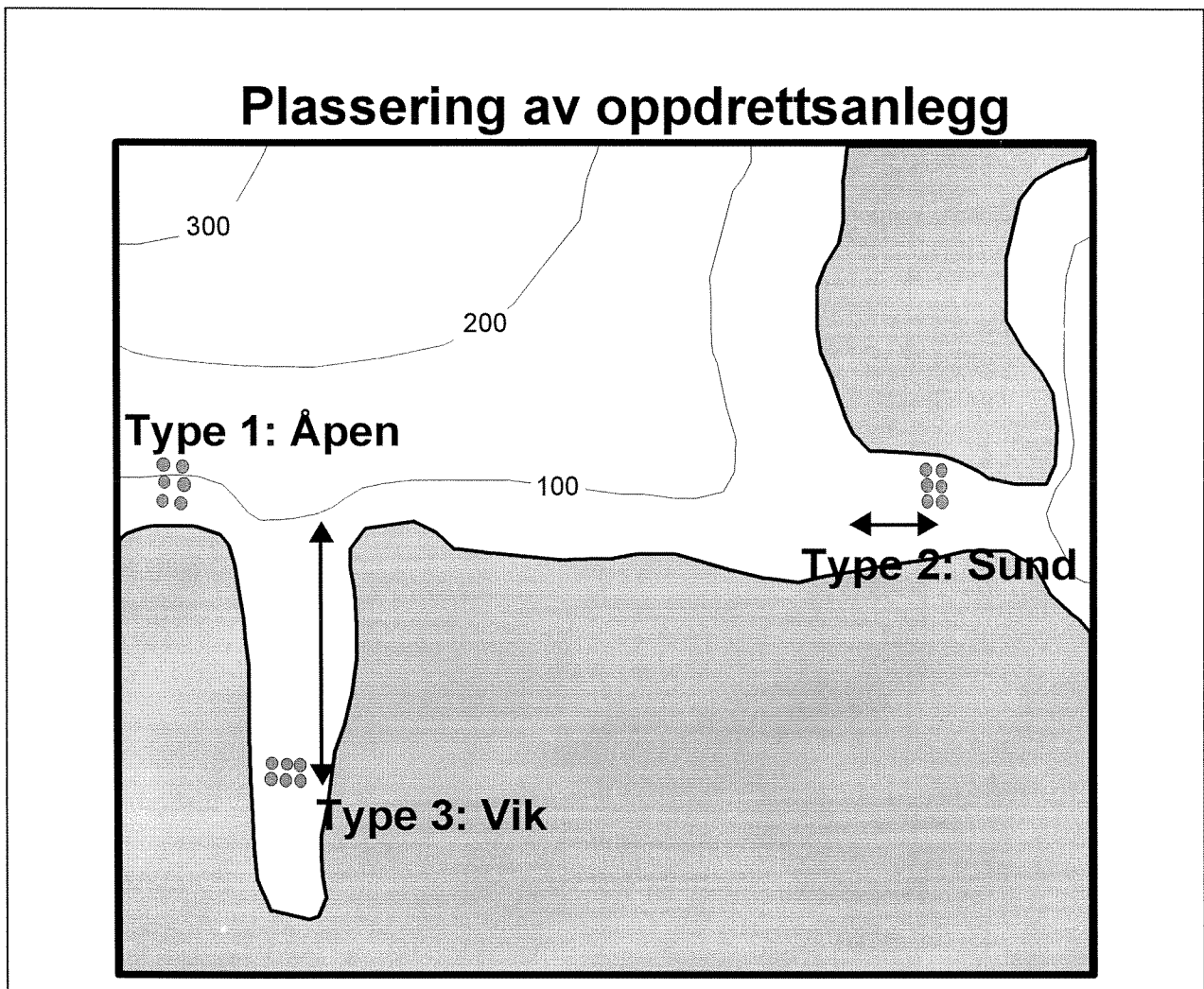


# Strømforhold på oppdrettslokaliteter i relasjon til topografi og miljø



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 Grønstad  
Telefon (47) 37 04 30 33  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 32 56 40  
Telefax (47) 55 32 88 33

**Akvaplan-NIVA A/S**

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

<b>Tittel</b>  <b>Strømforhold på oppdrettslokaliteter i relasjon til topografi og miljø.</b>	<b>Løpenr. (for bestilling)</b> 3709-97	<b>Dato</b> 25 sept. 1997
	<b>Prosjektnr. Undernr.</b> 94408/95250	<b>Sider Pris</b> 58
<b>Forfatter(e)</b>  Einar Nygaard Lars G. Golmen	<b>Fagområde</b> 32	<b>Distribusjon</b> Open
	<b>Geografisk område</b> Hordaland	<b>Trykket</b> NIVA 1997

<b>Oppdragsgiver(e)</b> Sunnhordland Havbruksring, Postboks 11, 5430 Bremnes	<b>Oppdragsreferanse</b> Bjarte Tveranger
---	--

<b>Sammendrag (førebels)</b> Rapporten omhandler førebels resultat frå analyse av strømdata frå eit førtitals lokalitetar tilhøyrande Sunnhordland Havbruksring. Målingane er gjennomført av Sunnhordland Havbruksring sjølv, og data er stilt til rådvelde for NIVA for vidare analysar gjennom eit forprosjekt i 1995-1996. Det er nytta standard analysemetodar såvel som nye metodar, slik som varighetsanalyse. Prosedyrar og feilkjelder ved ulike metodar for strømmåling er gjennomgått. Data for dei ulike lokalitetane og resipientane er systematisert og relatert til strømmålingane. Resultata syner at det er ein sterk korrelasjon mellom topografi og strøm, og det er laga ein empirisk relasjon mellom desse faktorane.
--

<b>Fire norske emneord</b> 1. Strømmåling 2. Oppdrettslokalitet 3. Resipient 4. Varighetsanalyse	<b>Fire engelske emneord</b> 1. Current measurement 2. Fish farm site 3. Recipient 4. Duration analysis
--	---



Lars G. Golmen  
Prosjektleder

ISBN 82-577-3275-3



Bjørn Braaten  
Forskningsjef

NIVA-PROSJEKT E-94409 OG O-95250

**STRØMFORHOLD PÅ  
OPPDRETTSLOKALITETAR I RELASJON TIL  
TOPOGRAFI OG MILJØ**

NIVA-Vest, Bergen, september 1997

Einar Nygaard  
Lars G. Golmen

## FORORD

*Sunnhordland Havbruksring omfattar mange einskild-oppdrettarar med omlag 40 matfisklokalitetar i alt. Havbruksringen held ein høg miljøprofil, og granskingar omkring faktorar som påverkar driftstilhøva og miljøet har vore prioritert. I den samanheng vart det i 1993 starta opp eit program for å måle strøm i sjøen på lokalitetane. Målingane vart utført i regi av sekretæren i Havbruksringen, Bjarte Tveranger.*

*Hausten 1995 kontakta Havbruksringen NIVA med førespurnad om å få gjennomgått og systematisert strømmålingane ved å anvende tradisjonelle og nye metodar for data-analyse. Eit framlegg til prosjektgjennomføring blei utarbeidd, og dette blei godkjent av Havbruksringen på eit møte 17. oktober 1995.*

*Det omfattande datamaterialet har blitt gjenstand for bearbeiding og analyse hos NIVA. Dette er for det meste gjennomført av Einar Nygaard ved NIVA-Vest, i samråd med Lars G. Golmen som har vore prosjektleiari hos NIVA. Sekretæren i Havbruksringen, Bjarte Tveranger har vore fagleg kontaktpunkt hos Havbruksringen.*

*Lars G. Golmen*

---

# INNHALD

<b>SAMANDRAG</b>	<b>6</b>
<b>1. INNLEIING</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn for prosjektet	7
1.2 Målsetting	8
1.3 Litt om vassutskifting i relasjon til oppdrett	8
1.3.1 MOM-systemet	9
1.3.2 Krav til minstestrøm	9
1.3.3 Middelstrøm og strømmens variabilitet	10
1.3.4 Strømforhold og lokalitet	11
1.3.5 Kalkulasjon av oksygenforbruk	11
1.3.6 Numeriske modellar	12
1.4 Typar oppdrettslokalitetar	12
1.5 Metodar for analyse av tidsseriar	14
<b>2. MÅLEMETODAR FOR STRØM</b>	<b>16</b>
2.1 Instrument-typar og måleprinsipp	16
2.1.1 SD 6000 strømmålar	16
2.1.2 Vektormidling av strømdata	16
2.1.3 Feilkjelder	18
2.2 Instrumenttest	18
<b>3. VARIGHETSANALYSEN</b>	<b>21</b>
3.1 Generelt om tidsseriar	21
3.2 Litt formalisme for varighetsanalysen	21
3.3 Målingar kontra kontinuerlege seriar	23
3.3.1 Sinus-serie	23
3.3.2 Sagtann-serie	26
3.4 Eksempel på praktisk bruk	26
<b>4. STRØMDATA FRÅ LOKALITETANE I SUNNHORDLAND</b>	<b>31</b>
<b>5. NOKRE RESULTAT FRÅ DATAANALYSANE</b>	<b>34</b>
5.1 Kategorisering	34
5.2 Utvalde lokalitetar	36
5.2.1 Tidsseriar	37
5.2.2 Strømroser	41
5.2.3 Varighetsanalyse av strømfart	43
5.2.4 Varighetsanalyse av strømrøtning	47
<b>6. DISKUSJON OG SLUTTKOMMENTARAR.</b>	<b>50</b>
6.1 Modelling	50
6.1.1 Modellen	50
6.1.2 “Teoretisk” sund	50

6.1.3 Realistisk topografi	52
6.2 Sluttkommentarar	55
6.3 Forslag til oppfølgjande arbeid	55
<b>7. REFERANSAR</b>	<b>57</b>

## SAMANDRAG

Rapporten omhandlar resultat frå analyse av strømdata frå 38 lokalitetar tilhøyrande Sunnhordland Havbruksring. Målingane er gjennomført av Sunnhordland Havbruksring sjølv. Data er stilt til rådvelde for NIVA for vidare analysar gjennom eit forprosjekt med hovudformål å gjennomgå og systematisere datamaterialet og deretter foreta analysar og berekningar.

Prosedurar og feilkjelder for strømmålingane er gjennomgått. Samanlikningar mellom målingar med RCM7 og SD6000 strømmålarar syner at SD6000 målarane systematisk måler lågare strøm for strømstyrker under 7-8 cm/s, og stadfester at SD6000 har ein høgare terskelverdi enn RCM7. Dette kan føre til at strømmen ved dei strømsvake lokalitetane i Sunnhordland Havbruksring er noko (~20% for låg) underestimert.

Topografiske data for dei ulike lokalitetane og resipientane er systematisert og relatert til strømmålingane. Det er nytta standard analysemetodar såvel som nye metodar, slik som varighetsanalyse og typisk forflytning i løpet av ein fløande eller fjærande periode. Resultata syner at det er sterk korrelasjon mellom topografi og strøm. Det er laga ein empirisk relasjon mellom desse faktorane, ved å dele lokalitetane inn i tre kategoriar **sund, vik og open**. Viker skil seg klart ut med dei dårlegaste strømforholda. Det var ikkje mogleg å skilje mellom sund og opne lokalitetar når det gjaldt strømforhold. Ein må likevel rekne med mindre resirkulering av vatn på dei opne lokalitetane enn i sund ved like strømforhold.

Numerisk modellresultat (SMS) og til dels målingane synte at strømmen bak nes (i viker) blir sterkt redusert (ned til 1/3 eller mindre). Anlegg blir gjerne lagt ved eller bak nes (i viker) p.g.a. eksponering, forankring og tilkomst. Ved å flytte anlegga litt, vil ein kunne unngå lé-effekten, og oppnå betre driftsresultat og reduserte miljøeffektar.

Rapporten frå forprosjektet peikar til slutt framover mot eit framtidig større prosjekt med kopling mellom drift og miljøfaktorar, og kopling til MOM programmet.

# 1. INNLEIING

## 1.1 Bakgrunn for prosjektet

Sunnhordland Havbruksring er ein organisasjon som ivaretar overordna interesser for oppdrettsnæringa i åtte av dei ni kommunane i Sunnhordland som har tilknytning til havbruksnæringa. Havbruksringen samordnar mange aktivitetar av felles-karakter, spreier informasjon til medlemmene og organiserer samlingar m.m. for oppdrettarane i den svært aktive og viktige oppdretts-regionen. I 1995 var der 46 matfiskanlegg og 28 settefiskanlegg i Sunnhordland, som produserte h.h.v. 37 000 tonn laks og over 10 mill settefisk (Havbruksringen 1997).

I 1992 blei det starta opp eit program for å kartlegge strømforholda på dei mange matfisklokalitetane i sjøen. Målingane vart organiserte og gjennomførte av sekretæren i Havbruksringen, Bjarte Tveranger, og måleinstrumenta (av type Sensordata SD6000) blei finansiert av støtte-medlemene og kommunane. Formålet som Havbruksringen hadde med kartlegginga av strømforholda, var å gje oppdrettarane meir informasjon om denne miljøparameteren som har betydning både for driftstilhøve, produksjon og miljø.

Etter kvart vart det samla inn svært mykje data. Den enkelte oppdrettaren hadde blitt meddelt resultatane frå målingane på sin lokalitet, men ein hadde trua på at datamaterialet også kunne eigne seg for meir generelle studiar slik som samanlikningar mellom ulike anlegg og lokalitetstypar, statistikk etc. Havbruksringen hadde ikkje person-ressursar til å kunne foreta slike studiar.

NIVA har i lengre tid arbeidd med strømmåling som metode, og strømforhold som miljøparameter i relasjon til fiskeoppdrett (Golmen 1994, Braaten og Golmen 1995). Ein vesentleg del av denne aktiviteten har vore gjennomført av eigne midlar. Det kom derfor som ein naturleg følgje av dette at Havbruksringen v/sekretæren tok kontakt med NIVA (NIVA-Vestlandsavdelinga) hausten 1995 for å diskutere eit samarbeidsprosjekt for systematisering og vidare analysar av datamaterialet.

Ein blei fort klar over at det omfattande materialet og dei komplekse problemstillingane tilknytta dette fort kunne ende i eit svært omfattande og tidkrevjande prosjekt. Ein vart difor samde om å starte opp med eit mindre prosjekt som skulle gi oversyn over datamaterialet og omfatte ein del data-analysar og vurderingar. Dette kunne så eventuelt danne grunnlag for ein fase II, der ein såg føre seg samarbeid og sam-finansiering med andre instansar slik som Norges Forskningsråd og Havforskningsinstituttet.

