Doppler-strømmålarar nyttar den såkalla Doppler-effekten til å måle vannet sin rørsle. Lydsignal med ein gjeven frekvens (t.d. 500 kHz) blir sendt oppover frå instrumentets hydrofonar. Deler av signalet blir reflektert av små partiklar, bobler o.l. i vatnet som blir ført med strømmen. Fordi desse partiklane er i rørsle (i forhold til lyd kjelda), vil lydølgjene som treff dei ha litt annan relativ fart (og dermed også frekvens) enn utgangsfrekvensen. Partiklane fungerer som "lydsendarar" når signalet blir reflektert tilbake til hydrofona, og motteke signal der vil ha ein endra frekvens (Gordon, 1996).

Doppler-skiftet, F_d , kan utreknast som $F_d = 2F_s(V/C)$, der F_s er lydølgja sin (opprinnelege) frekvens, V er partikkelen sin fart relativt til hydrofona, og C er lydfarten i sjøen. Farten V til dei reflekterande partiklane (relativt til instrumentet) kan då finnast frå uttrykket $V = (C/2)(F_d/F_s)$. Merk at dette gjeld rørsle i samme retning (radielt) som lyd signalet. Dersom partiklane flytter seg i en retning med vinkel A i forhold til lyden, må likninga over modifierast til: $V = (C/2\cos A)(F_d/F_s)$.

For å finne strømfart i meir enn ein retning må fleire hydrofonar nyttast i samme instrument. Ved å sende signal i tre retningar kan farten i alle tre dimensjonar og i fleire djupnesjikt fastsetjast. Dette forutset at strømmen i eit gitt horisontalt sjikt er homogen. Nokre ADPar måler endringa i frekvens direkte, mens andre bestemmer faseforskyvingen til den reflekterte pulsen, og dermed "tidsforskyvinga" p.g.a. partikkelrørsle (Gordon, 1996). Den valde metoden avheng mellom anna av kva frekvens instrumentet sender med, og kva djupne-/midlingsintervall som blir nytta.

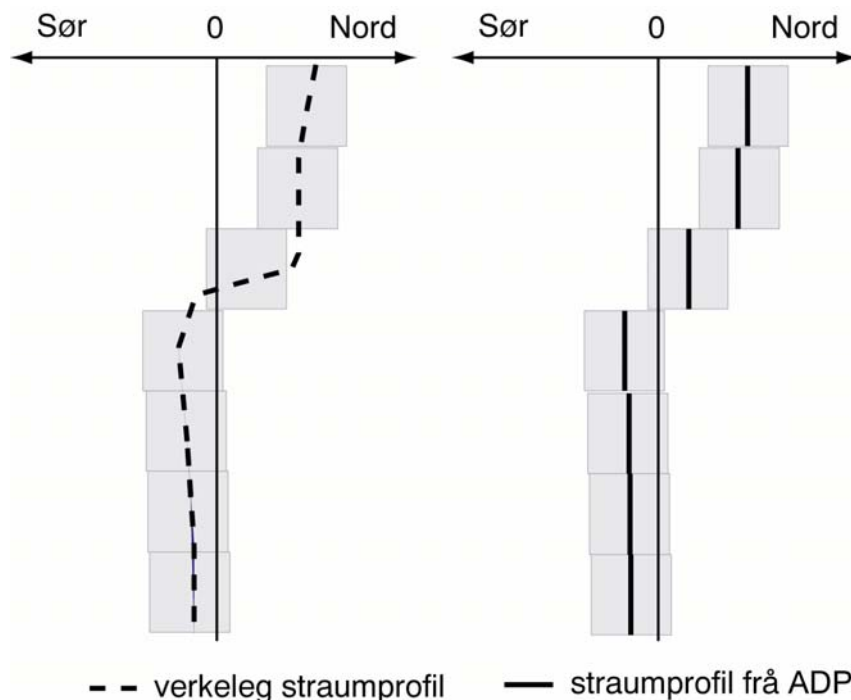
For å oppnå god detaljering i målingane er det eit føremon å sende ut lyd pulsane med relativt lang tid imellom. Dette er imidlertid opphav til eit anna problem – såkalla aliasing. Ein faseforskyvning kan berre bli målt som ein storleik mellom 0 og 360°. Dersom den verkelege faseforskyvninga er på til

dømes 400° vil derfor instrumentet registrere dette som 40° , og farten som blir rekna ut, blir feil. Dette kan ein avhjelpe ved å redusere tida mellom pulsane slik at det ikkje er mogleg for partiklane å flytta seg langt nok til at aliasing førekjem i særleg grad. Vanlegvis vil ein løyse problemet ved å sende ut fleire pulsar med ulike frekvensar, for så å samanlikne motsatte pulsar ved hjelp av matematiske metodar (autokorrelasjon). Ein vil då kunne fjerne denne omtala tvitydinga frå målingane.

ADPar måler strømfarten i ulike djupneceller, og kan monterast slik at dei ser ned frå sjøoverflata (til dømes frå ein båt) eller oppover frå botnen (eller eit anna djup). Kvar enkelt sendar (hydrofon) genererer ein puls med spesifikk lengde (tid) og fart. Mottakaren i instrumentet vil fange opp ein kontinuerleg "strøm" av ekko frå partiklar som reflekterer pulsen i ulike djup. Dess lenger borte frå sendaren den reflekterande partikkelen er, dess meir tid tar det før signalet når tilbake til instrumentet. Ved å dele opp ekkoet som blir motteke i ulike tidsintervall, kan strømmen finnast i ulike djupneceller (eller rettare sagt ulike "tidsavstandar" frå målarer). Ved å kombinere målt "tidsforbruk" med endring i frekvens/ faseforskyvning frå dei forskjellige hydrofonane på instrumentet kan så 3D-hastighet finnast i dei ulike djupnesjikt.

Systemets geometri gjer at strømmen i sentrum av kvar celle blir best representert i målingane. Det er óg overlapping mellom naboceller. Instrumenta kan då presentere resultatata som ein slags "punktmålingar" med ei viss spreiding, eller bruke matematisk vektning for å jamne ut bidraga slik at ein får ein meir representativ verdi. Uansett kva metode som blir valt fører denne celleinndelinga til at finstrukturen i strømmen ikkje blir målt, og til dømes kraftige strømskjær kan "bli borte", jfr. **Figur 5**.

Låg pulsfrekvens gjev lengst rekkevidde. Nortek har oppgitt maksimal rekkevidde på 110 m for sin 500 kHz ADP. For instrument med 1,5 MHz frekvens er rekkevidda inntil 25 m, og for ein 3 MHz ADP inntil 6 meter. Andre produsentar har ADP-instrument med låg frekvens, t.d. RDI med 75 kHz og 600 meter rekkevidde. Desse instrumenta er tyngre og har større batteriforbruk enn Nortek sine. Høgare frekvens gjev generelt sett større oppløysing i vertikalen (tynnare djupneceller). Ein 3 MHz ADP frå Nortek kan programmerast til minimum 0,15 m celletjukkeleik.



Figur 5. Relasjon mellom verkeleg profil (ved gjeve tidspunkt) og det som ADPen måler.

Det finst ulike måtar å foredle og lagre ADP-data. For å minimere feil og spare lagringsplass vil ein ofte foreta midling av data allereie i sjølve instrumentet. Avhengig av kva strømfenomen ein ønskjer å måle og kor lenge instrumentet skal vere i bruk, kan det og leggast inn pausar mellom målingane.

Ein fordel med akustiske instrument er at dei ikkje har bevegelege delar utvendig. Det vil sei at groe, rur, tang og liknande ikkje forstyrrar målingane.

2.1.3 Nortek 500 Khz ADP

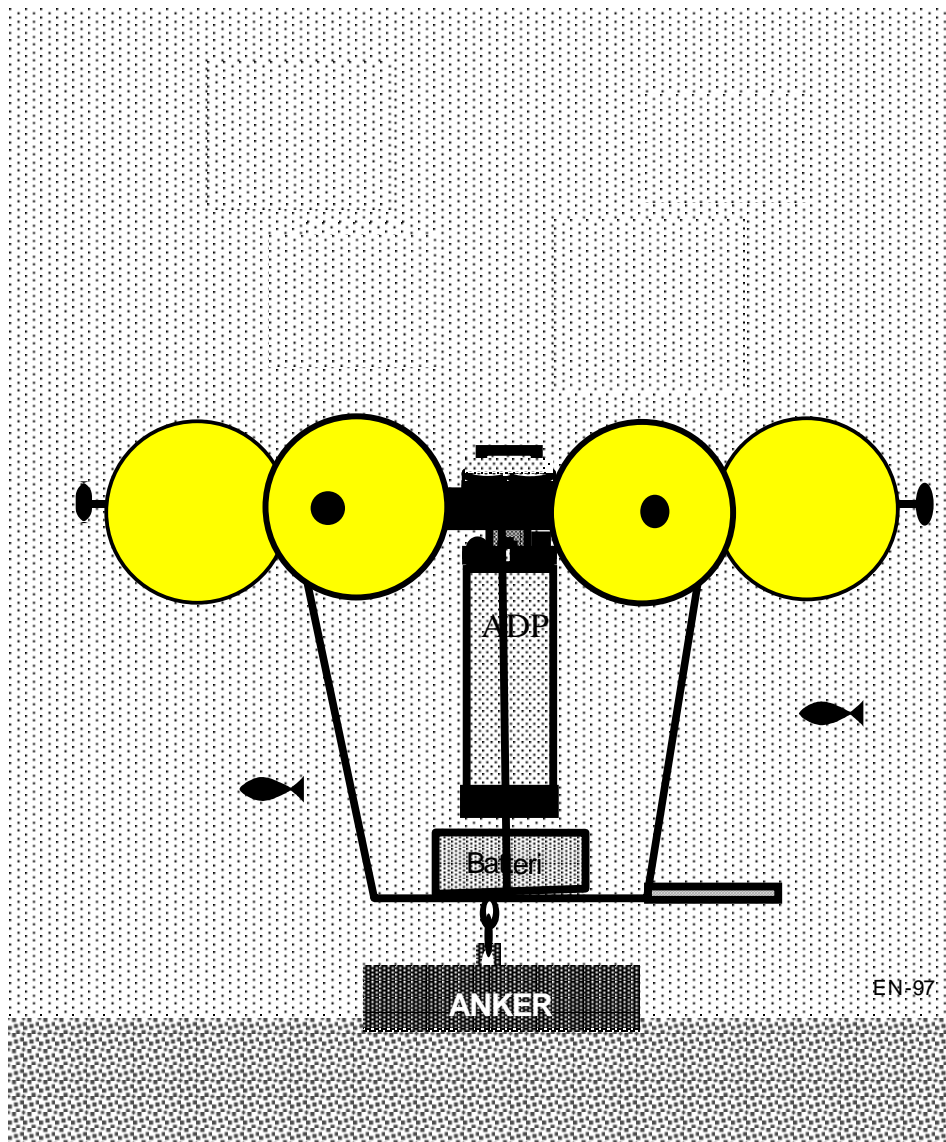
ADP instrumentet som vi nytta i Bømlø, kan registrere strømmen i maksimalt 40 djupnesjikt (såkalla celler) frå instrumentet og oppover i sjøen. Instrumentet opererer med ein pulsfrekvens på 500 kHz, med maksimalt 128 djupneceller. Maksimal rekkevidde med denne pulsfrekvensen er oppgitt til 70-110 meter, avhengig av dei akustiske tilhøva (Nortek instruments 1996). Næraste djupnecelle er 1 m over instrumentet. Dersom instrumentet står grunnare enn avstanden som det programmerte talet på djupneceller og celleintervall tilseier, vil dei øvste cellene representere overflaterrefleksar m.m., med uaktuelle data. Vanlegvis må ein rekne med ein dødssone på ca 10% av måledjupet rett under overflata der ein ikkje vil få fullgode data eller i alle høve må vere kritisk til bruk av desse.

Målaren er forsynt med batteri og 40 Mb intern datalagring. Før instrumentet går i sjøen blir det programmert via ein tilkoplta PC og spesiell programvare. Ut frå planen om kor lenge instrumentet skal stå i sjøen, kan ein programmere ulike tidsintervall slik som ping (puls) intervall, midlingsintervall (tidsrom når instrumentet sender pulsar) og profileringsintervall (tid mellom start av kvart midlingsintervall). Her kan det varierast ut frå kva strømfenomen ein ønskjer å måle, eller med siktemål å utnytte batteri og datalagringskapasiteten maksimalt.

Instrumentet stod oppankra i ein spesialbygd ramme på botnen. Sjå **Figur 6**. Målaren hang fritt i eit "gyro" oppheng slik at den kunne stå mest mogleg vertikalt i sjøen, sjølv om ramme eventuelt kunne legge seg litt p.g.a. sterk strøm. Evt. skråstilling av instrumentet i sjøen blir kontrollert med eit innebygd tilt-meter og data frå dette blir tatt omsyn til ved utrekningane av strømfart og retning.

Nokre av fabrikkspesifikasjonane (nøyaktigheit) for NIVAs Nortek ADP 500 kHz ADP (Serie nr. N4515):

Strømfart, måleområde:	0-10 m/s
Strømfart, oppløysing:	0,1 cm/s
Strømfart, nøyaktigheit:	± 1% av målt fart, ± 0,5 cm/s
Strømretning (kompass):	± 0,5°



Figur 6. Skisse av Doppler ADP strømmålar i ramme plassert like over botnen (E. Nygaard).

2.1.4 Programmering og utplassering

Tabellen nedanfor syner dei viktigaste paramterene som blei programmert før målingane i Bømlo.

ADP User Setup		
Ncells	----->	40
CellSize	----- (m) ----->	1.00
BlankDistance	--- (m) ----->	1.00
PingInterval	---- (s) ----->	0.00
		Tal på djupneceller
		Cellehøgd
		Avstand frå målareren til 1. celle
		Tid mellom lyd-pulsar (0.00 vil seie at instrumentet sender ut ein ny puls så snart den forrige er registrert)
AvgInterval	----- (s) ----->	180
ProfileInterval	- (s) ----->	600
		Midlingsintervall = 3 minutt
		Tid mellom starten på kvart midlingsintervall = 10 minutt

Instrumentet vart sett ut på vestsida av anlegget, i skråninga mot Åsholmen om lag midtvegs mellom holmen og anlegget (**Figur 2**). Botndjupet der var ca 40 meter. Trykksensoren på toppen av ADPen synte at avstanden frå overflata varierte mellom 35,5 og 37 meter, på grunn av flo/fjøre. Tabellen under gir nokre supplerande opplysningar om utsetting og opptak. Ramma var festa i botnloddet på ca 80 kilo med ein 3 m lang kjetting. Som sikring mot at ankeret skulle gli ned langs botnskråninga vart det lagt eit botntau (blytau) frå ankeret og opp i ein bolt på Åsholmen.

8 trålkuler med samla oppdrift på ca 60 kilo var festa i overkant av ramma, langs periferien. Dette var tilstrekkeleg til å løfte instrument og ramme opp frå botnen med god netto oppdrift og slik at ramma stod mest mogleg vertikalt. Mindre avvik for vertikalen vil gyroopphenget ta seg av, slik at instrumentet kunne peike rett oppover i sjøen heile tida.

Plassering av ADP	Botndjup	Måledjup#	Utsett, '99	Opptak, '99	Instr. Nr.	Måleint.
Mellom Åshl.og anlegg	ca 42 m	4-34 m	11/1, 1310*	20/1, 1120*	N-4515	10 min

*) Tid er lokal tid, UTC + 1 time. #) Djupneintervallet der ein har gode data, d.v.s. frå celle Nr 1 til Nr 31.

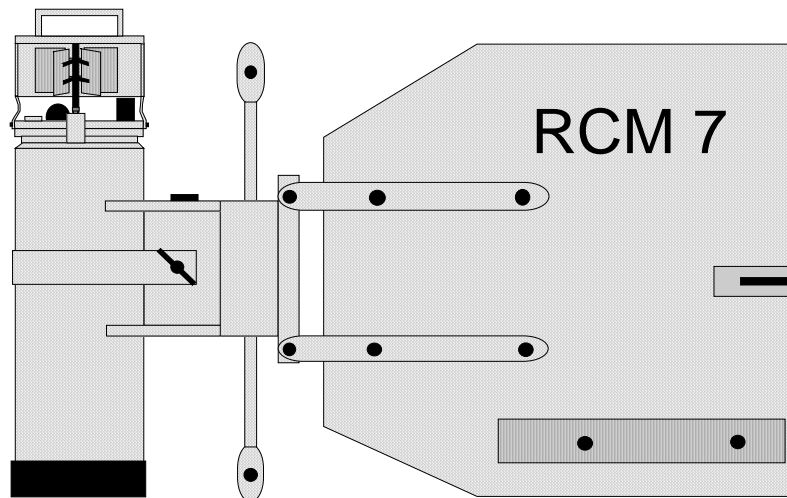
2.2 Aanderaa RCM 7

2.2.1 Instrument og måleprinsipp

Sjølve strømfarten (strømstyrken) blir målt med ein rotor. Rotoromdreiningane vert registrert i instrumentet ved hjelp av ein magnet montert på rotoren. På grunn av friksjon i instrumentet og motstand frå magneten vil svært svak strøm ikkje kunne målast. Strømetning vert registrert ved hjelp av eit stort rør og eit innebygd kompass som vert avlese elektronisk. Målarane kan og verte utstyrt med sensorar for å måle sjøvatnet sin temperatur og konduktivitet (for utrekning av salinitet), samt trykket.

Alle måledata blir lagra i eit dataminne. Måleintervallet kan programmerast frå 1/2 minutt til fleire timar. Med langt tidsintervall kan instrumenta logge i eit år eller lenger.

Figur 7. viser ei skisse av ein Aanderaa Instruments strømmålar (RCM7). Strømfarten blir registrert ved hjelp av rotoren på toppen av instrumentet. Retninga blir registrert ved hjelp av det store roret og innebygd kompass.



Figur 7. Skisse av Aanderaa Instruments RCM7 strømmålar.