Ein samarbeidsavtale mellom Havbruksringen og NIVA vart inngått på slutten av 1995. NIVA fekk umiddelbart tilgang til (kopi av) foreliggende målingar, og utdrag av analyseresultatane er presentert i denne rapporten. Det har vore halde fleire møter undervegs i prosjektperioden, der ein har diskutert framdrift og resultat.

I 1996 vart det også sendt ein prosjektsøknad til forskningsrådet som omhandla problemstillingar i tilknytning til merdrift/fysisk miljø, men denne vart avslått. Forskningsrådets og tidlegare NFFR sin støtte til slike prosjekt har dermed hittil vore fråverande eller minimal. FoU verksemd som har blitt gjennomført, har i det vesentlegaste vore finansiert av havbruksnæringa sjølv (firma, samanslutningar), av dåverande Distriktenes Utbyggingsfond, til dels departement, samt nokre FoU institusjonar.



## 1.2 Målsetting

Alt tidleg i planleggingsperioden vart ein klar over at det ville kreve mykje innsats med både å nøye gjennomgå og systematisere datamaterialet og deretter foreta analysar og berekningar som kunne ende opp i konkrete tilrådingar, evt. forvaltingsverktøy. Løysinga på dette vart som nemnt å etablere noverande prosjekt som eit forprosjekt (Fase I), med ei meir avgrensa målsetting, med følgjande del-element:

- Få overført foreliggjande datamateriale som omfatta 50-60 ulike måleseriar
- Gjennomgå og evt. rette opp måleseriane, og etablere database
- Gjennomgå målemetodikken, vurdere evt. feilkjelder og foreslå forbetringar
- Gjennomgå litteratur som omhandlar strøm i relasjon til oppdrett
- Foreta vanlege statistiske berekningar, lage grafiske framstillingar for visuell bedømming
- Skissere moglegheiter for vidare analysar, med eksempel
- Vidareutvikle og anvende "varighetsanalysen" i ulike variantar på eit utval seriar
- Gje ein samla vurdering av materialet med anbefalingar, så langt resultatata tillet
- Skissere innhald i ei oppfølgjande "Fase II"

Foreliggjande rapport berører alle desse punkta, men tyngden eller detaljeringsgraden vil variere noko frå punkt til punkt.

## 1.3 Litt om vassutskifting i relasjon til oppdrett

Betydninga av tilstrekkeleg strøm eller utskifting i merdane er uomtvisteleg. Gjennom åra er det gjennomført fleire studiar omkring dette, og faktumet at strømforholda er viktig er understreka i mange fagrapportar og publikasjonar (sjå t.d. Braaten et al. 1992, Ervik 1994, Braaten og Golmen 1995).

Med sjukdomsutbrudda og laksekrise som prega og til dels lamma oppdrettsnæringa i åra rundt 1990, blei forskingsfokus naturleg nok retta mot fiskehelse og sjukdomsbekjemping, og systematiske studiar av fysiske faktorar knytta til lokalitetane, slik som strømtilhøve, kom i bakgrunnen.

Nyare utredningar (t.d. Dragesund 1992) omkring forskingsbehovet nemner strøm/vassutskifting indirekte i samband med sjukdomsspreiing, algeproblematikk, antibiotika o.l., men ikkje direkte i samband med lakseproduksjonen (drift).

### 1.3.1 MOM-systemet

“MOM” (Modellering-Overvåking-Matfiskanlegg) systemet (Ervik et. al 1993) er nå til utprøving. MOM-modellen berekner kva miljøverknader eit gitt anlegg har/vil ha på ein lokalitet, og korleis eit anlegg kan utformast og drivast for å minimalisere miljøverknadene eller halde desse innfor gjevne grenser.

MOM-modellen har fire hovedkomponentar:

- Fiskemodulen berekner utslepp av oppløyst og partikulært stoff, og fiskens oksygenbehov
- Spredningsmodulen berekner korleis forspill/fekaliar blir spreidd og sedimenterer
- Vasskvalitetsmodulen berekner tilstand i sjøen i/rundt anlegget (nærsoner/fjernsoner)
- Sedimentmodulen omhandlar tilstand i sedimentet som mottar forspill/fekaliar.

Vannstrøm inngår som ein inn-parameter i dei tre sistnemnde modulane. Resultata frå spredningsmodellen påverkar resultata i sedimentmodulen, som igjen påverkar resultata i vasskvalitetsmodulen. Spredningsmodulen krev kunnskap om strømmen i ulike djup over tid, mens sedimentmodulen krev kjennskap til botnstrøm. For vasskvalitetsmodulen (nærsoner) er eksplisitt nemnt (Ervik et al 1993): “strømmens fart og retning - kritisk strømstatistikk for anlegget”.

Såleis er kunnskap om vannstrømmen, om dens variabilitet og “kritisk strømstatistikk” viktig også for MOM-systemet.

### 1.3.2 Krav til minstestrøm

Det må vere ei viss vassutskifting i merdane blant anna for å kompensere for fiskens oksygenforbruk. Det er opplagt at fisken fort vil få problem i stagnerande vatn. Aure (1983) rekna at eit anlegg med ein fiskekonsentrasjon på 8-10 kg/m<sup>3</sup>, som er lite i forhold til dagens, treng ein gjennomsnittsstrøm på minst **2 cm/s** for å oppretthalde tilfredsstillande oksygenforhold.

Groe på merdane kan redusere strømmen inne i merdane med 70 % (Sætre, 1975). For å kompensere for dette, bør middelstrømstyrke vere ca. **10 cm/s** i følgje Sætre. Andersen (1996, s. 16) skriv at middelstrømmen i 5 m dyp bør vere over **3 cm/s**, utan å referere direkte til kjelder for denne minimumsverdien. Det er m.a.o. store sprik i dei oppgjevne verdiane, som til dels er bygd på ulike føresetnader.

Om anlegget er orientert slik at det ligg med langsida mot den dominerande strømreretningen, bør vassutskiftinga i merdane bli best. Både merdane og fisk i merdane påverkar strømbiletet, særleg når strømmen er svak. Braaten og Golmen (1994) målte ein 75 % forskjell i strømmen mellom oppstrøms og nedstrøms anlegget på ein open kystlokalitet, med reine nøter. Vatnet søker minste motstands veg. Det vil sei at vatnet vil forsøke å strøme rundt anlegget heller enn gjennom eller under det. Mange merdar etter kvarandre langs hovedstrømmen gjev svært redusert strøm i merdane som ligg lengst i lé. Dersom merdane er mykje begrodd kan strømmen i merd nummer to nedstrøms bli redusert til under 40 % av strømmen utanfor. I merd nummer seks vert det då praktisk talt ikkje strøm i følgje Aarsnes et al. (1990).

Det er nok neppe korrekt å kunngjere ein "universell" minsteverdi for krav til gjennomstrøminga. Behovet vil variere i høve til mange faktorar, slik som

- fisketettleik
- total fiskemengd
- fiskens alder og kondisjon
- tid på året (evt. lys-intensitet)
- anleggets orientering i høve til aktuell (nåtids) strøm
- foringsintensitet
- sjøtemperatur
- sjøens oksygeninnhald
- algekonsentrasjon
- djupne på lokaliteten

For strøm ved sjøbotnen vil krava vere annleis enn for overflatestrøm og strøm i merdane. I følge Stene (1996 s. 100) bør strømmen langs botn under eit anlegg gjennomsnittleg ligge på 4-5 cm/s, med kun korte strømfrie periodar, og periodevis sterk strøm (7-10 cm/s).

### 1.3.3 Middelstrøm og strømmens variabilitet

Når ein studerer måleseriar for strøm, er det sjeldan ein ser ideal-resultatet med tilnærma konstant og einsretta strøm (som i ei elv eller i ei oppdrettsrenne på land), der ein lett kan sjå at ein einskild middelvei for strømstyrken gjev eit godt uttrykk for "strømtilhøva". I dei fleste tilfelle vil middelveidien kun gje ein indikasjon på tilhøva. Det som framtrer tydelegast i vanlege måleseriar er variabiliteten i strømmen, d.v.s. hyppig variasjon i både retning og strømstyrke. Målingane som er utført av Sunnhordland Havbruksring er eit godt døme på dette.

Ein måleserie kan godt ha ein relativt høg middelvei for strømstyrke, og likevel innehalde lange periodar med lite eller ingen strøm. For oppdrettaren vil nok desse periodane vere av større interesse å ha kjennskap til, enn sjølve middelveidien. I det foreliggende prosjektet søker vi m.a. å finne fram til andre parametarar og storleikar som kan gje eit betre og meir relevant uttrykk for strømtilhøva enn t.d. middelveidien.

Det er ønskeleg å finne parametarar som i større grad enn middelveidien for strømstyrke og "midlare strømrøtning" gjev uttrykk for dei reelle strømførholda. Faktorar og fenomen som det kan vere ønskeleg å parameterisere, kan vere:

- Forekomst og varighet av strømslille periodar
- Forekomst og varighet av strømssterke periodar
- Forekomst og varighet av strøm innafor gitte retningssektorar
- Forekomst og varighet av strøm innafor "gunstig" retningssektor
- Total-bilete av variabiliteten; varians, standardavvik, energispekter, turbulensskala
- "Mønsteret" i strømbiletet

Ein del konvensjonelle statistiske og matematiske metodar for analyse av tidsseriar vil kunne anvendast på ein del av desse momenta (t.d. varians, Fourieranalyse, energispekter). NIVAs "varighetsanalyse" vil kunne anvendast på fleire av desse.

For sistnemnde moment som inneheld alle dei foregåande opplista momenta, kan ein spekulere om der er ein samanheng mellom mønsteret i måleserien og lokaliteten. Her vil metodar frå andre vitenskapar for mønstergjenkjenning og fleir-dimensjonal frekvensanalyse slik som Wavelet-transform (Kaiser 1994)

kanskje kunne anvendast. Dette er nok meir framtidsmusikk og har å gjere med grunnleggjande oseanografi/geofysikk, men kan vere nemnt her.

#### 1.3.4 Strømforhold og lokalitet

Resultata i ein måleserie vil i stor grad reflektere lokalitetens (måleposisjonens) plassering i høve til kystlinje og topografi for øvrig. Eit av spørsmåla som denne rapporten reiser, og søker å nærme seg eit svar på, er om det er mogleg å knyte ein samanheng (parametrisere) relasjonen mellom topografi og strømtilhøva. Om ein kunne få til ein grov-parametrisering her, ville ein i større grad kunne tilpasse anlegg og drift til lokaliteten, og ein kunne skilje "eigna" lokalitetar frå "mindre eigna" utan å måtte utføre omfattande granskingar.

Ein må her vere førebudd på at generelt sett positive korrelasjonar eller samanhengar som kan framkome, vil kunne ha mange og store einskild-avvik. Det er nok mange døme på at anlegg som ligg i "dårleg eigna" eller "strømsvake" område går godt, og at anlegg på "gode" lokalitetar går dårleg.

#### 1.3.5 Kalkulasjon av oksygenforbruk

Faktisk oksygenforbruk i merdane avheng av biomasse, fiskens respirasjon og fôropptak. Desse faktorane er nært knytta opp m.a. til sjøens temperatur og fiskens vekstsyklus. Jmfør med fiskemodulen i MOM-modellen (Ervik et al. 1993).

Eit rekneeksempel kan illustrere samanheng mellom oksygenforbruket og nødvendig strøm:

Eit grovt anslag for oksygenforbruket i juni-juli kan settast til 10 kg O<sub>2</sub>/tonn fisk pr. døgn. Dette talet kan auke utover hausten (Braaten og Golmen, 1994). Anta vidare at ein har ein kvadratisk merd på 20 gangar 20 meter og 10 meter djupne, med ein biomassekonsentrasjon på 25 kg/m<sup>3</sup> som tilsvarar ein total biomasse på 100 tonn og eit oksygenforbruk på 1 000 kg/O<sub>2</sub> pr. døgn. Vi antar at vatnet som strømmer inn i merden har ein oksygenkonsentrasjon på 9 mg/l mens vatnet som strøymer ut av merden har ein oksygenkonsentrasjon på 7 mg/l (oksygenverdiar lavere enn 7 mg/l inne i merden er ikkje ønskeleg sidan dette kan ha innvirkning på fiskens trivsel og tilvekst (Andersen 1996, s. 15, og Davis 1975).

For å kompensere for oksygenforbruket og for å halde oksygenkonsentrasjonen inne i merden over 7 mg/l trengst ein gjennomsnittsstrøm på 2,9 cm/s i den aktuelle merden. Dette illustrerer i grove trekk korleis ein kan rekne seg fram til ein minimumsverdi for strømmen.

Oksygenkonsentrasjonen vil sannsynlegvis vere den viktigaste miljøparameteren ved merdoppdrett. Ved liten vassgjennomstrøyming vil mengd av ammonium/amoniakk og karbondioksid auke. Ein auke av CO<sub>2</sub> vil i følge Forsberg (1995) samstundes senke pH og gjere ammoniakk mindre giftig. Sjølv ved svak strøm vil fiskens egenrørsle føre til ein viss utskifting av vatnet. I følge dette er det derfor lite truleg at amoniakk vil vere ein faktor som påverkar tilvekst og trivsel hos laksefisk i merdar i sjøen. Samstundes er det viktig å påpeike at det er gjort få undersøkelser av strømsvake lokalitetar, og den generelle kunnskap er mangelfull for anlegg som ligg i slike kritiske område.

Det har vore gjort mange studiar av samanheng mellom vassutskifting og oksygenforbruk, biomasse etc. i basseng og tankar på land. Studiane indikerer ein sterk korrelasjon mellom oksygenforbruk og fiskestorleik, vassstemperatur og gjennomstrøyming. Forsberg (1994) kom fram til følgjande relasjon

$$M = 1,92 W^{-0,27} * T^{0,63} * 10^{0,01C}, \text{ der}$$

M: oksygenforbruk (mg O<sub>2</sub> pr kg fisk pr minutt)

W: Fiskestorleik (g)

T: Vassstemperatur (°C)

C: Vannstrøm (cm/s).

Når strømmen aukar vil fisken måtte bruke meir energi på å halde seg i posisjon. Auka strøm gir altså større oksygenforbruk.