Spesifikasjonane (nøyaktigheit) for dei enkelte sensorane på Aanderaa Instruments RCM7 er oppgitt til (Aanderaa Instruments, 1993):

Konduktivitet:	$\pm 0,1$ mmho/cm
Temperatur:	$\pm 0,05^{\circ}\text{C}$
Strømretning:	$\pm 7,5^{\circ}$ når farten er 2,5-5 cm/s $\pm 5^{\circ}$ når farten er 5-100 cm/s
Strømfart:	± 1 cm/s eller $\pm 2\%$ av farten. Den høgste av desse vert nytta.

Farten blir vektormidla over måleintervallet ved å registrere talet på rotoromdreiningar og roret si kompassretning fleire gonger i eit måleintervall (sjå avsnittet om SD6000). Temperaturen og saliniteten er augneblinksverdiar målt på slutten av måleintervallet. Måleintervallet kan veljast og blei sett til 10 minutt på begge RCM7 instrumenta ved våre målingar.

Aanderaa Instruments RCM 7 har ein nominell startverdi (minsteverdi eller terskelverdi) på 2 cm/s for registrerbar strømfart. Det vil seie at svakare strøm en dette ikkje klarer å setje rotoren i rørsle, og målinga får rådataverdien null. Dersom rotoren er tilgrodd, vil denne startverdien ligge enno høgare. Programvaren for bearbeiding av data frå Aanderaa Instruments målarane set strømsstyrken automatisk lik 1,1 cm/s for slike "null" observasjonar. Det vil seie at middel berekna strømsstyrke for ein tidsserie i heilt stille vatn vil bli 1,1 cm/s, og ikkje 0,0 cm/s. Verdien er representativ som ein "middelverdi" for strømmen i intervallet frå null til startverdien, men må tolkast som ei tilnærming. Metoden kan gje eit visst overestimat av strømmen i strømsvake periodar. Dersom rotoren går tregare enn forutsett (til dømes ved tilgroing som gjev høgre startverdi) vil derimot tilnærminga gje eit underestimat.

2.2.2 Instrumentoppsett og utplassering

Målar nr 2608 hang fritt i 3 m djup i tau som var festa i gangvegen i rom nr 4 frå nord, på vestsida av anlegget (**Figur 2**). Målar nr 276 stod nær botnen utanfor rom/merd nr 4 frå nord, med anker, oppdriftskuler og sikringstau opp til anlegget. Den horisontale avstanden ut til ADPen var om lag 25 meter, og avstanden inn til anlegget (til næraste gangvegen) var ca 30 m.

Plassering, RCM 7	Botndjup	Måledjup	Utsett, 99	Opptak, '99	Instr. Nr.	Måleint.
Under gangveg, anlegg	Ca 70 m	3 m	11/1,- 1410	21/1, 1120	2608	10 min
Mellom ADP og anl.	Ca 45	Ca 43 m	11/1, 1405	21/1,- 1107	276	10 min

*) Tid er lokal tid, UTC + 1 time.

2.3 Sensordata SD6000

2.3.1 Instrument og måleprinsipp

Figur 8 viser ei skisse av ein SD6000 strømmålar. Sunnhordland Havbruksring har fleire målarar av denne typen. Som for Aanderaa RCM7, blir farten registrert ved hjelp av ein rotor, men som for SD6000 sit i underkant av instrumentet i staden for på toppen. Målarane registrerer også sjøen sin temperatur.

Alle måledata blir lagra i eit internt dataminne med kapasitet tilsvarande 6000 sett med målingar. Måleintervallet kan varierast og programmerast frå nokre få minutt til fleire timar.

Sensordata AS oppgir følgjande spesifikasjonar (nøyaktigheit) for sine instrument:

Temperatur:	$\pm 0,1^\circ\text{C}$
Kompassretninga:	Her oppgis det ingen nøyaktigheit. Oppløysing = $\pm 2^\circ$.
Strømfarten:	Måleområdet oppgis til 0-8m/s med ei oppløysing på 0,5 cm/s. Det oppgis ingen nøyaktigheit.

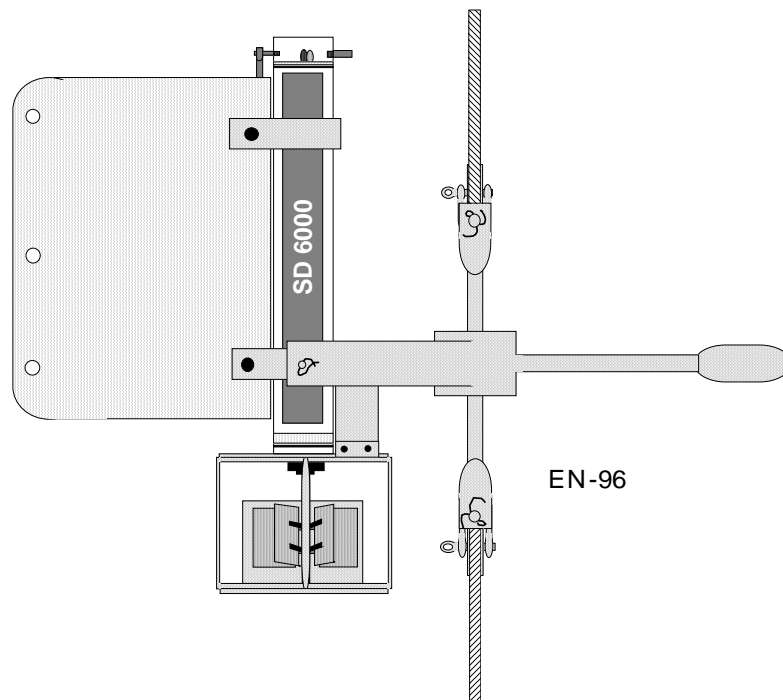
Også SD6000 har ein nominell terskelverdi på 2 cm/s. Det vil sei at strøm svakare enn dette ikkje klarer å få rotoren i rørsle på grunn av friksjon i rotoren samt at magneten på rotoren held den tilbake. I SD6000 målarer blir denne nullregistreringa lagra som 1,0 cm/s (tilsvarande 1,1 cm/s for Aanderaa RCM 7), men berre dersom roret ikkje har rørt seg i løpet av midlingsintervallet.

2.3.2 Vektormidling av strømdata

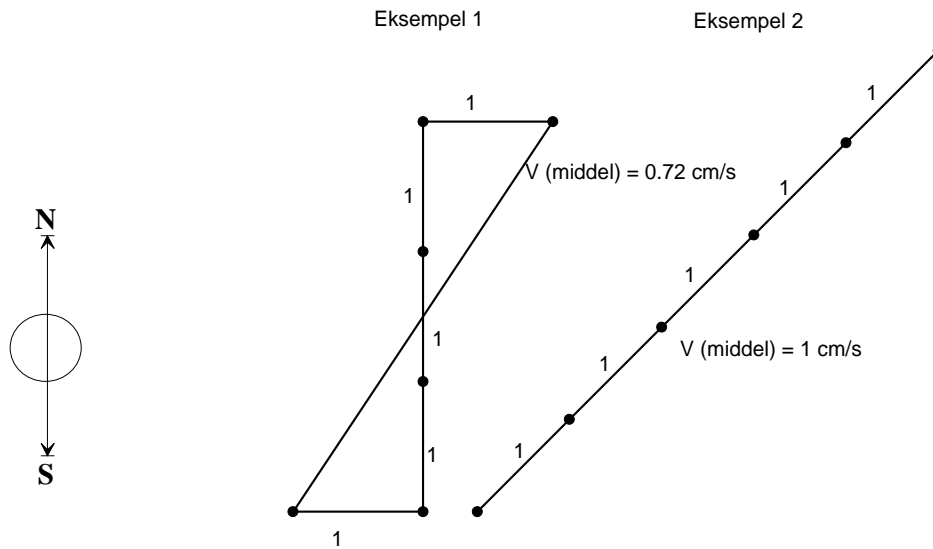
SD6000 målarer utfører også vektormidling. Farten vert vektormidla over måleintervallet, ved å registrere talet på rotoromdreiningar og roret si kompass retning fleire gonger i eit måleinterval. Temperaturen er ein momentan-verdi, målt på slutten av måleintervallet.

Figur 9 illustrerer vektormidlinga i ein SD6000 strømmålar. Fart og retning vert registrert fleire gonger i eit måleinterval. Om rotoren ikkje har gått rundt, vert farten sett lik 1 cm/s for delsamplinga. Har rotoren derimot rotert vert farten berekna internt i instrumentet på grunnlag av talet på rotoromdreiningar. Målarerens retningsorientering vert også avlese og lagra for kvar delsampling.

Figur 9 (eksempel 1) syner også at det med ein SD6000 er mogleg å få målt lågare middelfart enn terskelverdien. Dette kan skje om det er svak strøm som har varierende retning. D.v.s. at roret har skifta retning sjølv om rotoren har stått i ro. Ved det siste tilfellet får ein faktisk "målt" ein svakare strøm enn om både rotor og ror stod heilt i ro. I teorien kan også sterk strøm føre til at strømmålarer målar ein fart lavare enn terskelverdien for eit måleintervall. Då må i tilfelle retninga vere svært varierende, slik at vektorane eliminerer kvarandre. Dette er nok sjeldan ein vanleg situasjon.