Om ein overfører resultatata til eit merdanlegg, så vil kraftigare strøm medføre auka tilførsler av oksygenrikt vatn som meir enn kompenserer for auka forbruk. Ved å sette inn nokre verdiar ser ein at strømmen har stor vekt:

	5 cm/s	25 cm/s	50 cm/s
Auke i O <sub>2</sub> -forbruk relativt til 2 cm/s strøm	6,7 %	69 %	201 %
Auke i O <sub>2</sub> -tilførsler ----"---- ----"----	1,5 X	11,5 X	24 X

Rekneeksempelet syner at gjennomstrømminga mange gonger kompenserer for auken i energiforbruk. Forbruket for ein gjeven fiskestorleik aukar også med aukande temperatur. Ein temperaturauke frå 6 til 16 grader medfører anslagsvis dobling i fiskens oksygenforbruk. Dette vil dermed medføre behov for minimum dobla vassutskifting ved same fisketettleik, dersom tilhøva før (ved 6 grader) var marginale.

Måling av oksygen og oksygenforbruk i merdar (Braaten et al. 1993, Golmen og Braaten 1994) har gitt målbare, men ikkje høge verdiar for oksygenreduksjonen nedstrøms godt eksponerte anlegg. Typisk ligg verdiane på rundt 0,5 mg/l O<sub>2</sub> som er av same storleik som kortvarige fluktusjonar i bakgrunnsverdiar. Større (2 mg/l) forskjellar er imidlertid også rapportert (Braaten et al. 1992).

### 1.3.6 Numeriske modellar

Numeriske modellar for hydrodynamikk vil kunne gje viktig informasjon om strømforholda på ein gjeven lokalitet, og kan bli eit alternativ eller supplement til målingar. For å gje gode resultat må ein sannsynlegvis nytte tre-dimensjonale modellar, som også tar med ulike djupnesjikt. Problemet med slike modellar har hittil vore at den horisontale oppløysinga (avstand mellom punkt der modellen gjer berekningar) har vore for stor, gjerne på skala 0,5-1 km eller meir. Dette gjev for lite informasjon om lokale tilhøve.

Etter kvart som reknekapasiteten aukar på datamaskinene, vil ein kunne få betre oppløysing, og dermed betre resultat. Asplin og Aksnes (1995) oppnådde resultat med 250x250 m oppløysing for Ryfylkefjordane med ECOM3D modellen. Dersom ein nyttar ein 2-dimensjonal modell, vil ein kunne få langt betre oppløysing, men sannsynlegvis miste ein del informasjon (Golmen og Nygaard, 1997).

## 1.4 Typar oppdrettslokalitetar

Tidlegare har det vore nytta omgrep som kyst og fjordlokalitet. Desse har gjerne så blitt delt inn etter om botndjupet ligg over eller under terskeldjupet (Aure 1989). Ei anna kategorisering av sjøområda i kystsona blei innført gjennom LENKA arbeidet (NOU 1990) der ein innførte dei arealbaserte omgrepa A, B og C områder, som følgjer:

- A: Opne kystområde og store fjordar, djupare enn 50 m**
- B: Andre sjøområde med god vassutskifting**
- C: Små terskelfjordar og andre terskelområde**

Desse inndelingane har blitt gjort for å studere miljøeffektar av belastning frå oppdrett (Aure) og for å finne naturleg resipientkapasitet for større områder enn ein einskild lokalitet (LENKA). Andre inndelingar kan vere bestemt ut frå eksponeringsgrad for t.d. bølger.

Ut frå vår naturlege arbeidshypotese om at strømmen er ein viktig faktor for miljø og drift, og at lokale topografiske tilhøve i kystsona er sterkt bestemmende for strømtilhøva, har vi forsøksvis valt å klassifisere oppdrettslokalitetane i tre hovedtypar:

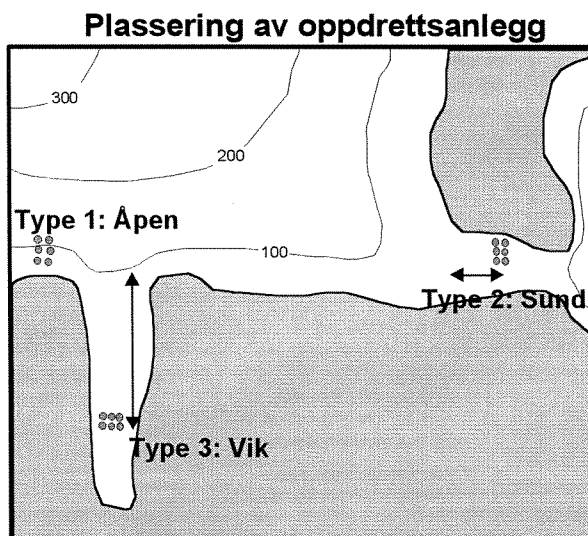
- 1: O, eit Ope område**
- 2: S, eit Sund**
- 3: V, ei Vik**

**Figur 1** syner eksempel på desse tre typane, som alle har sine pluss og minus-sider.

I byrjinga var dei fleste oppdrettsanlegg plassert skjerna for vér og vind langt inne i vikar og bukter (vår type ‘V’). Her er det både lett og billig å forankre anlegget, og der er gjerne liten bølgeeksponering. Grunt vatn, svak strøm og risiko for resuspensjon av sediment kan lett føre til dårlege miljø- og driftstilhøve der. Om lokaliteten i tillegg ligg i ein fjord/poll med grunn terskel, kan lokaliteten vere særskild dårleg eigna.

Strømforholda er ofte mykje betre i sund (type ‘S’), sidan topografiske innsnevringar fører til auka strømstyrke. Strømmen der pleier å vere regelmessig varierande. Strømretningen pleier å vere parallell med land og tidvatnet pleier å dominere med sin ca. 12,5 timars periode. Spesiell topografi kan imidlertid medføre bakevjer. Djupe, breie sund utan tersklar er oftast gode lokalitetar for fiskeoppdrett.

Dei opne lokalitetane (type ‘O’) er tatt meir i bruk dei siste åra. Her ligg oppdrettsanlegget opent med skrånande botn ut mot ein stor resipient. På grunn av dårlege forankringsforhold, store djup og eksponering for bølger og vind kan det her vere både dyrt og vanskeleg å plassere anlegga.



Figur 1. Forslag til kategorisering av oppdrettslokaliteter ut frå lokal topografi.

## 1.5 Metodar for analyse av tidsseriar

Det finnes mange forskjellige metodar for analyse av strømdata. Nokre av desse er i form av figurar, andre som tabellar. I programvaren til SD6000 strømmålarane (SD6000 versjon 1.0) er fleire av desse vanlegaste analysane inkludert. Tabell 1 syner eksempelvis fordeling av einskildmålingar av strømfart og retning som SD6000 programvaren bereknar. Berekningane er gjort for strømmålingane i Høylandssundet, Melkevik, i 3 m djup. Her får ein fram antall observasjonar i forskjellige fart og retningsintervall, og den prosentvise fordelinga framgår også.

Vanlege dataframstillingar inkluderer gjerne:

- Tidsseriar (X-Y plott) av strømfart, strømrretning og sjøens temperatur
- Strømroser for ymse fordelingar i retningssektorar
- Pilplott, der kvar enkelt strømmåling er gitt som ei "pil" langs ein horisontal akse
- Progressiv vektor plott der kvar strøm-observasjon addert vektorielt til foregåande observasjon.
- Søylediagram som viser antal observasjonar i gitte retningsintervall eller strømfartintervall
- Kumulativ fordeling med søyler som inneheld antal observasjonar i søylens intervall samt i alle lavere eller høgre intervall.

Meir avanserte tidserieanalyse kan vere:

- Harmonisk analyse som finn bidraget frå forskjellige tidevannskomponentar
- Spektralanalyse som finn energien på dei forskjellige frekvensane i ein tidsserie

**Tabell 1.** Fart og retningsfordeling berekna med SD6000 programvare, versjon 1.0 for strømdata frå Høylandssundet, Melkevik, i 3 m djup. Heile måleserien er framstilt i Fig. 7.

### CURRENT SPEED / DIRECTION MATRIX

File name: HØYLAND3.SD6

Ref. number: 203

Series number: 1

Interval time: 30 Minutes

Data displayed from: 11:59 - 30.Nov-94 To: 14:29 - 10.Jan-95

Number of measurements in data set: 1974

	1	3	4	5	6	8	10	15	25	50	75	100	Total flow (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	
15	2	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	562
30	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	158
45	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	223
60	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	61
75	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	130
90	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	101
105	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	216
120	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	180
135	7	8	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.9	518
150	15	34	9	9	4	16	15	43	57	13	0	0	10.9	44010
165	8	49	23	23	32	73	100	227	132	11	0	0	34.3	134521
180	24	51	12	13	8	7	7	6	2	0	0	0	6.6	8863
195	44	30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	1840
210	40	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1	1242
225	35	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.3	889
240	43	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	1066
255	26	22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2.5	1249
270	32	26	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3.1	1663
285	30	53	9	4	2	3	0	0	0	0	0	0	5.1	3791
300	11	34	23	9	18	22	8	1	0	0	0	0	6.4	9824
315	13	19	19	19	25	84	39	19	0	0	0	0	12.0	27140
330	0	11	3	3	3	7	1	0	0	0	0	0	1.4	2178
345	0	7	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	515
360	3	6	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0.7	810
Sum	18.8	21.4	5.2	4.3	4.9	10.8	8.6	15.0	9.7	1.2	0.0	0.0	100.0	



## 2. MÅLEMETODAR FOR STRØM

### 2.1 Instrument-typar og måleprinsipp

Av sjølvregistrerande instrument finst det to hovudtypar; akustiske- og rotorinstrument. Det finns også instrument som er basert på andre målemetodar. Dei akustiske instrumenta vert ikkje omhandla i denne rapporten. Det finst også fleire typar rotorinstrument, men alle fungerer etter dei same prinsippa. I dette kapittelet blir måleprinsippa til SD6000 strømmålarar forklart.

#### 2.1.1 SD 6000 strømmålar

Figur 2 viser ei skisse av ein SD6000 strømmålar. Det er strømmålarar av denne typen som Sunnhordland Havbruksring eig, og brukar til strømmåling. Strømfarten (strømstyrken) vert registrert ved hjelp av ein rotor som sit i underkant av instrumentet. Rotoromdreiningane vert registrert av loggeenheten i instrumentet ved hjelp av ei magnet montert på rotoren. Strømretningen blir registrert ved hjelp av det store roret og eit innebygd kompass som vert lest elektronisk. Målarane registrerer også sjøens temperatur.

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

Sensordata oppgir følgjande målenøyaktigheiter for sine instrument (Sensordata):

Temperatur:	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
Kompassretningen:	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.

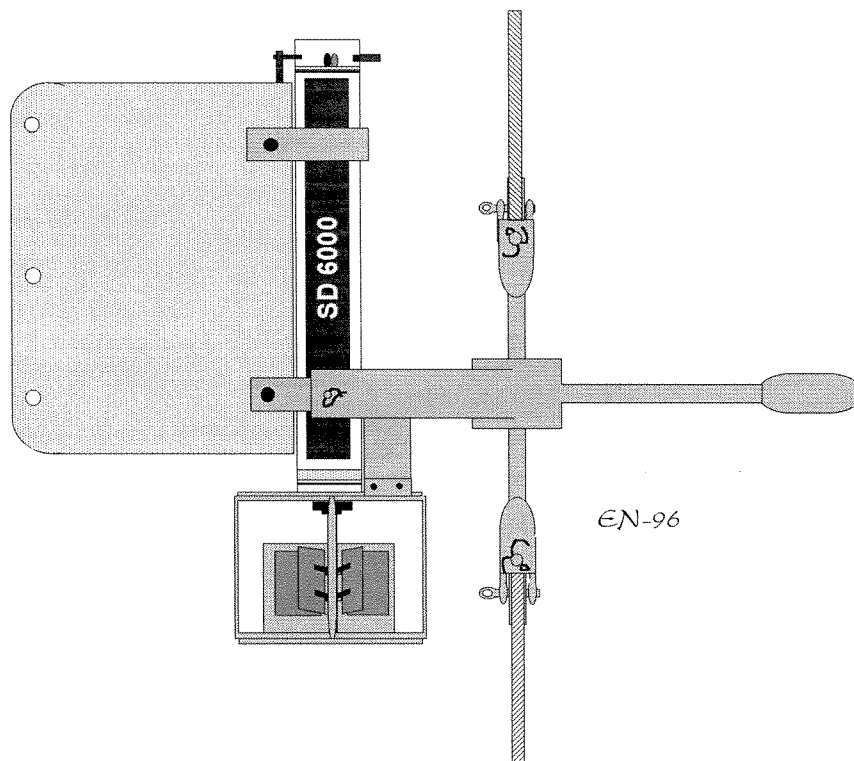
Den såkalla terskelverdien til instrumentet er 1,0 cm/s. Det vil sei at strøm svakare enn dette ikkje klarer å få rotoren i rørsle. Dette skuldast friksjon i rotoren samt at magneten på rotoren held den tilbake. I SD6000 målarer blir denne nullregistreringa lagra som 1,0 cm/s.

#### 2.1.2 Vektormidling av strømdata

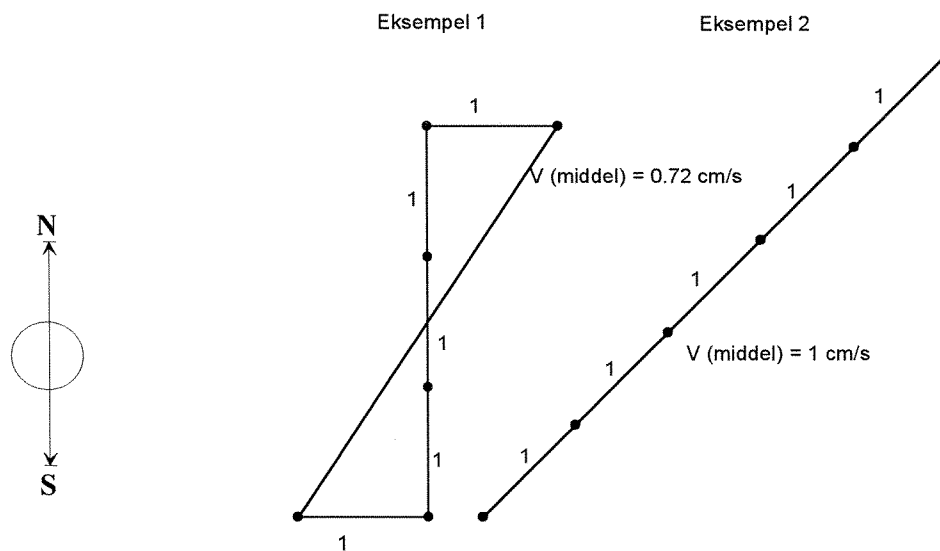
SD6000 målarer er eit såkalla vektormidlande instrument. Farten vert vektormidla over måleintervallet, ved å registrere antal rotoromdreiningar og rorets kompass retning fleire gonger i eit måleinterval. Temperaturen er ein øyeblikksverdi målt på slutten av måleintervallet.