Figur 8. Skisse av ein Sensordata SD 6000 målar.



Figur 9. To eksempel på automatisk vektormidling av målt strøm under terskelverdien for rotoren over eit måleintervall (t.d. 10 minuttar) som er oppdelt i 5 delintervall. Sluttverdien blir forskjellig og avhengig av om roret har dreia (som i eksempel 1) eller stått konstant i same retninga (eksempel 2).

Ein SD6000 målar eignar seg godt til måling på lokalitetar der strømstyrken oftast ligg over startverdien. På lokalitetar der styrken ligg nær (og ofte i lange periodar er lavare enn) terskelverdien, bør ein som for Aanderaa RCM vere litt varsam med bruk av eksakte talverdiar frå målingane. Målaren kan ha stått med same rororientering i lange periodar med stagnasjon, dvs. med den orienteringa målaren hadde sist strømmen var sterk nok til å dreie instrumentet. Desse periodane med fart sett lik 1 cm/s og konstant retning vil gjerne dominere i berekningane av middelveidiar og resultere i eit overestimat av middel strømfart. Ved vurdering av strømrretning i slike periodar kan ein med litt skjøn nytte retning frå dei periodane det ikkje er stagnasjon.

2.3.3 Instrumentoppsett og utplassering

Tabellen under syner dei viktigaste parameterene for målingane med SD6000 instrumentet. Instrumentet hang fritt på vestsida av anlegget ved Åsholmen i 3 m djup i tau som var festa i gangvegen i rom nr 4 frå nord. Målaren hang i same djup, men 3 m frå Aanderaa målar nr 2608. Like under målaren var det festa eit lodd for å halde tauet stramt.

Plassering	Botndjup	Måledjup	Utsett, 99	Opptak, 99	Instr. Nr.	Måleint.
Under gangveg, anlegg	Ca 70 m	3m	12/1, -1200	21/1, -1100	SD6000	10 min

*) Tid er lokal tid, UTC + 1 time.

3. Måleresultat

Berre hovudtrekka i måleresultata for kvart einskild instrument blir rapportert. Oppsummering av resultatata følgjer i kapittel 4.

3.1 NORTEK ADP

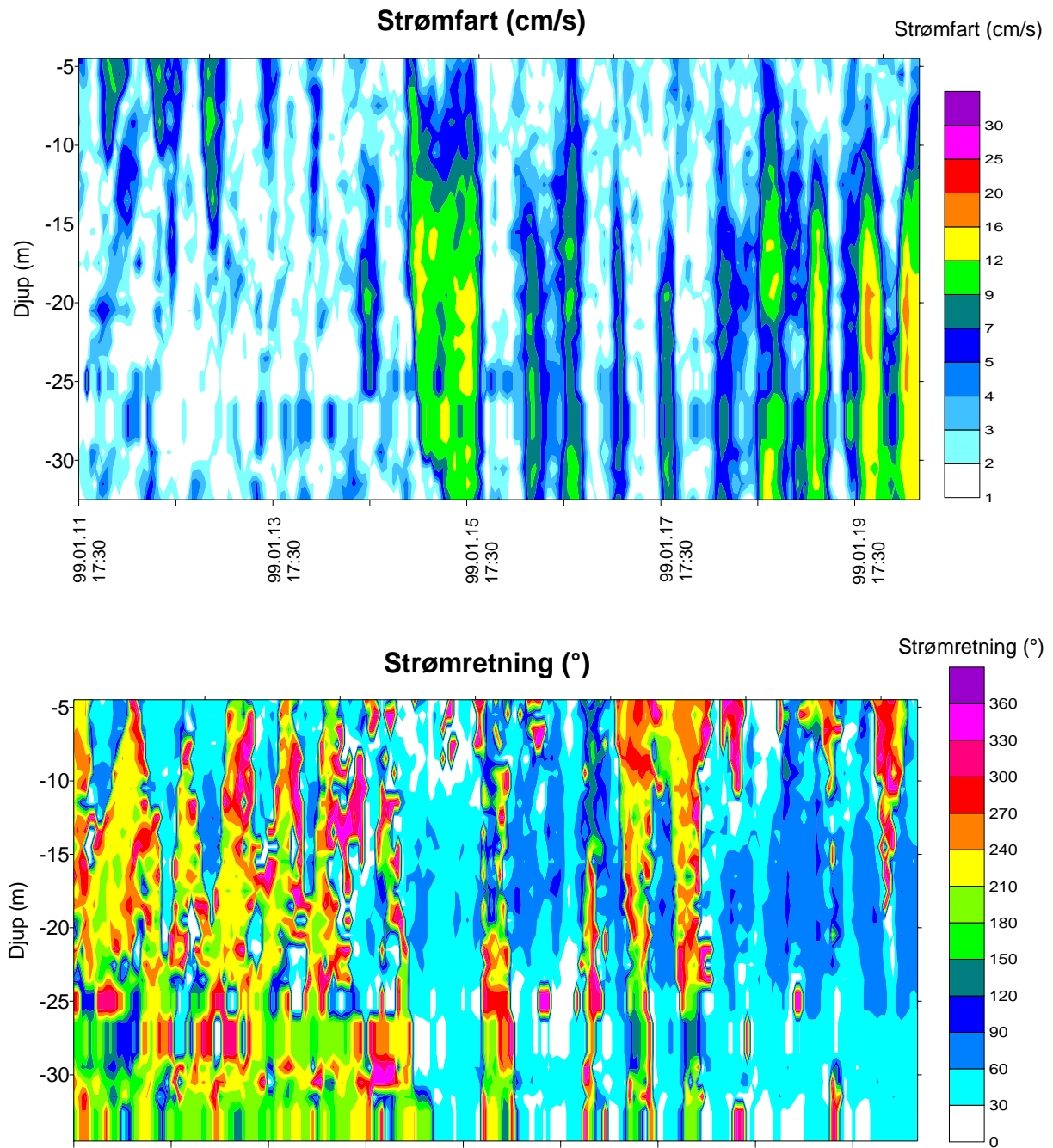
Ein del av målingane med ADPen frå nær overflata vil måtte forkastast på grunn av forstyrningar (jamfør med avsnitt 2.1) På grunn av flo og fjøre og andre effekter varierte avstanden frå overflata til ADPen mellom 35,5 m og 37 meter, i følgje data frå trykksensoren. Dermed kan det heller ikkje definerast noka eintydig celle som representerer "havoverflata". Nortek har gjeve nokre retningsliner i sitt dataprogram for å finne den cella som best representerer overflata. Men p.g.a. variasjonar m.m. må ein her nytte eit visst skjøn.

Tabell 2. oppsummerer statistikk for strømfart for alle 40 målecellene. Det framgår at cellene over Nr 31 synte langt kraftigare strøm enn cellene under. Dette gjer det naturleg å velje celle nr 31 som representativ for det første reelle målenivået under overflata, rundt 3 m djup. Middel strømfart var rundt 5-7 cm/s, med unntak av 2 celler i ca 25 m djup (sjå teksten nedanfor). Djupner mellom 15 og 20 m hadde eit lokalt maksima for middelstrømmen. Dette kan vere ein effekt av at strømmen styrer klar under merdane. I alle måledjupa blei det registrert null eller nesten null strøm som minimumsverdi. Med unntak av dei to sjikta rundt 25 m djup låg max strømfart innafor intervallet 17-35 cm/s. Det var ikkje teikn til tydeleg avtaking i strømmen mot botnen, noko som kan forklarast med at djupaste målecelle var 5-6 meter over botnen.

Standardavviket og variansen for strømfart er også synt i **Tabell 1**. Som nemnt i kapittel 1 blir desse storleikane lagt vekt på i vurderingar av modellering for ein lokalitet sin tolegrense (kapasitet). Stort standardavvik (varians) særleg i midlare djup under merdane indikerer god spreingseffekt for fôrrestar. Det framgår av resultatata at variansen låg rundt eller under $10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ frå overflata og ned mot 10-12 meter. Ein kan spekulere på om dette skuldast ein "dempingseffekt" frå merdane. Frå ca 12 meter og nedover var variansen høgre ($12\text{-}20 \text{ cm}^2/\text{s}^2$) og med sær høge verdiar i sjiktet rundt 27-29 m djup. Det trengst meir data frå andre tidspunkt og lokalitetar før ein kan gå nærare inn i dette materialet og evt. lage kriteriar for gode, mindre gode etc spreingsvilkår.

Dei kraftige retursignala frå 27-29 meters djup (**Tabell 1**) tyder på god lydrefleks frå partiklar eller andre ting i sjøen i dette sjiktet. I tida mens målingane pågjekk var det registrert større mengder småsei som samla seg under fleire anlegg i Bømlo (Paulsen 1999). Vi har fått stadfesta av NORTEK at dette kan vere ei forklaring på dei kraftige signala. Men det kan teoretisk også skrive seg frå fôrrestar med tendens til å samle seg i eit bestemt sjikt i sjøen.