Figur 3 illustrerer vektormidlinga i ein SD6000 strømmålar. Fart og retning vert registrert fleire gonger i eit måleinterval som ei delsampling. Om rotoren ikkje har rotert, vert farten satt lik 1 cm/s for denne delsamplinga. Har rotoren derimot rotert vert farten berekna internt i instrumentet på grunnlag av antal rotoromdreiningar. Strømmålarens retningsorientering vert også avlest og lagra for kvar delsampling.

Figur 3 syner at det er mogleg å registrere fart lavere enn terskelverdien i eit måleinterval. Dette kan skje om det er svak strøm med varierende retning. I prinsippet kan også sterk strøm føre til at strømmålaren måler ein fart lavere 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, men ein mulighet.



Figur 2. Skisse av ein SD6000 strømmålar.



Figur 3. Eksempel på automatisk vektormidling av strømdata i ein SD6000 strømmålar. Vektormidlinga er illustrert ved hjelp av 6 delsamplingar i ein måleperiode. Det er vist 2 eksempel, i begge tilfelle der rotoren har stått stille heile tida, dvs. at farten er blitt satt lik 1,0 cm/s. I eksempel 1 har strømmålaren snudd seg to gonger i løpet av måleintervallet, mens den har vore heilt i ro (konstant retning, null fart) i eksempel 2.

### 2.1.3 Feilkjelder

Ein SD6000 strømmålar eignar seg godt til strømmåling på lokalitetar der strømsstyrken er større enn terskelverdien (1,0 cm/s). På lokalitetar der strømsstyrken ligg nær (og ofte i lange periodar er lavere enn) terskelverdien, skal ein vere forsiktig med å trekke eksakte konklusjonar ut av datamaterialet. På slike lokalitetar vil gjerne middel strømfart ligge litt i overkant av 1 cm/s. Strømmålaren vil gjerne stå med same ror-orientering i lange periodar, dvs. med den orienteringa strømmålaren hadde sist strømsstyrken var sterk nok til å dreie instrumentet. Desse periodane med fart satt lik 1 cm/s og konstant retning vil gjerne dominere i berekningane av middelfartar og resultere i eit overestimat av middel strømfart. I slike tilfelle bør ein vurdere retningen til strømmen i dei periodane det ikkje er strømsstille.

## 2.2 Instrumenttest

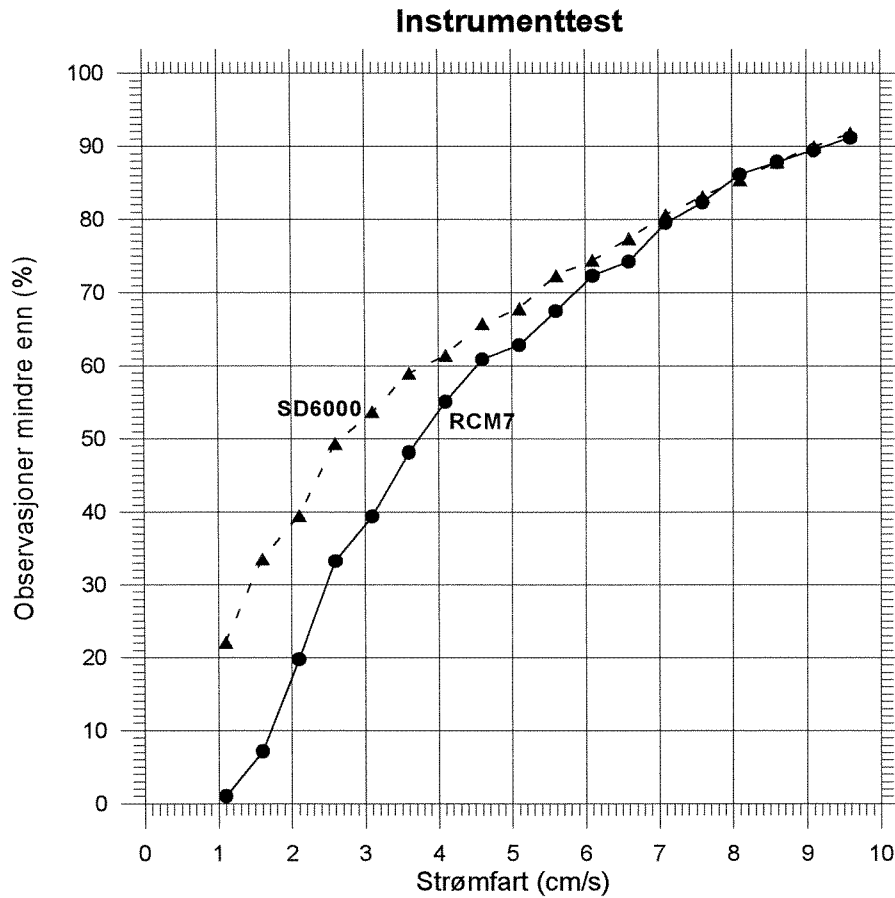
Som del av prosjektet vart resultatane frå ein Aanderaa Instruments RCM7 strømmålar samanlikna med resultatane frå ein SD6000 strømmålar som hadde målt på same stad og djup over same tid. RCM7 er også eit rotorinstrument med litt anna design enn SD6000. Vi gjorde også forsøk med ein akustisk (ultralyd) strømmålar, men her fekk vi ikkje måledata ut. Instrumenta hang med få meters mellomrom i same djup. **Tabell 2** viser statistikk frå denne instrumenttesten. RCM7 strømmålaren ga 19 % høgare middelfart enn SD6000 strømmålaren.

**Tabell 2.** Statistikk frå instrumentsamanlikning mellom SD6000 og RCM7.

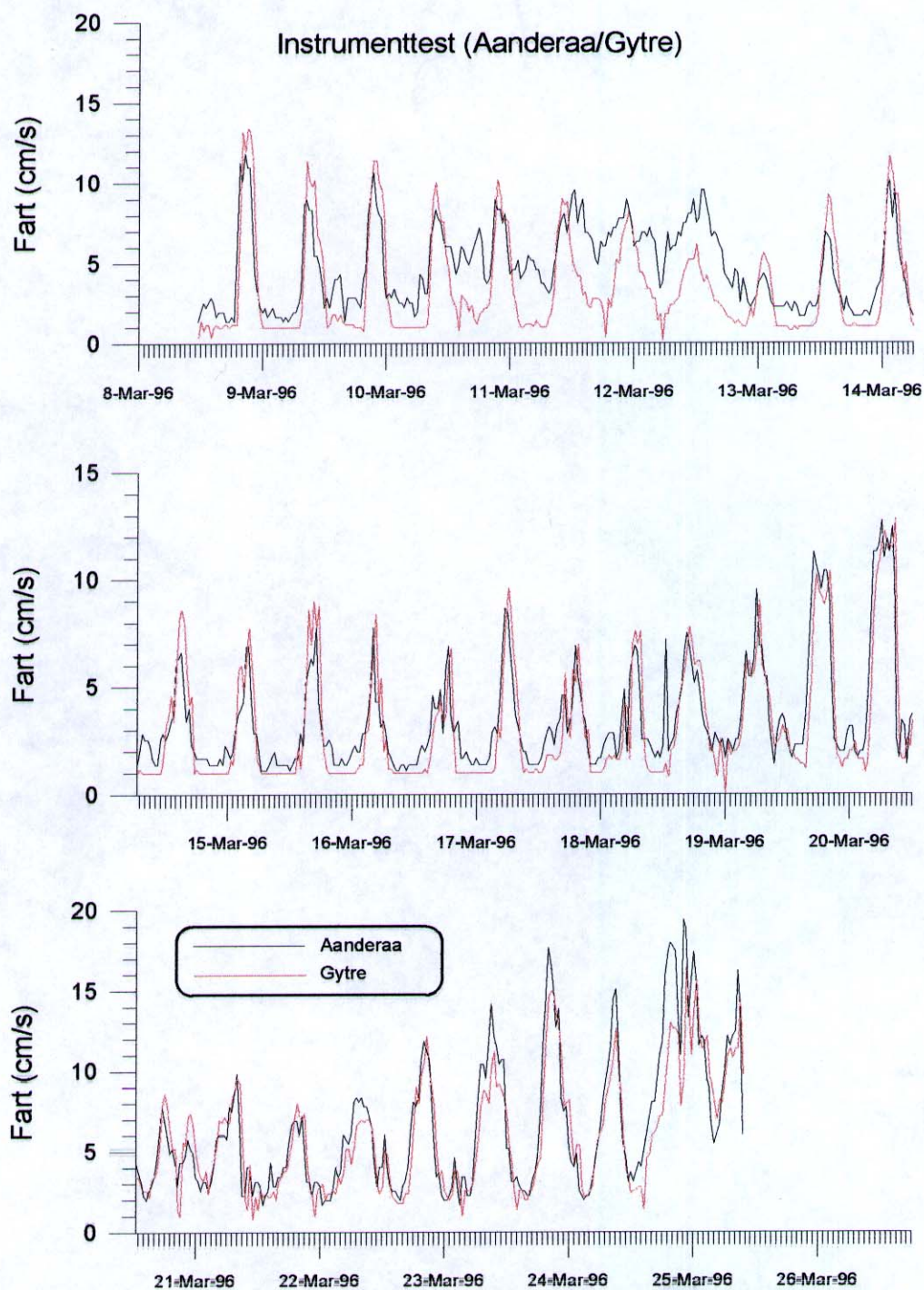
Instrument	Middelfart (cm/s)	Maksimalfart (cm/s)
RCM7	4,83	19,41
SD6000	4,08	16,40

**Figur 4** syner at SD6000 strømmålaren var mindre følsam for lav (ned mot 1,0 cm/s) strømfart enn RCM7 strømmålaren. RCM7 hadde rundt 1 % av registreringane under terskelverdien, mens SD6000 strømmålaren hadde over 20 %. **Figur 5** syner at SD6000 målareren systematisk registrerte lavere strøm enn RCM7 målareren, spesielt i periodar med middels til svak strøm.

I dei periodane RCM7 målareren registrerte strøm under 2 cm/s, registrerte SD6000 målareren nesten alltid 1,0 cm/s. Dette kan tyde på at terskelverdien for SD6000 målareren er nærmare 2 cm/s enn 1 cm/s. Også Braaten et al. (1992) antyder ein terskelverdi på 2 cm/s for SD6000 strømmålaren.



**Figur 4.** Prosentvis fordeling av strømfartobservasjonane frå instrumenttest mellom RCM7 og SD6000 strømmålarar. Merk at SD6000 hadde vesentleg større andel av registreringar under 1 cm/s (terskelverdien) enn RCM7. For strøm svakare enn 7-8 cm/s synte SD6000 systematisk større andel av svak strøm.

**Figur 5.**

Strømfartobservasjonane frå instrumentsamanlikning mellom RCM7 og SD6000 ("Gytte") strømmålarar. SD6000 ga som oftast lågare verdiar enn RCM7, og hadde vesentleg større innslag av svakstrømsperiodar.

## 3. VARIGHETSANALYSEN

### 3.1 Generelt om tidsseriar

Fysiske prosessar i naturen er variable, og opptrer vanlegvis kontinuerleg i tid. Variasjonane (prosessen) kan vere langsame eller hurtige. I ein generell likevekts-situasjon vil variasjonane ligge rundt ein fast middelveirdi. Over kortare tidsrom kan imidlertid tidsserien oppfatta som å ha ein viss trend. Dette kan gjelde seriar av synlege svingingar (som vi i utgangspunktet er interessert i å måle) som er superponert på ei bølge med mykje lenger periode enn vår måleserie (f.eks. årsvariasjon).

Mennesket vil sjølv kunne oppfatte variasjonar over eit vidt spekter, frå frekvens rundt 1/s til 1/10<sup>9</sup>s (1/30 år). For å kunne danne oss eit bilde av meir langperiodiske svingingar ( $T > 10^9$  s) må vi kombinere eigen erfaring eller oppfatning med historiske kjelder. For å kunne analysere hurtige variasjonar (f.eks. svingingar i elektriske kretsar) må vi ty til hjelpemiddel (oscilloskop, grafisk presentasjon) som komplementerer våre vanlege sansar.

Oppfatning av variasjonar vil i utgangspunktet vere subjektive, f.eks. basert på visuell oppfatning eller "minne". Moderne måleinstrument med tilhøyrande dataminne er i stand til å registrere variasjonar på ein meir objektiv måte enn mennesket. Felles for dei fleste måleinstrument er at dei måler med gitt, fast tidsintervall. Måleserien gjengir ikkje den reelle prosessen fullt ut, men er ei tilnærma avbilding av denne.

Det finns mange metodar for analyse av tidsseriar, og ei rad bøker omhandlar emnet. V.h.j.a. avanserte metodar kan ein finne variasjonsfordeling i høve til ulike frekvensar (energisppektrum/periodogram). Metoden gir innblikk i eventuell periodisitet i serien (f.eks. tidevatn), og er nyttig ved vurdering av f.eks. mekanisk stress. Kraftige og regelmessig repeterande signal vil ha høg verdi i spekteret, og motsett for svake, langsomt varierende signal.

### 3.2 Litt formalisme for varighetsanalysen

Foreliggende rapport omhandlar ein ny form for analyse ("Varighetsanalyse") av tidsseriar som antas registrert v.h.j.a. moderne måleinstrument. Tidsserien kan f.eks. vere registrering av strøm eller temperatur i sjøen med faste tidsintervall. Gode og representative målingar, og ikkje minst gode objektive analysemetodar er viktige for å kunne bedømme strømforholda. Varighetsanalyser supplerer andre metodar. Den er ulik spektralanalysen, som vektlegg periodisitet av fenomen, samt fenomenets styrke (amplitude). Varighetsanalysen vektlegg varighet av - og antall periodar - av gitte fenomen, f.eks. periodar med temperatur under frysepunktet, eller med strøm under 3 cm/s.

Anta ein tidsserie  $X(t)$  av eit fysisk fenomen, f.eks. strømstyrke med  $n$  målepunkt i alt,

$$X(t) = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n = x(t_1), x(t_2), x(t_3), \dots, x(t_n)$$

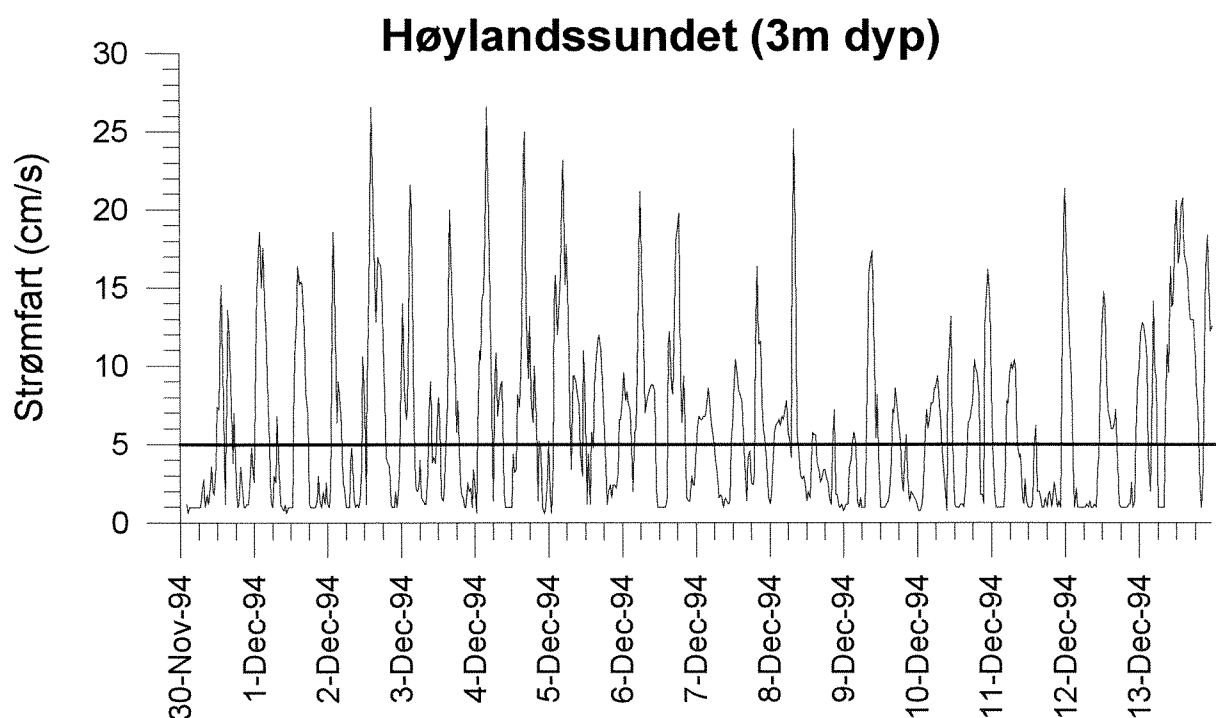
Vi antar at serien i tilstrekkeleg grad avbildar den reelle prosess eller parameter som er målt, og som vi ønskjer vidare analysert. Dette inneber at måleintervallet er tilstrekkeleg kort til å oppfange interessante hurtige svingingar, og at seriens totale lengde er tilstrekkeleg til å kunne gjengi interessante lange periodar. Dersom det dreier seg om regelmessig repeterande fenomen, kan desse to krava formaliserast (sjå nedanfor).

Tidsserien har total lengde eller varighet lik  $\tau$  med konstant tidsintervall  $\Delta$  mellom målepunkt:

$$x(t_i) = x((i-1)*\Delta).$$

Tidsseriens totale varighet  $\tau = (n-1)*\Delta$ .

Ved vanleg spektralanalyse antar ein periodisitet over eit vidt spekter av frekvensar, mellom  $1/2\tau$  og  $1/2\Delta$ . I foreliggende metode er kravet til periodisitet ikkje vektlagt. Den går i staden ut på å finne antall periodar i serien der strømsstyrken vedvarande er lavere enn (eller evt. overskrid) ein valt verdi  $V_j$ . Dette kan være nyttig i samband med vurdering av opphaldstid for sjukt i fjordar, eller for forekomst av kritiske periodar for gjennomstrøyming i oppdrettsanlegg. Avhengig av valt  $V_j$ , vil der kunne vere mange eller få periodar. **Figur 6** viser eit eksempel på strømsserie og valt  $V_j = 5$  cm/s.



**Figur 6.** Eksempel på tidsserie av målt strømsstyrke, Melkevika i Høylandssundet, med innlagt testverdi  $V_j=5$  cm/s.

Det samla *Antalet* periodar i seg sjølv er nødvendig, men ikkje tilstrekkeleg opplysning. Det er samtidig viktig å vite lengde (*varighet*) av periodane. Det kan dreie seg om alt frå korte til tildels lange periodar, avhengig av valt  $V_j$ , og av seriens karakteristikk. Mange korte periodar med sterk strøm innimellom kan vere mindre kritisk enn få, men lange periodar. Minste mulege periode er  $\Delta$ . Neste er  $2*\Delta$ , osv.

For gitt  $V_j$  får vi ein tilhøyrande varighetsvektor  $T_j(k)$  med  $k$  element beståande av antall periodar  $N_k$  av gitt varighet:

$$T(N_k) = (N_1*\Delta, N_2*2\Delta, N_3*3\Delta, N_4*4\Delta, \dots, N_k*k\Delta).$$

$k$  = eit valt heiltall  $\leq n-1$ , som gir  $k$  maksimalt lik  $(n-1)=\tau/\Delta$ . d.v.s.  $k_{\max}*\Delta = \tau$ .

Ved suksessivt å scanne tidsserien  $X$  med varierende  $V_j$ ,  $j=1,2,3,\dots,m$ , (f.eks. 2 cm/s, 3 cm/s, 4 cm/s, 5 cm/s, 6 cm/s..., får ein som resultat ei *varighetsmatrise*  $N$  med element beståande av periodeantal. Matrisa har  $m$  rekker og  $k$  linjer, slik at kolonnane for det aktuelle eksempelet representerer strømstyrker  $V_j$ , og rekkene (linjene) periodelengder  $T_k$ .

### 3.3 Målingar kontra kontinuerlege seriar

Som tidlegare nemnt, vil ein måleserie kun gjengi den aktuelle målte prosess tilnærma. Dess kortare måleintervall  $\Delta$ , dess betre gjengjeving, forutsatt at ein ikkje har interferens og måleunøyaktigheiter.

For å illustrere metoden varighetsanalyse, vil vi anvende den på seriar  $X(t)$  med enkel matematisk framstilling, h.h.v. sinus-funksjon og sagtann-funksjon. Vi genererer ut frå desse "måleseriar" i diskrete punkt  $\Delta$ ,  $2\Delta$ ,  $3\Delta$  etc. Resultatet av analysen vil lett la seg jamføre med sjølve serien. Resultata vil vidare kunne illustrere forskjellar mellom tids-diskret kontra kontinuerleg serie.

For sistnemnde type kan varighetsanalysen anvendast analytisk. Periodane framkjem nemleg som differansar mellom suksessive nullpunkts-løysingar for funksjonen  $X(t)$ :

1. Finn alle  $t_i$  som tilfredsstiller  $X(t) - V_j = 0$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ .
2. Beregn periodane for gitt  $V_j$  som er  $t_{i+1} - t_i$ ,  $t_{i+2} - t_{i+1}$  etc.

#### 3.3.1 Sinus-serie

##### Målingar med tidsintervall

Måling av sinus-variasjon over 10 periodar:

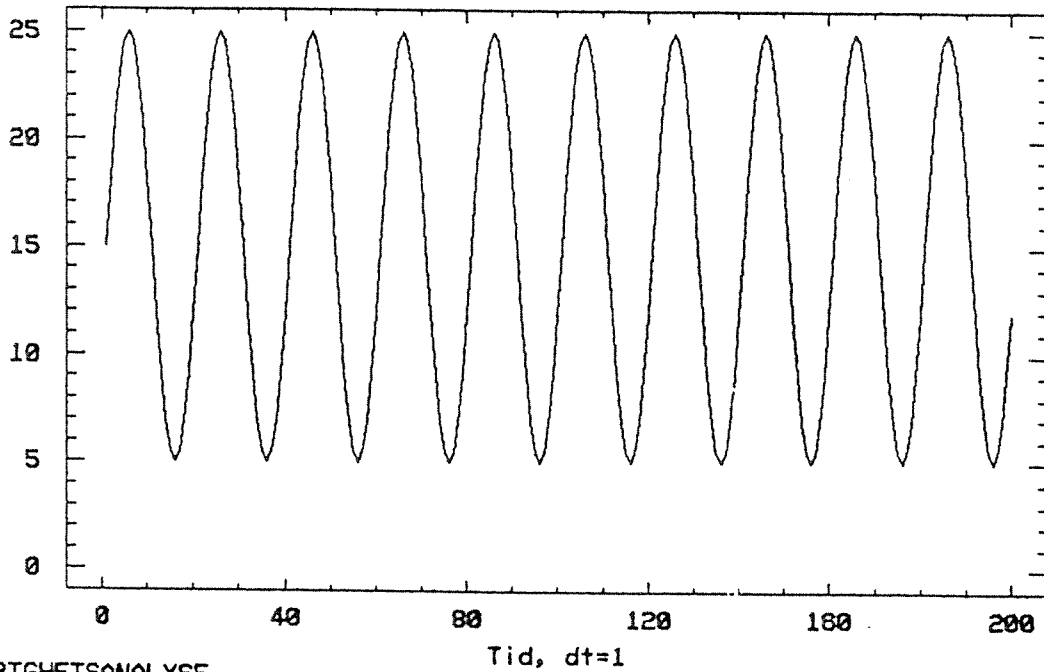
$$X(t) = A_0 + A \sin \Omega t, \quad A_0 = 15, \quad A = 10, \quad \Omega = 2\pi/20\Delta$$

$t = \Delta, 2\Delta, 3\Delta, \dots, 200\Delta (= \tau)$ . **Figur 7** viser resultat av den konstruerte "måleserien", som på grunn av tidsintervalla ikkje gjengir ein heilt glatt eller kontinuerleg kurve.

Resultat av varighetsanalyse for denne serien er framstilt i **Tabell 3**, utheva verdiar. Periodane fordeler seg stort sett langs diagonalen i matrisa. Det framgår at lengste vedvarande periode er  $17\Delta$ , som er litt mindre enn periodelengde for den kontinuerlege sinus-svinginga målingane avbildar (Fig. 3). Sidan lågaste verdi er 5, finn vi først periodeantall ved testverdiar  $V_j$  over 5, i det konkrete tilfellet for  $V_j = 6, 9, 12$  t.o.m. 24. For  $V_j = 27$  ligg naturleg nok heile serien under, d.v.s kun 1 periode, med lengde  $\tau$  lik heile seriens varighet.

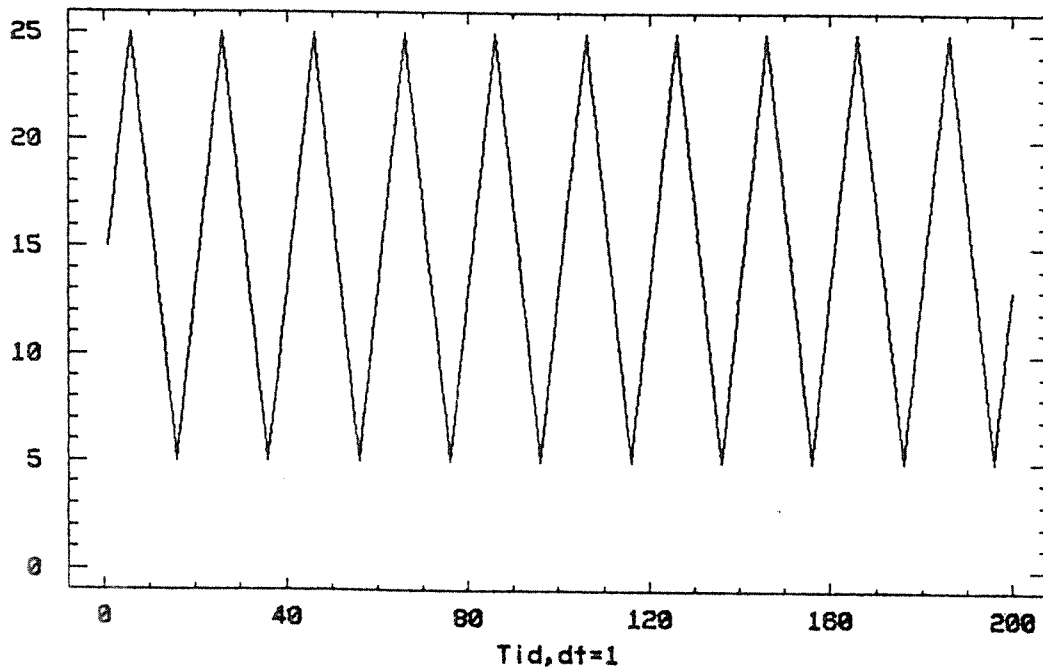


SINUS-funksjon  
Ampi=10, Mean=15, omega=1/20



VARIGHETSANALYSE

Sagtannfunksjon  
ampi=10, mean = 15, omega = 1/20



Figur 7. Sinus-variasjon. Serien er framstilt i form av diskrete punkt (20 pkt. pr periode), 10 periodar i alt ( $\tau=200\Delta$ ). Serien varierer mellom  $X=5$  og  $X=25$ .

**Tabell 3.** Varighetsanalyse (støm under gitte grenser) for sinus-serie med 200 punkt (**Figur 7**).  
Tall i parentes representerer teoretiske verdier, basert på analytiske nullpunktsløsninger.

$V_i$ ®	.0	3	6	9	12	15.	18	21	24	27
$\Delta>$	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
$2\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0	0
$3\Delta>$	0	0	<b>10</b>	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0
$4\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0
$5\Delta>$	0	0	0	<b>10</b>	0	0	0	0	0	0
$6\Delta>$	0	0	0	(10)	0	0	0	0	0	0
$7\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$8\Delta>$	0	0	0	0	(10)	0	0	0	0	0
$9\Delta>$	0	0	0	0	<b>10</b>	0	0	0	0	0
$10\Delta>$	0	0	0	0	0	(10)	0	0	0	0
$11\Delta>$	0	0	0	0	0	<b>10</b>	<b>10</b>	0	0	0
$12\Delta>$	0	0	0	0	0	0	(10)	(1)	0	0
$13\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0
$14\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	(9)	<b>1</b>	0
$15\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	<b>9</b>	0	0
$16\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$17\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>9</b>	0
$18\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$19\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$20\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$21\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$22\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$23\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$24\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$25\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
(Tid)										
<b>Sum:</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>1</b>

### Kontinuerleg serie

For den kontinuerlege serien  $X(t) = A_0 + A \sin(\Omega t)$  ( $A_0$ ,  $A$  og  $\Omega$  gitt i foregåande avsnitt) kan vi finne nullpunkt ( $t_i$ -verdiar) for suksessive verdiar  $X = V_1, V_2 \dots V_n$ :

$$X(t_{ij}) - V_j = 0,$$

$$t_{ij} = \text{Arcsin}((V_j - A_0)/A)/\Omega.$$

I vårt tilfelle er  $V_1=0, V_2=3, V_3=6$  etc. Dei eksakt berekna periodelengdene er:

$V_i$ (®)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
Hoved- $T_i$ .	-	-	2.88	5.92	8.06	10	11.94	14.08	17.12	200
$T_i$ v/ start	-	-	-	-	-	0	.97	2.04	3.56	-

Desse verdiane er i parentes satt på plass for næraste heiltals periode i Tabell 3, der det er avvik mellom varighetsanalysen og teoretiske verdiar. Det er relativt godt samsvar mellom tall-setta. For  $V_i$  mellom 9 og 21 er det nokre mindre vertikalforskyvingar innan kolonnen, men hovedstrukturen med diagonalfordeling er lik for begge framstillingane.