Figur 10 syner konturplott av strømfart og strømreretning for ADP målingane. Måledata frå cellene med svært kraftige signal kring 27-29 m djup (**Tabell 1**) og frå dei øvste cellene er fjerna frå framstillinga. Perioder med svak/moderat strøm var oftast assosiert med sørvestleg retning, mens sterkare strøm var nordleg eller nordaustleg. Effekten av det halv-daglege tidvatnet var markant for strømfarten, mens veksling i strømreretning frå nord-til sørgåande i mindre grad synte tilsvarande periodisitet. Dei første 3-4 dagane var strømmen svak, med tendens til litt sterkare strøm nær overflata enn djupare nede. Mens det då oftast var nord-gåande strøm ned til 10-15 meters djup, var det overvekt av sørgåande djupare nede. Frå 15. januar og utover var det fleire perioder med sterk nordgåande strøm, og med dei høgste verdiane rundt 15-25 m djup. Frå 17. januar var det større innslag enn tidlegare av strøm mot S-SW i øvre sjikt.



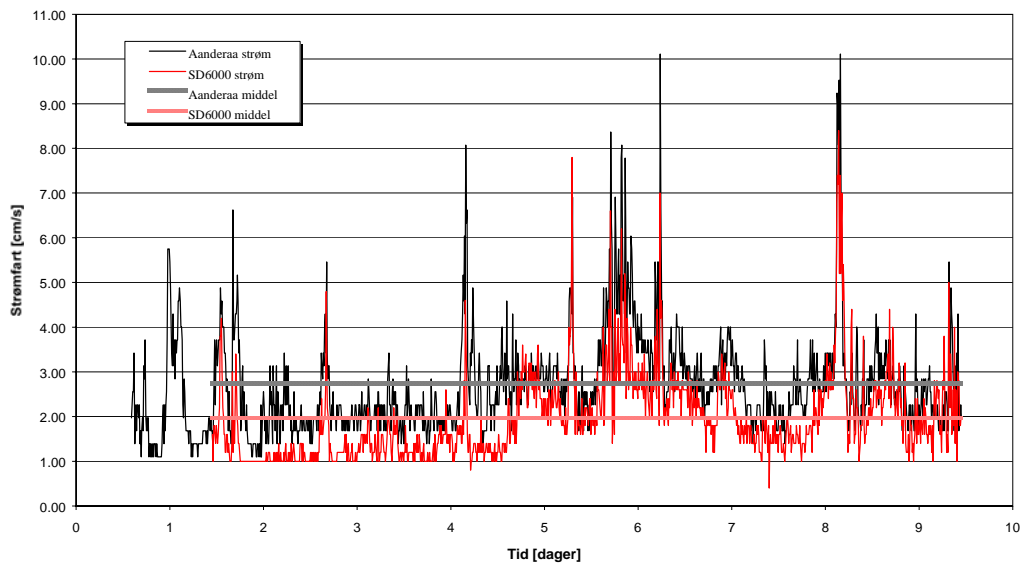
Figur 10. Kontur-plott av ADP målingane, med strømfart (øvt) og strømretning (nedst). Framstillinga dekkjer perioden frå 11. januar 1999 kl 17.30 til 20. januar 1999 kl 11.00.

Tabell 1. Statistikk for NORTEK ADP Data, for perioden: 12/1 1999 kl 1100 til 20/1 1999 kl 1100. Dette dekker perioden alle instrumenta var i sjøen. Data frå djupnecellene f.o.m. Nr 32 og oppover er ikkje representative (overflaterrefleks).

Celle nr	Ca djup (m)	Datafil	ADP strømfart, cm/s				
			Min	Middel	Max	Standard avvik	Varians (cm ² /s ²)
1	34	Rin99-01	0,1	6,57	22,5	3,96	15,71
2	33	Rin99-02	0,2	6,57	21,9	4,07	16,60
3	32	Rin99-03	0,3	6,66	25	4,13	17,05
4	31	Rin99-04	0,1	7,03	26,1	4,32	18,68
5	30	Rin99-05	0,2	7,04	23,4	4,17	17,41
6	29	Rin99-06	0,3	9,27	63,2	5,75	33,11
7	28	Rin99-07	0,0	22,00	113,3	18,76	351,78
8	27	Rin99-08	0,1	19,28	134,9	19,00	360,90
9	26	Rin99-09	0,0	6,76	25,4	4,26	18,18
10	25	Rin99-10	0,3	6,59	26,6	4,33	18,79
11	24	Rin99-11	0,0	6,74	25,3	4,48	20,10
12	23	Rin99-12	0,1	6,81	31,9	4,43	19,66
13	22	Rin99-13	0,2	7,12	32,4	4,72	22,23
14	21	Rin99-14	0,1	7,23	29,7	4,64	21,53
15	20	Rin99-15	0,0	6,92	35,3	4,50	20,28
16	19	Rin99-16	0,3	6,83	22,3	4,25	18,06
17	18	Rin99-17	0,1	6,87	24,8	4,23	17,93
18	17	Rin99-18	0,0	6,57	21,7	3,94	15,51
19	16	Rin99-19	0,2	6,26	21,8	3,59	12,90
20	15	Rin99-20	0,0	6,02	21,1	3,59	12,90
21	14	Rin99-21	0,0	6,02	20,4	3,44	11,81
22	13	Rin99-22	0,0	5,65	18,2	3,14	9,88
23	12	Rin99-23	0,1	5,69	21,8	3,18	10,10
24	11	Rin99-24	0,3	5,62	18,5	3,09	9,54
25	10	Rin99-25	0,1	5,48	17,3	3,14	9,88
26	9	Rin99-26	0,0	5,42	18,5	3,03	9,20
27	8	Rin99-27	0,0	5,39	17,8	3,05	9,32
28	7	Rin99-28	0,1	5,30	17,1	2,91	8,48
29	6	Rin99-29	0,1	5,11	17,1	2,76	7,60
30	5	Rin99-30	0,1	5,31	18,4	2,84	8,08
31	4	Rin99-31	0,0	5,11	20,9	2,79	7,80
32	overfl.	Rin99-32	0,4	11,90	43,5	7,75	60,11
33	"	Rin99-33	1,3	32,75	69	15,44	238,27
34	"	Rin99-34	1,2	40,95	79,2	16,19	262,21
35	"	Rin99-35	1,6	38,08	76,4	18,06	326,08
36	"	Rin99-36	0,3	16,91	56,1	11,92	142,11
37	"	Rin99-37	0,5	10,68	48,1	7,99	63,85
38	"	Rin99-38	0,1	16,78	63,2	12,56	157,70
39	"	Rin99-39	0,2	12,96	60,8	10,66	113,73
40	"	Rin99-40	0,1	9,45	42	6,73	45,33

3.2 Strøm i 3 m djup

Figur 11 viser måleresultata for målt strømstyrke i 3 m djup for Aanderaa RCM og SD6000, i dei 10 dagane desse målingane pågjekk. Sjølv om dei to instrumenta hang tett ved kvarandre, kan ein ikkje heilt utelate at der var små reelle forskjellar i strømmen. Men målingane syner svært god samvariasjon. Aanderaa målte generelt sett større verdier enn SD6000. For max. verdiane var forskjellen opp til 50%, mens i middel låg verdiane for Aanderaa 0,77 cm/ over SD6000 (**Tabell 2**). Begge målarane målte relativt hyppig ned mot sine nominelle startverdier på 2 cm/s. SD6000 synest ha ein høgare startverdi enn RCM7. SD6000 registrerte også nokre tilfelle med strøm under terskelverdien (jamfør med føregåande tekst).



Figur 11. Målt strømstyrke (cm/s) med Aanderaa RCM7 (svart strek) og SD6000 (raud strek) i 3 m djup, med middelveidier (tjukke horisontale linjer) i perioden 11. januar 1999 kl 00 til 20. januar kl 24. Målingane med SD6000 starta 1 døgn etter RCM7. Det var god korrelasjon (samvariasjon) mellom målingane, men Aanderaa målarane ga ca 0,8 cm/s sterkare middelstrøm.

NORTEK ADP målte frå botnen og opp. Den djupnecella som best representerer 3 m sjiktet er sannsynlegvis celle Nr 31. Middelveidi og andre parameter relatert til målingane i denne cella er tatt med i **Tabell 2**.