### 3.3.2 Sagtann-serie

Ein sagtann-forma tidsserie kan likne meir på ein reell måleserie for strøm, i det den har meir raske endringar, og kortvarige max. eller minimumsverdiar. Figur 7 syner også ein konstruert tidsserie med sagtann-form. Tabell 4 syner resultat for varighetsanalysen for ein slik serie.

## 3.4 Eksempel på praktisk bruk

Døma ovanfor var basert på konstruerte tidsseriar som ein i beste fall berre finn svake avspeglingar av i faktiske strømseriar. Varighetsanalysen kan anvendast på reelle måleseriar og på mange måtar. Vi har tatt utgangspunkt i ein måleserie frå Melkevika i Høylandssundet som også er omtala seinare i rapporten.

Med basis i det foregåande har vi foretatt ein varighetsanalyse på den reelle serien for å finne periodar med strøm vedvarande under gitte grenser. Tabell 5 viser resultatet. Likskapen med foregåande resultat (Tabell 3 og 4) framtrer forhåpentlegvis klart, sjølv om einingane og grenseverdiane er forskjellige. For den aktuelle måleserien var måleintervallet ( $\Delta$ ) lik 30 minuttar.

Av Tabell 5 framgår det at det var mange kortvarige periodar med svak strøm (under 1,1, 1,5 og 2,0 cm/s), men det var ingen spesielt lange periodar med svak strøm. Lengste periode med strøm vedvarande under 1,1 cm/s varte i 330 minutt (5,5 timar) og det var 2 slike periodar. For 1,5 cm/s var lengste periode 570 minutt (9,5 timar, 2 periodar), og for 2,0 cm/s auka lengste periodelengden til 600 minutt (10 timar). Etter kvart som ein høgnar grenseverdien, aukar periodelengdene. dette vil ein oppleve for alle seriar. Det er klart at ein her har ein reiskap som kan koplust opp mot t.d. modell for berekning av oksygenreduksjon og maksimalt tilrådeleg biomasse.

**Tabell 4.** Resultat av varighetsanalyse (strøm under gitte grenser) for konstruert tidsserie med sagtann form.

$V_j$	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
$\Delta>$	0	0	<b>10</b>	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0
$2\Delta>$	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0
$3\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$4\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0
$5\Delta>$	0	0	0	<b>10</b>	0	0	0	0	<b>1</b>	0
$6\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$7\Delta>$	0	0	0	0	<b>10</b>	0	0	0	0	0
$8\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$9\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$10\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$11\Delta>$	0	0	0	0	0	<b>10</b>	0	0	0	0
$12\Delta>$	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	0
$13\Delta>$	0	0	0	0	0	0	<b>9</b>	0	0	0
$14\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0
$15\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0
$16\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$17\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	<b>9</b>	0	0
$18\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$19\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>9</b>	0
$20\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$21\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$22\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$23\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$24\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$25\Delta>$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
(Tid)										
<b>Sum:</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>1</b>

**Figur 8** syner eit anna eksempel. Her er målingane frå kvar kolonne i matrisa (**Tabell 5**) midla slik at ein får gjennomsnittleg varighet av periodar med strømfart under gitte grenser. I figur 8 er desse verdiane framstilt skravert. Tilsvarende har vi funne middelveidi for periodar der strømmen ligg over dei gjevne grensene (kvite felt i figur 8).

For å finne sistnemnde middelveidiar treng ein eigentleg ikkje anvende varighetsanalysen direkte, sidan middelperiode over og under ei gjeven grense er tilnærma komplementære storleikar (avvik berre med  $\pm 1/N$ , der N er totalt antall periodar i kolonnen). Dersom ein skal finne fordeling av varighet av einskildperiodar, må ein imidlertid anvende varighetsanalysen på nytt, med opsjon “over gitt strømværdi”.

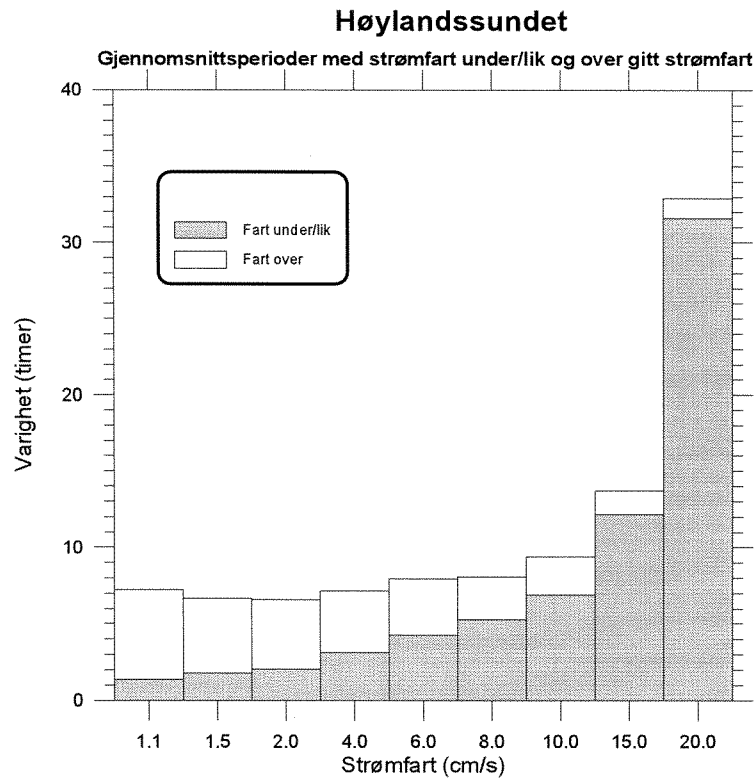
**Figur 9** syner eit tredje eksempel for måleserien for strømreretning frå Melkevika. Det er her fokusert på strømreretningen i staden for strømsstyrken, og ein har funne middelerdiar for varighet av periodane der strømmen vedvarande låg h.h.v. innafor og utanfor gjevne retningssektorar (X-aksen). Lengste registrerte periode innafor gjeven sektor er også framstilt.

Den lengste perioden kan vere ein viktig parameter i samband med vurdering av t.d. smittespreiing, og spreining av forureining frå eller til eit anlegg. Figuren syner også middelerdi for strømfart i sektorane. Dette er det same som ein finn i dei vanlege "strømsrosene".

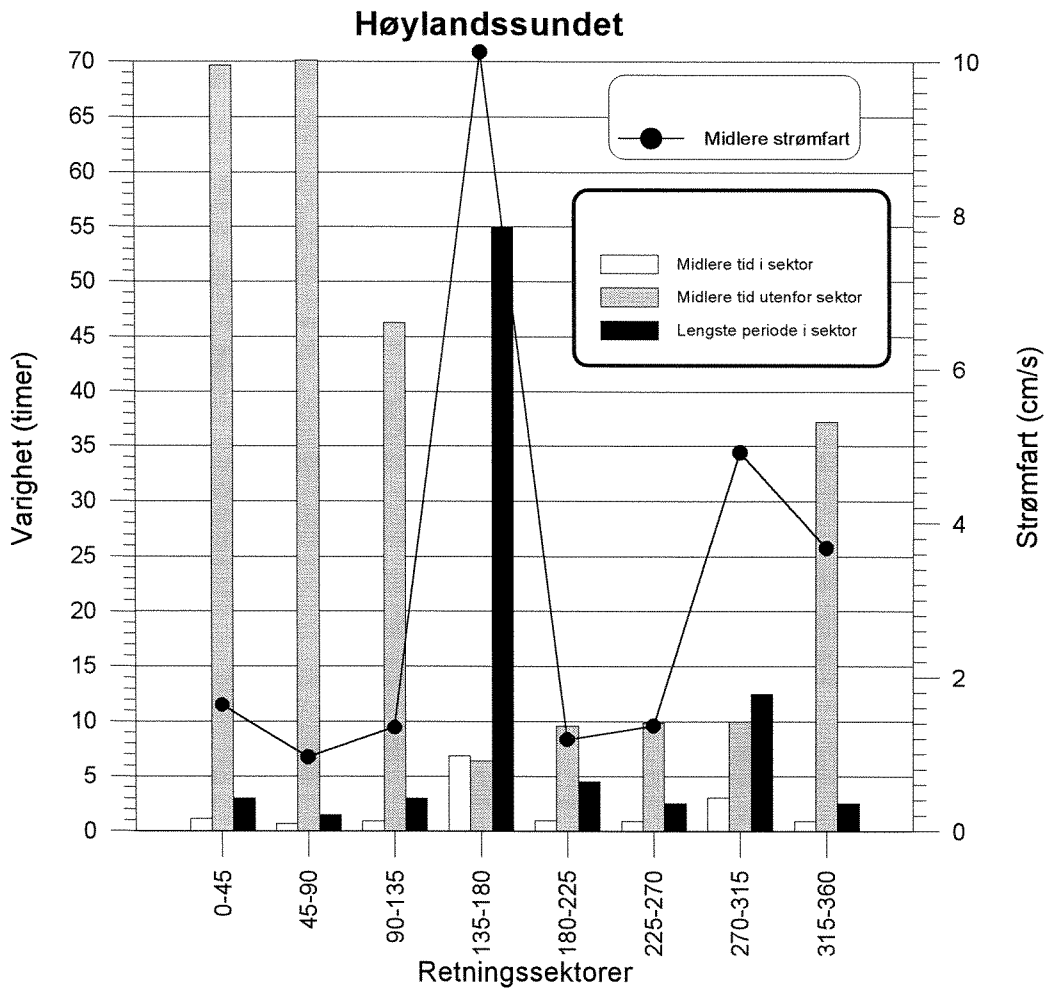
Kombinasjonen lang periode og høg middelfart i same sektor vil naturleg nok gje seg utslag i høg vasstransport i denne retningen, slik strømsrosene også vanlegvis avdekkjer.

**Tabell 5.** Varighetsmatrise for strømmålingane gjort i Melkevika i Høylandssundet . Måleserien er synt i Fig. 7. Måleintervallet var 30 minuttar. Analysen gjeld strøm under gjevne grenser.

Min	Periodar med strøm ≤ gitt fart												Fart (cm/s)
	*1.1*	*1.5*	*2.*	*4.*	*6.*	*8.*	*10*	*15*	*20*	*25*	*30*	*35*	
30	58	56	46	28	19	21	15	4	5	0	0	0	
60	24	21	24	13	12	14	9	8	2	0	0	0	
90	16	18	18	16	12	8	10	8	0	1	0	0	
120	10	8	11	7	7	6	2	2	0	0	0	0	
150	12	11	10	10	6	5	4	2	0	0	0	0	
180	7	10	10	11	4	6	5	2	3	1	0	0	
210	5	11	11	5	6	6	2	2	0	0	0	0	
240	0	5	6	15	3	1	4	0	0	0	0	0	
270	2	2	2	6	10	3	2	2	0	0	0	0	
300	0	1	3	5	5	2	0	0	1	0	0	0	
330	2	0	1	2	6	4	1	1	0	0	0	0	
360	0	0	0	4	2	4	6	0	2	0	0	0	
390	0	1	2	1	6	1	3	0	0	1	0	0	
420	0	2	1	0	0	4	2	1	0	0	1	0	
450	0	0	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0	
480	0	0	0	3	4	8	3	1	0	0	0	0	
510	0	0	0	1	3	1	3	0	0	1	0	0	
540	0	0	1	2	2	3	2	2	0	0	0	0	
570	0	2	0	1	2	1	0	5	0	0	0	0	
600	0	0	2	2	5	2	4	1	0	0	0	0	
630	0	0	0	3	2	4	3	2	0	0	0	0	
660	0	0	0	0	1	3	4	5	2	0	0	0	
690	0	0	0	0	0	0	2	4	4	1	0	0	
720	0	0	0	0	1	2	2	2	1	1	1	0	
750	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
810	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
870	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
930	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	
960	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	
990	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
1020	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
1050	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
1080	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
1110	0	0	0	0	1	3	8	17	10	6	3	1	
<b>Sum</b>	<b>136</b>	<b>148</b>	<b>150</b>	<b>138</b>	<b>124</b>	<b>122</b>	<b>105</b>	<b>72</b>	<b>30</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	



**Figur 8.** Eksempel på resultat av varighetsanalyse som syner lengd av middel-periodar med strøm under (skravert) og over (blank) gitte grenser. Figuren er basert på summering og midling av kolonnene i Tabell 5. Strømserien frå Melkevika er nytta.



**Figur 9**

Eksempel på resultat av varighetsanalyse som syner middleverdi og maks-verdi for varighet av perioder med strøm vedvarande innfor gjevne retningssektorar. Middleverdi for strømffart i sektorane er også framstilt i figuren. Målingane frå Melkevika er nytta.

## 4. STRØMDATA FRÅ LOKALITETANE I SUNNHORDLAND

Strømdata frå i alt 38 lokalitetar i Sunnhordland er gjennomgått. **Figur 10** viser ett kart over Sunnhordland der lokalitetane for strømmålingane er innteikna. **Tabell 5** gir ein oversikt over strømdata, med hensyn på lokalitet, djup ved lokalitet, måledjup, posisjon, måleperiode samt eit nummer for kvar serie (dette kan nyttast til å finne lokalitetane i Figur 10).

I alt er 54 tidsseriar med strømdata gjennomgått. Data er frå perioden 1992 til 1995. Strømmålarane var satt ut i eksisterande forankringar slik at ein i minst mogleg grad var i lé av anlegget. Nokre av måleseriane var heilt eller delvis øydelagt grunna batterisvikt og begroing. Då er måleseriane kun analysert fram til tidspunktet for svikt.

**Tabell 5.** Oversikt over strømmålingane. Det er opplysningar om stad, lokalitet, botndjup, måledjup, posisjon (breiddegrad, lengdegrad frå sjøkart), måleperiode og lokalitet nummer.

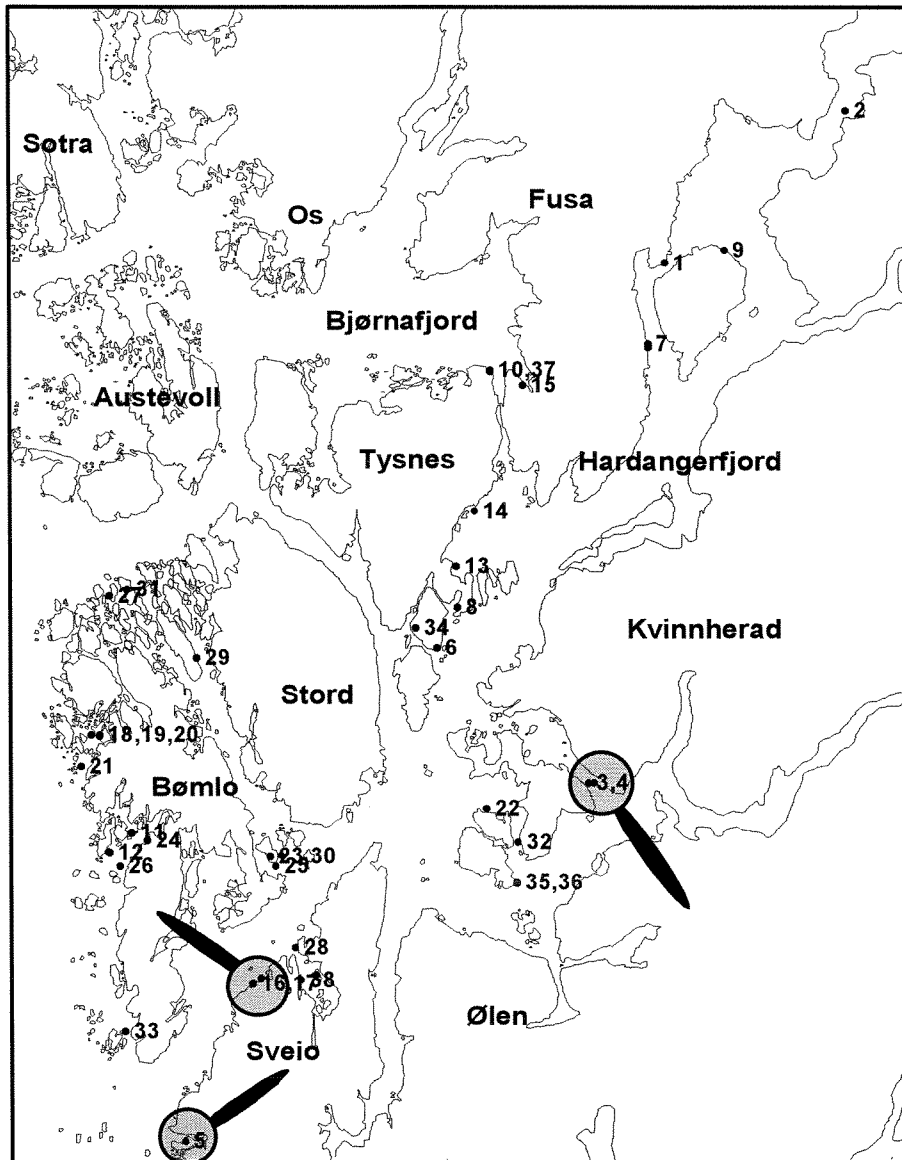
Stad	Lokalitet	Djup (m)	Måledjup (m)	Breiddegrad	Lengdegrad	Måleperiode	Lokalitet nummer
Bondesundet	Kraaka	50	6	60 09.25 N	05 56.78 E	19/1-10/3-95	1
Jondal	Saltkjelen	80	10	60 15.90 N	06 12.40 E	19/12-16/2-95	2
Høylandssundet	Melkevik	80	3	59 46.53 N	05 50.00 E	30/11-10/1-95	3
"	"	"	10	"	"	"	4
Mølstrevåg	Søre Bratthl. (1)	30	5	59 30.90 N	05 14.95 E	18/10-4/11-94	5
"	" (2)	"	5	"	"	4/11-23/11-94	"
Sør Skorpo	Laukhamarsundet	60	5	59 52.40 N	05 36.95 E	18/8-5/10-95	6
"	"	"	40	"	"	5/10-20/10-95	"
Øynefjorden	Grønevik	50	6	60 05.70 N	05 55.30 E	28/6-12/7-94	7
"	"	"	"	"	"	12/7-26/7-94	"
"	"	"	"	60 05.55 N	05 55.30 E	29/7-23/8-94	"
Onarheim	Flornes	60	5	59 54.18 N	05 38.70 E	6/4-15/6-95	8
Varaldsøy	Varakjelen	50	1	60 09.80 N	06 01.90 E	20/5-28/6-94	9
"	"	"	6	"	"	20/5-28/6-94	"
"	"	"	1	"	"	15/7-22/7-94	"
"	"	"	6	"	"	15/7-10/8-94	"
Lukksundet	Solsvik	50	4	60 04.56 N	05 41.60 E	14/6-21/6-94	10
Hiskosen	Fjærebleika	80	5	59 44.38 N	05 10.45 E	21/8-18/9-92	11
"	Hiskholmen	"	"	59 43.50 N	05 08.55 E	18/9-6/10-92	12
Onarheimsfjorden	Kloholmen	70	5	59 55.97 N	05 38.60 E	17/6-17/7-92	13
"	Vatterøy	"	"	59 58.38 N	05 40.20 E	17/7-10/9-92	14
Bjørnafjorden	Nedrevågen	90	5	60 03.88 N	05 44.42 E	6/10-20/10-92	15
Tjernagel	Laksaklubben	40	5	59 37.80 N	05 20.85 E	15/9-20/10-92	16
"	Liaskjæret	35	2	59 38.02 N	05 21.55 E	11/11-7/1-93	17
Øklandsosen	Åsholmen nord	55	4	59 48.62 N	05 07.70 E	11/11-25/11-92	18
"	Åsholmen sør	"	4	59 48.58 N	05 07.70 E	25/11-8/12-92	19
"	"	"	50	"	"	8/12-15/12-92	"



Tabell fortsetter

Stad	Lokalitet	Djup (m)	Måle-djup (m)	Breidde-grad	Lengde-grad	Måleperiode	Lokalitet nummer
"	Hillesøy	55	6	59 48.62 N	05 06.95 E	15/12-30/12-92	20
"	"	"	50	"	"	30/12-29/1-92	"
Nesosen	Store Krossholm.	70	6	59 47.25 N	05 06.05 E	1/2-22/2-93	21
"	"	"	45	"	"	22/2-26/3-93	"
Fjellbergøy	Grytneset	30	5	59 45.42 N	05 41.18 E	8/3-29/3-93	22
Spysøy	Bleiko	29	25	59 43.33 N	05 22.40 E	21/6-7/7-93	23
Hiskosen	Selvågneset	40	5	59 44.04 N	05 11.78 E	27/5-7/6-93	24
"	"	"	38	"	"	7/6-7/7-93	"
Moster	Langaneset	25	21	59 42.92 N	05 22.90 E	16/7-19/8-93	25
Hiskosen	Lyklingholmane	50	6	59 42.92 N	05 09.42 E	22/7-4/8-93	26
"	"	"	50	"	"	5/8-20/8-93	"
Fitjar	Urdøy	80	5	59 54.67 N	05 08.60 E	7/9-18/10-93	27
Auklandshamn	Grimsholmen	80	5	59 39.35 N	05 24.58 E	12/11-6/12-93	28
Ålforo	Øspevikneset	90	5	59 51.98 N	05 16.08 E	29/10-3/12-93	29
Stokksundet	Spissøy	40	5	59 43.38 N	05 23.40 E	19/11-16/12-93	30
"	"	"	36	"	"	12/10-12/11-93	"
Fitjar	Eggøy	70	5	59 54.95 N	05 10.12 E	12/1-14/2-94	31
Fjellbergøy	Melen	70	6	59 43.95 N	05 43.90 E	21/1-25/2-94	32
Espever	Klungsholmen	50	6	59 35.70 N	05 09.80 E	1/3-24/3-94	33
Skorpo	Kvitesalen	60	5	59 53.27 N	05 35.09 E	7/1-15/2-94	34
"	"	"	6	59 52.40 N	05 36.95 E	1/3-14/3-94	"
"	"	"	50	"	"	14/3-31/3-94	"
Fjellbergøy	Melen	30	8	59 42.20 N	05 43.80 E	14/1-21/2-94	35
"	"	60	"	59 42.17 N	05 43.80 E	28/2-10/3-94	36
Lukksundet	Solsvik	45	8	60 04.50 N	05 41.58 E	14/3-7/4-94	37
Førdepollen	Eikeland	35	4	59 37.95 N	05 25.08 E	2/6-4/7-95	38
"	"	"	30	"	"	7/7-15/8-95	"

## Lokaliteter med strømmåling, 1992-95



1	Kraaka	11	Fjærebleika	21	Store Krossholm.	31	Eggøy
2	Saltkjelen	12	Hiskholmen	22	Grytneset	32	Melen
3	Melkevik	13	Kloholmen	23	Bleiko	33	Klungsholmen
4	"	14	Vatterøy	24	Selvågneset	34	Kvitesalen
5	Søre Brattholmen	15	Nedrevågen	25	Langaneset	35	Melen
6	Laukhamarsnd	16	Laksaklubben	26	Lyklingholmane	36	"
7	Grønevik	17	Liaskjæret	27	Urdøy	37	Solsvik
8	Flornes	18	Åsholmen nord	28	Grimsholmen	38	Eikeland
9	Varakjelen	19	Åsholmen sør	29	Øspevikneset		
10	Solsvik	20	Hillesøy	30	Spissøy		

Figur 10. Lokaliteter med strømmåling. Dei som er særskilt omtalt er merka med ei lupe.

## 5. NOKRE RESULTAT FRÅ DATAANALYSANE

### 5.1 Kategorisering

Dei 38 oppdrettslokalitetane er delt inn i type lokalitetar og noko statistikk er berekna. For kvar måleserie er det blitt berekna middelerdiar for strømfart (arismetisk middel) og strømhastighet (vektormiddel). Vidare er maksimal strømfart funne.

Dei forskjellige lokalitetane er delt inn etter type: open, sund og vik.

Frå tidsseriane er det blitt funne ein typisk strømsstyrkeamplitude. Avstand frå oppdrettsanlegg til munning for vik og til nærmaste munning for sund er funne ut frå sjøkart. Prosent observasjonar med stagnerande strøm er funne for kvar serie. Typisk djup nær oppdrettsanlegget og eventuelt terskeldjup er funne i sjøkart. I enkelte sund er terskeldjupa i kvar ende oppgitt som for eksempel 20-30, for henholdsvis 20 og 30 m terskeldjup.

Typisk forflytting ( $F_t$ ) i løpet av ein halv tidevassperiode ( $T/2$ ) på 6,25 timar (flo-til-fjøre, eller fjøre-til-flo) er blitt beregna. Det vil sei teoretisk forflytting i ein fjørande eller ein fløande periode. Dette er berekna ved hjelp av formelen:

$$F_t = (S_m + S_a) \left( \frac{T}{2} \right) \left( 1 - \frac{P_s}{100} \right),$$

der  $F_t$  = Typisk forflytting  
 $S_m$  = Middel hastighet  
 $S_a$  = Typisk strøamplitude  
 $T/2$  = 6,25 timer, dvs ein halv tidevannsperiode  
 $P_s$  = Prosent stagnerande strøm

Til slutt er det blitt berekna typisk forflytting dividert på avstand til munning. Denne verdien uttrykkjer vannutskifting i eit sund eller ei vik, og er lik 1 dersom vatnet akkurat når til munningen i løpet av en fjørande periode eller fløande periode (**Tabell 6**). Låg verdi indikerer med andre ord dårleg vannutskifting. Alternativ slik som strømvegmetoden (Braaten et. al 1992) er ikkje egna til slike vurderingar.

**Tabell 6.** Ein del resultat av berekningar for strømdata frå dei ulike lokalitetane. Sjå teksten for forklaring.

Lokalitet	Måle- djup	Middel fart (cm/s)	Middel hastig- het (cm/s)	Maksi- mal fart (cm/s)	Type Sted	Typisk strøm amplitude (cm/s)	Avstand til munning (m)	Prosent stagner- ande (%)	Typiskdjup (m)	Terskel djup (m)	Typisk forflytting på 6.25 timar (m)	(Typisk forflyt- ing)/(av- stand til munning)
Kraaka	6	7.31	5.14	44.8	S	2	3000	4	50-200		1534	0.51
Saltkjelen	10	2.19	0.54	13	S	4		21	500-800		800	
Melkevik	3	6.8	4.33	33.8	S	18	2000	19	200	200	4064	2.03
"	10	4.76	3.95	31.2	S	18	2000	43	200	200	2822	1.41
Søre Bratthl. (1)	5	1.47	0.24	5.4	V	3	1000	51	40	40	353	0.35
" (2)	5	2.26	0.84	6.8	V	2	1000	17	40	40	523	0.52
Laukhamarsunde t	5	1.62	0.42	22.8	O	8		72	200-400		529	
"	40	1.11	0.58	4.6	O	4		71	200-400		300	
Grønevik	6	2.49	0.07	13.4	S	6	3000	26	50-500		1016	0.34
"	4	2.34	0.75	17.4	S	6	3000	34	50-500		1010	0.34
"	4	2.53	0.8	13	S	7	3000	18	50-500		1439	0.48
Flomes	5	1.49	0.36	31.8	V	4	1000	55	50	40	456	0.46
Varakjelen	1	6.59	4.42	37	O	16		7	100-500		4269	
"	6	5.04	2.82	26	O	10		11	100-500		2563	
"	1	9.38	7.72	39.2	O	10		13	100-500		3469	
"	6	2.68	1.03	18.2	O	10		47	100-500		1312	
Solsvik	4	1.78	0.28	17.4	O	4		48	50-400		503	
Fjærebleika	5	2.8	0.3	18.5	V	8	3000	-	50-100	50	-	-
Hiskholmen	5	4.4	1.4	32.8	V	8	1500	-	50-100	50	-	-
Kloholmen	5	1.6	1.01	7.4	O	2		51	50-200		331	
Vatterøy	5	2.1	1.09	17.2	O	5		39	50-200		837	
Nedrevågen	5	4.05	0.37	22.6	V	7	3000	22	100-300	200	1299	0.43
Laksaklubben	5	5.31	1.87	29.8	O	12		2	80-400		3065	
Liaskjæret	2	6.32	1.24	24.2	O	13		10	80-400		2876	
Åsholmen nord	4	2.03	2.36	10.6	V	5	3000	28	0-100	50-50	1199	0.4
Åsholmen sør	4	3.75	2.77	10.4	V	5	3000	2	0-100	50-50	1720	0.57
"	50	1.65	0.27	7.6	V	5	3000	54	0-100	50-50	549	0.18
Hillesøy	6	3.92	2.45	13	V	5	3000	16	0-100	50-50	1408	0.47
"	50	2	1.41	15.6	V	2	3000	39	0-100	50-50	467	0.16
Store Krossholm.	6	6.7	2.89	33.2	V	14	1000	1	0-100	50-50	3764	3.76
"	45	1.9	0.52	12.8	V	4	1000	23	0-100	50-50	780	0.78
Grytneset	5	4.76	2.62	31.8	O	12		26	100-400		2431	
Bleiko	25	1.04	0.94	5	S	1	2000	96	30-70	20	17	0.01
Selvågneset	5	3.69	0.85	28.8	V	7	3000	18	50-100	50	1458	0.49
"	38	1.06	0.09	6.8	V	2	3000	85	50-100	50	71	0.02
Langaneset	21	1.58	0.24	7	S	4	1000	33	50	20	633	0.63
Lyklingholmane	6	2.18	0.75	12.2	V	6	1500	27	50-100	50	1117	0.74
"	50	1.29	0.47	5	V	2	1500	52	50-100	50	270	0.18
Urdøy	5	6.92	0.48	33	V	16	1500	13	50	30	3230	2.15
Grimsholmen	5	7.26	2.33	30.6	O	14		1	200-400		3631	
Øspevikneset	5	6.4	2.06	29	V	15	1500	13	30-200		3347	2.23
Spissoy	5	6.93	0.75	37.4	O	14		11	30-200		2964	
"	36	3.71	1.12	28.4	O	12		23	50-400		2270	