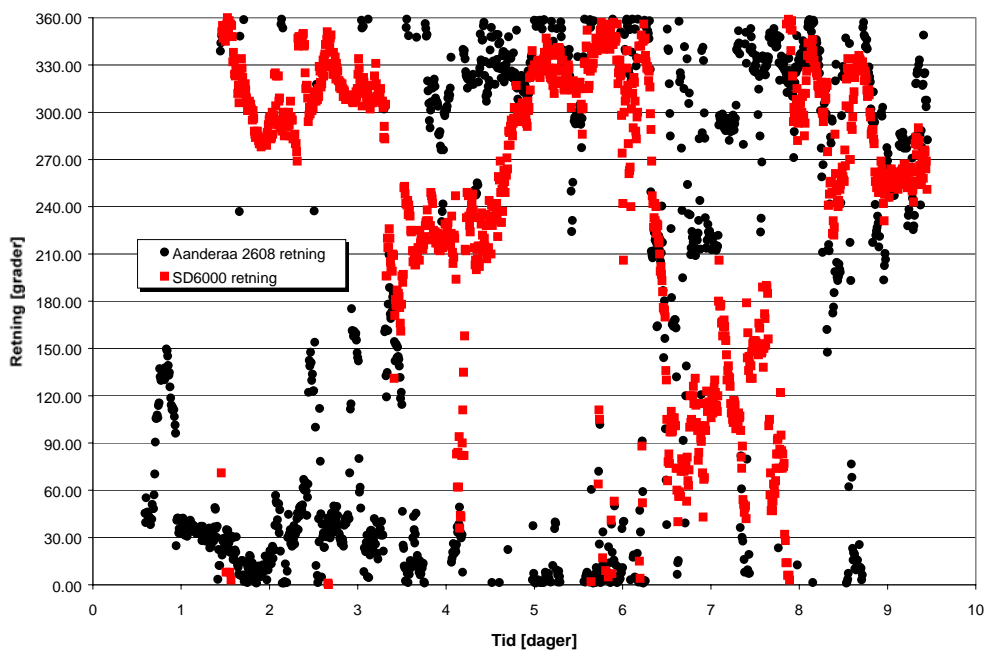
Det framgår av resultatane at ADPen registrerer signifikant høgare strømfart enn både Aanderaa og SD6000. Med to ulike måleprinsipp involvert, og den usikkerhet som ligg innbygd i begge, kan ein uansett ikkje forvente 100% samsvar. Ei mogleg teknisk årsak til forskjellen kan vere at ADPen målar frå botnen og opp, og at målecellene vil representere djupnesjikt med litt varierende avstand frå overflata p.g.a. flo/fjøre. Av **Tabell 1** framgår det imidlertid at middelveidi for strømstyrke for ADP-cellene litt djupare enn Nr 31 hadde tilnærma same middelveidi som Nr 31, og cellene over (som repr. overflata) hadde høgare middelveidi, slik at dette neppe kan vere årsaka. Ei anna mogleg forklaring er at rotormålarane har vore påverka av anlegget (skjerming) mens ADPen målte på utsida av anlegget der ein kan forvente sterkare strøm.

Tabell 2. Statistikk for strømfart for Aanderaa og SD6000 i 3 m djup og NORTEK ADP (celle 31, ca 4 m djup) for perioden alle målte samtidig.

Instrument	Middelverdi cm/s	Standardavvik cm/s	Varians (cm ² /s ²)	Domin. fluksretning
Aanderaa 2608	2,7	1,11	1,24	Mot Nord (330°-60°)
SD6000	2,0	0,96	0,93	Mot Nordvest
NORTEK ADP	5,1	2,79	7,80	Mot Nord-Nordaust

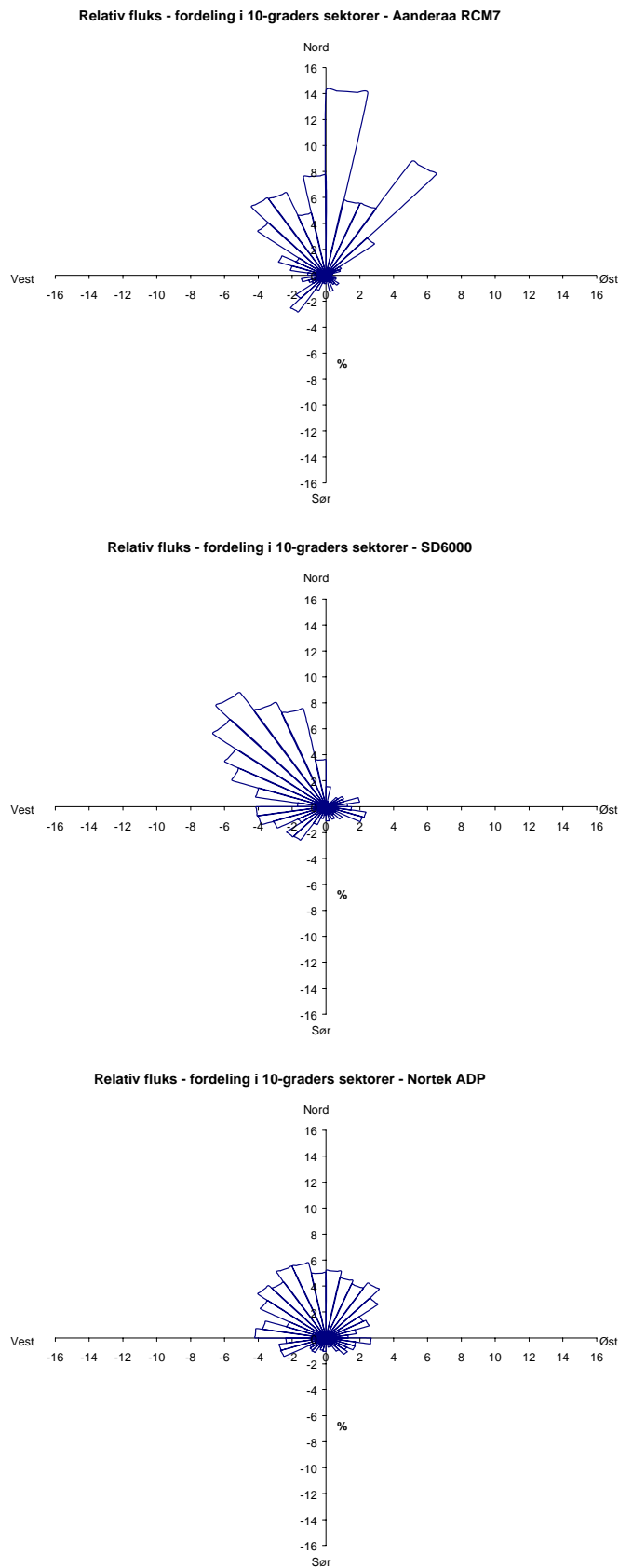
3.2.1 Strømretning

Figur 12 syner måleresultata for strømretningane for dei to rotorinstrumenta. Tilsynelatande var samvariasjonen eller samsvaret mindre her enn for strømstyrke. Framstillinga er imidlertid forstyrta av at retninga hyppig låg rundt 0°/360° og dermed skaper eit litt uryddig inntrykk i denne sektoren. Momentan-forskjeller på 30-50 grader forekom ofte. Det framgår eit markert avvik i perioden 12.-14. januar, då strømmen var svak (**Figur 11**). Retningen for netto fluks var nordleg for Aanderaa, og mot nordvest, for SD6000 (**Tabell 2.**).



Figur 12. Målt strømretning (kompassretning strømmen går mot) med Aanderaa RCM7 (svart) og SD6000 (raudt) i 3 m djup, for perioden 11. - 20. januar, 1999. X-aksen viser måletidspunkt, gjeve i dagar frå 11. januar kl 00.

Fluksfordeling i retningsintervall for målingane rundt 3 m djup er synt i **Figur 13**. Det er ein del avvik. Aanderaa har ein stor del observasjonar i retningsintervallet 0-10°. Dette er på grunn av at når strømmen er svak og under terskelverdien (2 cm/s) vil retninga bli registrert som 0° (og styrken som 1,1 cm/s). Ved svak strøm vil det derfor bli eit relativt stort (og neppe reelt) bidrag i denne sektoren. Aanderaa hadde for øvrig tydeleg innslag av strøm langs aksa SV-NØ, som samsvarar med anleggets lengderetning (**Figur 2**). SD6000 hadde hovedfluks mot NV. I sektoren 0°-90° var det knapt nok registreringar. Vi har påpeika i tidlegare rapportar at SD6000 kan ha vanskar med å orientere roret rett veg når det er svak strøm, og dette kan vere årsaka her også.

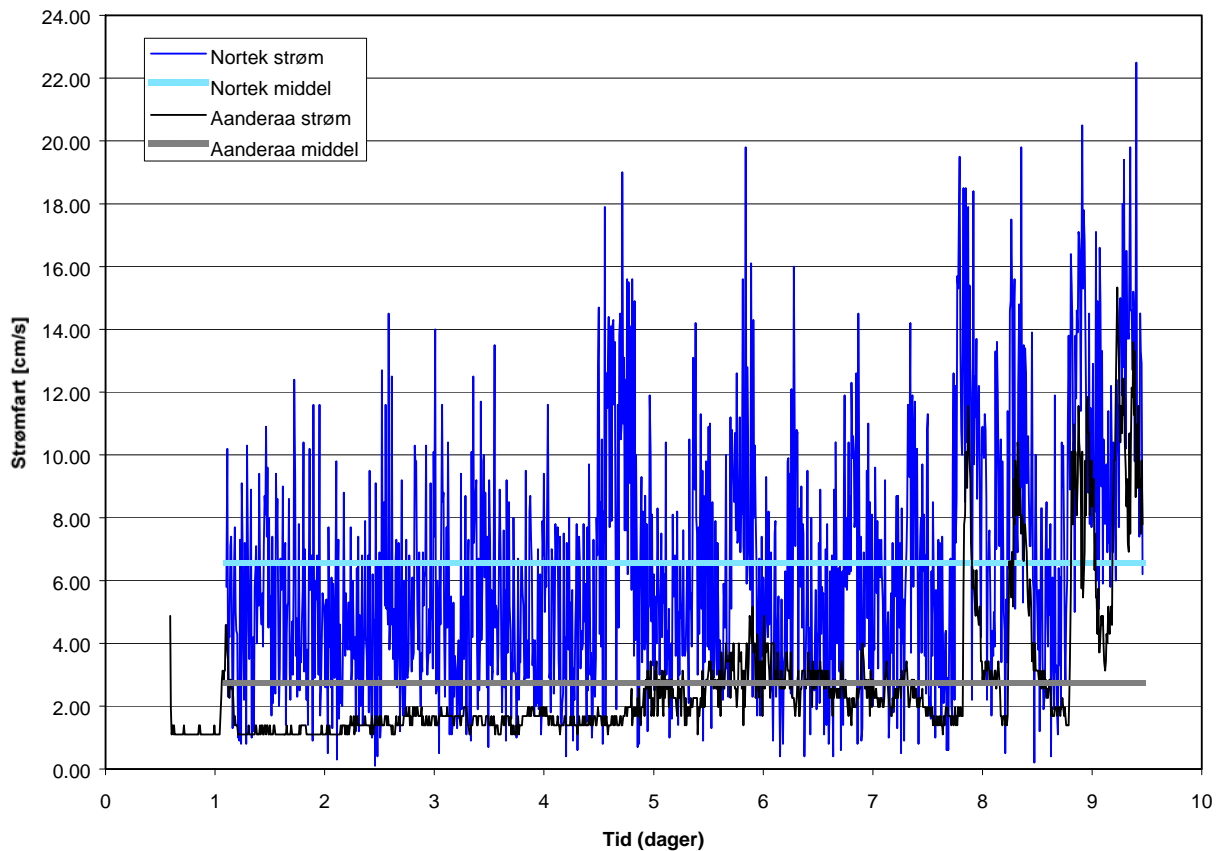


Figur 13. Fluksfordeling i retningsintervall for Aanderaa RCM7, SD6000 og Nortek ADP i 3 m djup (celle 31, ca 4 m for Nortek).

NORTEK ADP ga ei meir homogen retningsfordeiling innafør sektoren 270° - 60° (**Figur 13**). Hovedfluksen var retta nordover i det aktuelle djupet. Grovt sett samsvar dette med dei andre instrumenta. Sidan ADPen stod lenger frå anlegget er det naturleg å forvente mindre påverknad/styring derfrå enn for dei to andre instrumenta.

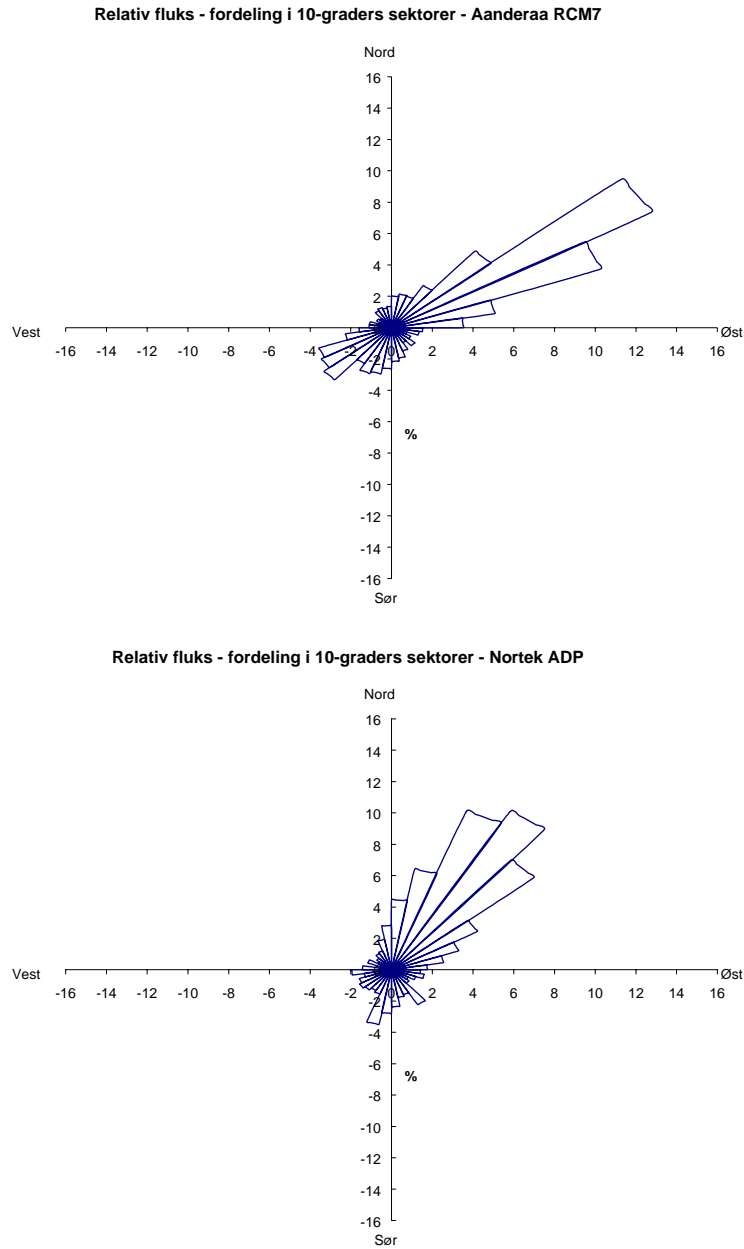
3.3 Strømmen nær botn

Strømstyrken for Aanderaa (43 m djup) og NORTEK ADP, djupaste celle (celle Nr 1) er synt i **Figur 14**. I den første 5-døgns perioden, fram til 16. januar, var det lite strøm, med knapt nok registrerbar strøm for Aanderaa, d.v.s. lite forkomst av målingar over 2 cm/s. ADPen registrerte i same perioden strøm rundt 5-6 cm/s, d.v.s. vesentleg kraftigare enn Aanderaa. Dei neste dagane var strømmen sterkare; opp i 3-5 cm/s, i 2-3 dagar for Aanderaa og langt over dette for ADPen. Mot slutten av serien kom det inn kraftigare signal også for Aanderaa, med max. strøm opp i 14 cm/s. For begge seriane under eitt var middelveidien for Aanderaa 2,7 cm/s, og for ADPen 6,6 cm/s. M.a.o. same tendens som i 3 m djup, med sterkast strøm frå ADPen. Men her må også nemnast at Aanderaa stod om lag 9 m djupare enn nivået for celle Nr 1 (34 m).



Figur 14. Målt strømstyrke (cm/s) nær botn med Aanderaa RCM samt NORTEK ADP (celle 1).

Figur 15. Hovedfluksen var mot NØ for begge instrumenta. Forskjellar kan som for målingane i 3 m djup skuldast at målarane stod i litt avstand frå kvarandre, slik at anlegg og topografi kan ha medført faktiske forskjellar i strømmen.



Figur 15. Fluksfordeling i retningsintervall for målingane i 35 m djup, Aanderaa (øverst) og celle 1, Nortek ADP.

4. Vurderingar og diskusjon

4.1 Grad av måloppnåing

Prosjektet har hatt som formål å gjennomføre strømmålingar på ein havbrukslokalitet med fleire typar måleinstrument, og deretter samanlikne resultatane. Alle instrumenta fungerte og datagjennfangsten var 100%. Samanlikning er gjennomført, dels kvantitativt (statistikk) og dels kvalitativt.

Viktigaste elementet var bruk av ein profilerande dopplermålar, ADP. NIVA har hatt slike målarar i fleire år, men har ikkje gjort inngåande samanlikningar før og har heller ikkje nytta eit slikt instrument på ein havbrukslokalitet. Prosjektet ga dermed ein nyttig gjennomgang av prosedyrar i samband med dette.

Ein må imidlertid innsjå at den korte måleperioden (10 dagar) er for kort til å gje fullgod statistikk, og måleoppsettet med målarar plassert i ein viss avstand frå kvarandre og frå anlegget inneber begrensingar når det gjeld samanlikningsgrunnlaget.

Innleiingsvis hadde vi ein omtale av strøm som miljø- og driftsfaktor i havbruk. Måleresultatane og samanlikningane gjev oss eit grunnlag for å knytte nokre avsluttande kommentarar rundt dette.

4.2 Oppsummering av resultat

Resultatane syner at profilerande dopplermålarar eignar seg godt til registrering av strømmen på havbrukslokalitetar. Ein får dekt langt fleire djupnesjikt enn ved tradisjonelle metodar og utan å kome nær merdar eller tauverk. I vårt tilfelle målte vi effektivt i 31 sjikt frå nær overflata til botn ved anlegget over 10 døger.

Resultatane synte stor grad av homogenitet i strømmen frå overflata og nedover. Unntaket var eit sjikt rundt 5 meter over ADPen, der det vart registrert vesentleg sterkare strøm enn elles. Vi har ikkje funne noko anna forklaring på dette enn at det må skuldast hyppig innslag av fisk (sei), noko som vart rapportert frå fleire anlegg i Bømlo på den tida. Dei målte strømværdiane er såleis ikkje realistiske for dette sjiktet.

Værdiane for målt strømsstyrke låg i middel 2-3 cm/s høgre for ADPen enn for rotorinstrumenta. SD6000 registrerte dei lågaste værdiane. Dette er ein tendens vi har sett også i andre samanhengar. Men det er ikkje gjeve av dette at ADPen overestimerer strømmen. Snarare kan det vere at ved svak strøm (slik det ofte var i Bømlo) vil rotorinstrumenta få gradvis svekt følsemd med hyppige "null-registreringar", mens ADPen er fullt opererbar også under slike høve.

At rotormålarane underestimerer strømsstyrken kan for øvrig gje ei forklaring til tidlegare rapportar om at fisk i merdar tilsynelatande kan trivast og få nok oksygen på lokalitetar der det har vore målt svært svak strøm nettopp med slike instrument.

Om vinteren og særleg ute ved kysten kan ein forvente svak sjikting og liten vertikal forskjell i strømmen. I så måte kan ein for vinter-målingar hevde at det ville vore tilstrekkeleg å måle med konvensjonelle instrument. I sommarhalvåret derimot, når sjiktinga både i hydrografi og strøm er langt meir markert, vil ein doppler ADP kome fullt til sin rett. Det er også i desse periodene at krava til gjennomstrøyming er sterkast p.g.a. stor biomasse. I denne perioden er samtidig dei konvensjonelle instrumenta meir utsette for tilgroing, mens dopplermålarane er mindre sårbare for dette.

Ein ulempe i samband med havbruk kan vere at for å få dekt merd-djupet må målararen plasserast litt i utkanten av anlegget. Dermed kan det oppstå ein viss diskusjon omkring representativitet, særleg i høve til strømmen *gjennom* merdane. Men for andre metodar vil det også vere ein viss usikkerhet i forhold til dette. Og på ein ubrukt lokalitet vil ein ADP uansett vere meir effektiv enn vanlege målararar.

4.3 ADP programvare

Den nye typen ADP strømmålar gjev eit stort og komplekst datamateriale samanlikna med standard instrument. Prosjektet har vist at det er naudsynt å etablere rasjonelle standard rutiner for primærbearbeiding av desse målingane. Elles tar det for lang tid for dei involverte å skaffe seg oversyn over målingane og få gjort utval av data for vidare analyse og rapportering.

Den standard programvaren som leverandøren leverer er eigna til å programmere instrumentet og til å avlese og eksportere data. Det er også opsjonar for å kunne få eit grafisk oversyn over resultatata, men utan at dette eignar seg for presentasjon.

NIVA har alt etablert ein del EDB-rutiner for å rasjonalisere dette arbeidet, men denne prosessen må halde fram. Basisen for dette vil vere dataprogramma SURFER, GRAPHER og EXCEL. For vidare analysar vil ein nytte statistikkprogram som STATISTICA, og for øvrig eignenuvikla programvare slik som Varighetsanalysen (Nygaard og Golmen 1997).

4.4 Sluttmerknader og element for oppfølging

Dei store datamengdene gjer det naudsynt med rasjonelle EDB rutiner hos den instansen som står for ADP målingane. NIVA vil halde fram arbeidet for å etablere slike rutiner for bearbeiding og presentasjon av ADP data.

Eit ADP instrument kostar av storleiksorden 5-10 gonger meir enn konvensjonelle målarar. Investeringane fordrar at instrumenta er jamnleg i bruk for å kunne betale seg. Driftskostnadene er også større samanlikna med eit konvensjonelt instrument, mest på grunn av dyrare batteri. Det er og ein del meir arbeid med programmering og førebuing av rigg før utsetting. Programmeringa krev ein del kunnskap om instrument og måleprinsipp. Her må arbeid med å effektivisere og rasjonalisere metodar og rutiner halde fram.

Konvensjonelle måleinstrument vil sannsynlegvis bli nytta i lang tid framover, dels grunna kostnadselementet. Det er imidlertid klart at eit ADP instrument som representerer framtidens teknologi gjev svært gode, nyttige og også nye resultat. Med auka dokumentasjonskrav både frå oppdrettarar og styresmakter vil rasjonaliseringsvinsten kunne gå i favør av ADP. Ein kost/nytte analyse kan bidra til å få betre talmateriale for dette.

Med ADP instrument kan vi få fram målingar som syner skilnader og detaljar om lagdeling i strømmen. Slike tilhøve veit ein eksisterer i fjordane og også på kysten om sommaren. Difor må måleprogram slik denne rapporten omhandlar også gjennomførast i periodar om sommaren.

Lagdeling i strøm heng gjerne saman med lagdeling i hydrografi. Her er det ei tett kopling til biologi, og forekomst/vandring av mikroorganismar, plankton, lakselus m.m. i sjøen. Gjennom styrken på retursignala frå eit ADP instrument kan ein få viktige opplysningar om mengder av plankton etc i sjøen, og i kva sjikt desse finst. Slike registreringar vil vere nyttige og kraftige verkty for å dokumentere samspel mellom organismar og fisk og for å treffe midleridige tiltak for å redusere negative effekter ved f.eks. å stoppe føring eller senke nøtene.

Skjellnæringa særleg i Sognefjorden har hatt vanskar med å finne giftfrie lokalitetar og å få tatt representative vassprøver for kontroll. Ulike algar finnes i ulike sjikt og til ulike tider/stader. Her vil

det vere eit nært samspel med lagdelinga og strømmen. ADP instrument, gjerne meir høgfrequente enn det som blei nytta av NIVA i foreliggjande prosjekt, kan gje eit detaljert bilete av strømmen og dermed bidra til å auke forståinga omkring korleis giftalgar opptrer og spreier seg. På basis av dette kan ein treffe tiltak når det gjeld prøvetaking, plassering av anlegg og hausting av skjel.

Måling med ADP instrument kan også gjerast med overføring av data i sann tid. NIVA har hatt eit slikt system i fleire år. Dette gjer det mogleg for oppdrettaren, skjelldyrkaren og andre og til ei kvar tid ha eit detaljert bilete av strømmen i notid, for derigjennom å kunne foreta konkrete vurderingar og evt. gjere tiltak. Ved optimal plassering og kalibrering kan det også vere mogleg å nytte ADPen sine retursignal (signalstyrke) til å kartlegge evt. varsle om stort fôrspill.

Sidan vi kan vere ved starten av ein overgangsfase frå konvensjonelle til nye ADP type instrument også innafor havbruksnæringa, er det naudsynt å skaffe fram god dokumentasjon på datakvaliteten og også eventuelle forskjellar for dei to målemetodane. Dette er viktig når ein i framtida skal vurdere gamle og nye data mot kvarandre.

Dei nye forskriftene for strømmåling på havbrukslokalitetar som blei nemnde innleiingsvis, føreskriv måling i inntil tre djup. Det er klart at eit ADP instrument med tilsvarande ressursbruk kan fange opp strømmen i langt fleire sjikt enn dette, og dermed få eit mykje betre datagrunnlag for å skildra strømforholda og gjere vidare berekningar og modellering.

5. Litteraturreferansar

Aanderaa Instruments 1993: Operating Manual, RCM 7 & 8. Aanderaa Instruments, Technical Description No 159.

ANON 1998: Veileder for utfylling av søknadsskjema for tillatelse til oppdrettsvirksomhet. Notat, oktober 1998, Fiskeridirektoratet, SFT, med fleire, 30s.

Gordon, R. L. 1996: Acoustic Doppler Current Profiler - Principles of operation: a practical primer. RD Instruments, San Diego, California, 54s.

Jensen, A. (redaktør) 1999: Norges muligheter for verdiskaping innen havbruk. ("SINTEF rapporten"). Rapp. DKNVS/NTVA, Trondheim, 38s.

Kupka Hansen, P, A. Ervik, J. Aure, P. Johannessen, T. Jahnsen, A. Stigebrandt og M. Schaanning 1997: MOM - Konsept og revidert utgave av overvåkingsprogrammet. Rapp. Fiskeridirektoratet, Oslo, 55s.

McClimans, T. 1979: Strømmåling i innsjø, elv og hav. Tapir, Trondheim, 80s.

Norsk Allmennstandardisering 1999a: Oseanografi, Del 1. Strømmålinger i faste punkter. NS 9425-1, s.6.

Norsk Allmennstandardisering 1999b: Retningslinjer for miljøovervåking av marine matfiskanlegg. NS9410, juni 1999, høyringsutkast.

Nortek AS 1996: ADP Operating Manual. Firmware Version 2.0, Juni 1996, 55s.

Nygaard, E. og L.G. Golmen 1997: Strømforhold på oppdrettslokalitetar i relasjon til topografi og miljø. Rapp. nr 3709-97 NIVA, Oslo, 58 s.

Paulsen, D. 1999: Store mengder sei påvist ved oppdrettsanlegg i Bømlo. Fiskets Gang Nr. 2/99, s 4.

Pickard, G. L. og W. J. Emery 1986: Descriptive Physical Oceanography. 4th Enlarged Edition. Pergamon, 249 s.

Stigebrandt, A. og J. Aure 1995: Modell for kritisk organisk belastning under fiskeoppdrettsanlegg (MOM). Fisken og Havet Nr. 26/95, 60 s.

Stigebrandt, A. 1999: MOM: Turnover of energy and matter by fish- a general model with application to salmon. Fisken og Havet Nr 5, 1999, 26 s.