Tabell fortsetter

Lokalitet	Måle- djup	Middel fart (cm/s)	Middel hastig- het (cm/s)	Maksi- mal fart (cm/s)	Type Sted	Typisk strøm amplitude (cm/s)	Avstand til munning (m)	Prosent stagner- ande (%)	Typiskdjup (m)	Terskel djup (m)	Typisk forflytting på 6.25 timar (m)	(Typisk forflyt- ing)/(av- stand til munning)
Eggøy	5	4.63	2.73	19.4	V	12	1000	1	50		3274	3.27
Melen	6	12.73	2.41	34.4	S	20	2000	11	30-100	20-100	4486	2.24
Klungsholmen	6	5.54	1.35	29.6	S	8	1500	2	100	200- 200	2073	1.38
Kvitesalen	5	3.55	1.44	17.8	S	9	3000	16	50-100	50-100	1966	0.66
"	6	3.38	1.41	15.4	S	10	2000	19	50	40	2078	1.04
"	50	3.42	1.27	17.8	S	10	2000	15	50	40	2161	1.08
Melen	8	2.48	1.28	17.2	O	6		38	400		1018	
"	8	4.24	1.59	21.4	O	8		10	400		1944	
Solsvik	8	2.1	0.3	11.4	O	4		17	50-400		803	
Eikeland	4	3.55	1.93	19.6	V	8	2000	15	80	60	1893	0.95
"	30	1.46	0.56	5.6	V	4	2000	52	80	60	497	0.25

Resultata frå Tabell 5 kan oppsummerast ved hjelp av middelveidiar for dei forskjellige typane lokalitetar. Opne oppdrettslokalitetar og sund kjem omtrent likt ut når det gjeld strømforhold (Tabell 7). Oppdrettslokalitetane som ligg i viker skil seg ut med lav middelstrøm, svak amplitude for strøm og kort "forflytting". Dei tre typane lokalitetar hadde omtrent samme prosent stagnerande observasjonar.

**Tabell 7.** Middelveidiar for strømmålingane frå dei tre forskjellige typar oppdrettslokalitetar vi omtalar.

Type lokalitet	Middel hastighet (cm/s)	Typisk strøm-amplitude (m)	Gjennomsnittleg forflytting på 6,25 timar (m)	Prosent stagnerande tid (%)	Typisk forflytting)/(avstand til munning)
<b>Open</b>	1,80	9,10	1950	28	-
<b>Sund</b>	1,75	8,78	1864	26	0.93
<b>Vik</b>	1,23	6,54	834	29	0.91

## 5.2 Utvalde lokalitetar

Vi har valt ut og gjennomgått særskilt data for om lag like lange periodar frå tre lokalitetar, open lokalitet, sund og vik:

<b>Type Sund:</b>	Høylandssundet	Melkevik	lokalitet 3	3 m djup	30/12-10/01 1995
<b>Type Vik:</b>	Mølstrevåg	Søre Brattholm	lokalitet 5	5 m djup	18/10-04/11 1994
<b>Type Open:</b>	Tjernagel	Laksaklubben	lokalitet 16	5 m djup	15/09-20/10 1992

**Tabell 8** viser middelveidiar frå dei tre lokalitetane. Melkevik skil seg ut som den mest strømsterke, deretter Laksaklubben. Søre Brattholmen var strømsvak. Noko av forskjellane kan skuldast forskjell i

Tabell 8 Middelverdiar frå dei tre utvalde måleseriane.

Lokalitet	Måle- djup	Middel fart (cm/s)	Middel hastig- het (cm/s)	Maksi- mal fart (cm/s)	Type Sted	Typisk strøm amplitude (cm/s)	Avstand til munning (m)	Prosent stagner- ande (%)	Typisk djup (m)	Terskel djup (m)	Typisk forflyting på 6.25 timer (m)	(Typisk forflyt- ing)/(av- stand til munning)
Melkevik	3	6.8	4.33	33.8	S	18	2000	19	200	200	4064	2.03
Søre Bratthl. (1)	5	1.47	0.24	5.4	V	3	1000	51	40	40	353	0.35
Laksaklubben	5	5.31	1.87	29.8	O	12		2	80-400		3065	

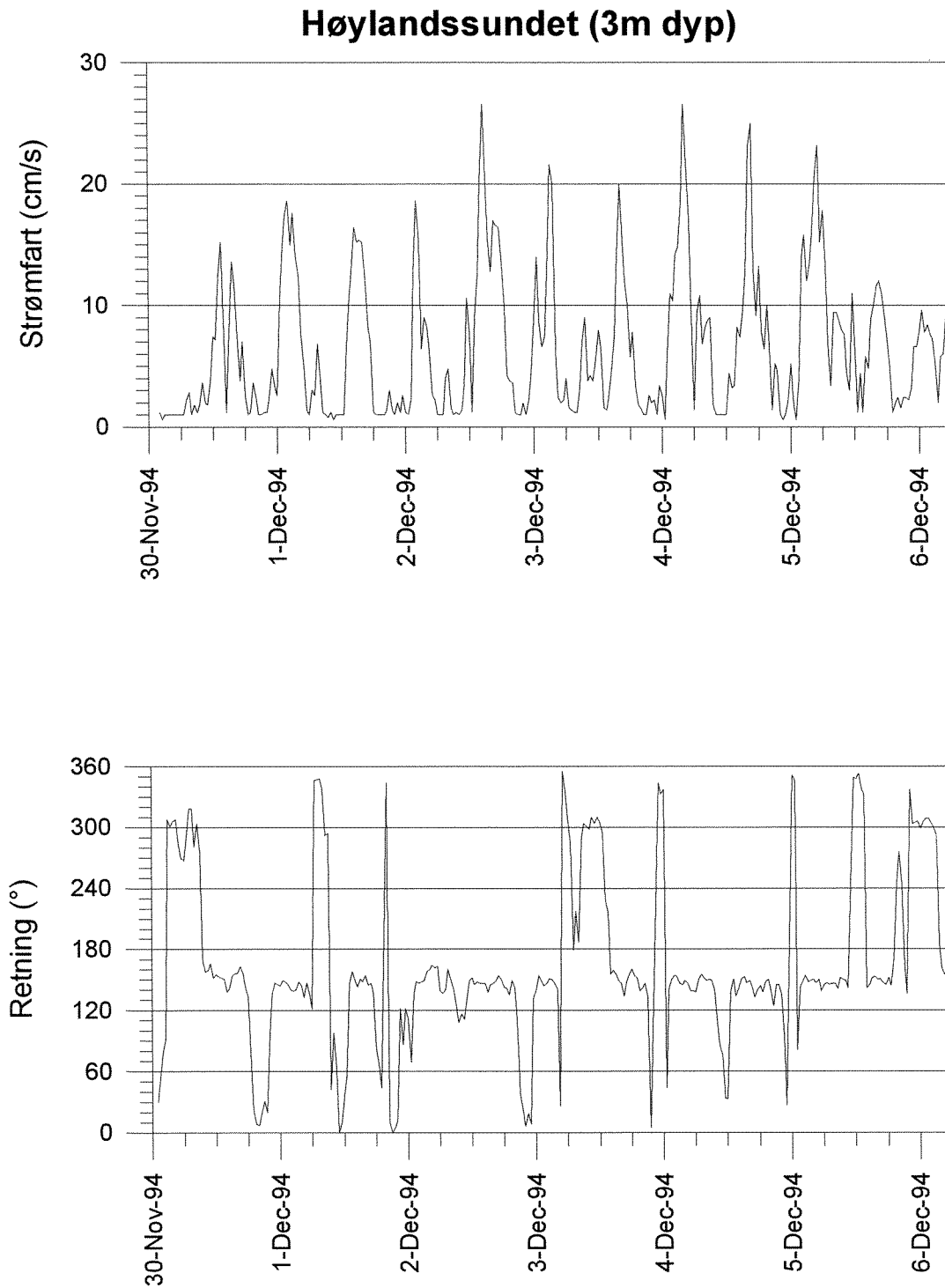
### 5.2.1 Tidsseriar

For å sjå etter variasjonar i strømmen på kort tidsskala er det er bare tatt med eit lite utval av kvar tidsserie (dvs. at figurane av tidsseriane kun viser ca. ei veke, mens i alle andre berekningar er heile seriane benytta).

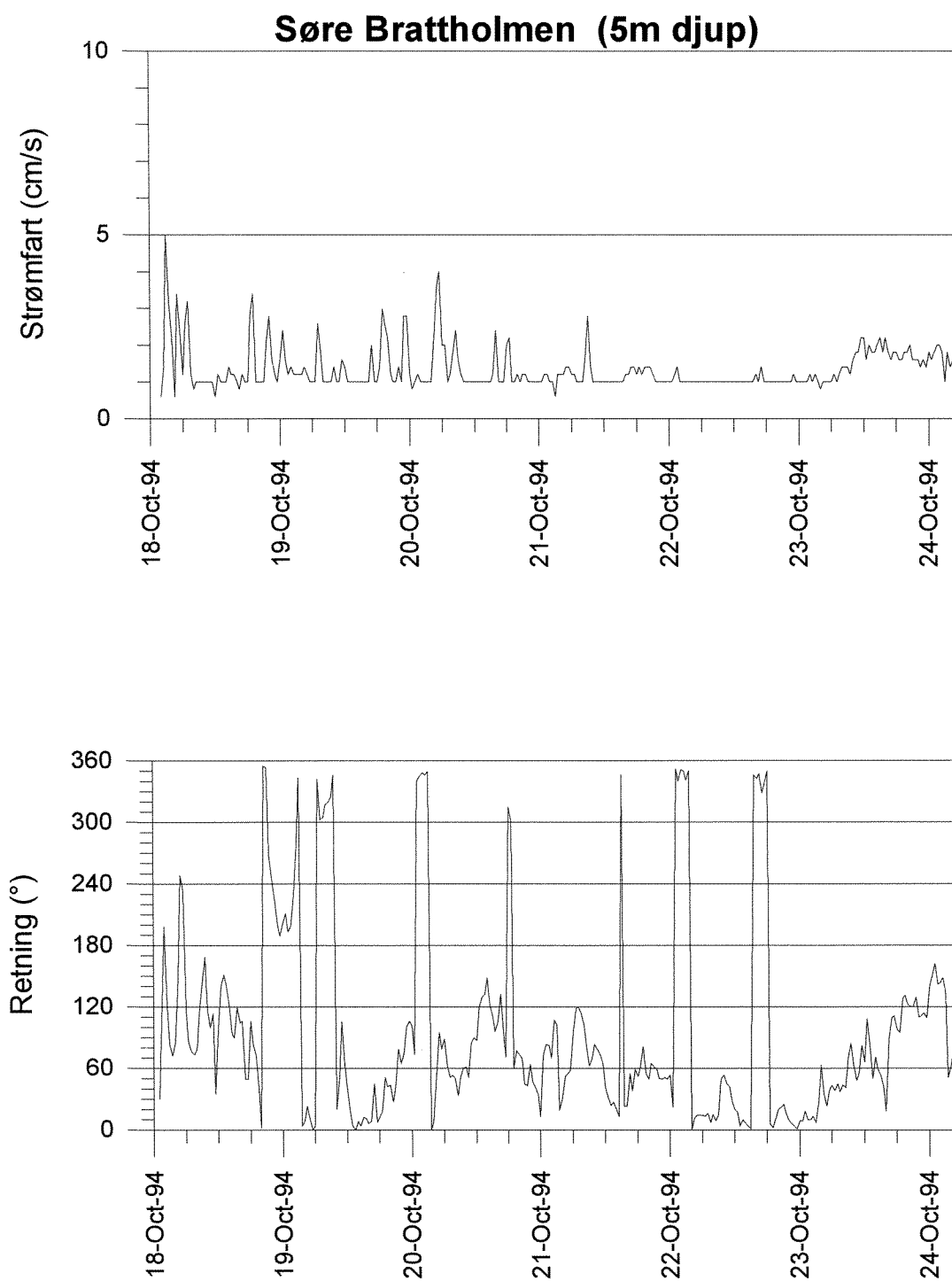
**Figur 11** viser resultat frå strømmålingar ved Melkevika i Høylandssundet (type sund). Her dominerer halvdaglig tidevannsstrøm. Strømamplitudane varierte mellom 15 og 25 cm/s og hadde retning enten eine eller andre vegen gjennom sundet.

**Figur 12** viser resultat frå strømmålingar i Mølstrevåg (type vik). Her var strømmen svak, mesteparten av tida var strømmen under terskelverdien.

**Figur 13** viser resultat frå strømmålingar ved Tjernagel (type open). Også her var det tidevannsstrøm men den var ikkje like framtreddande som ved Melkevik.

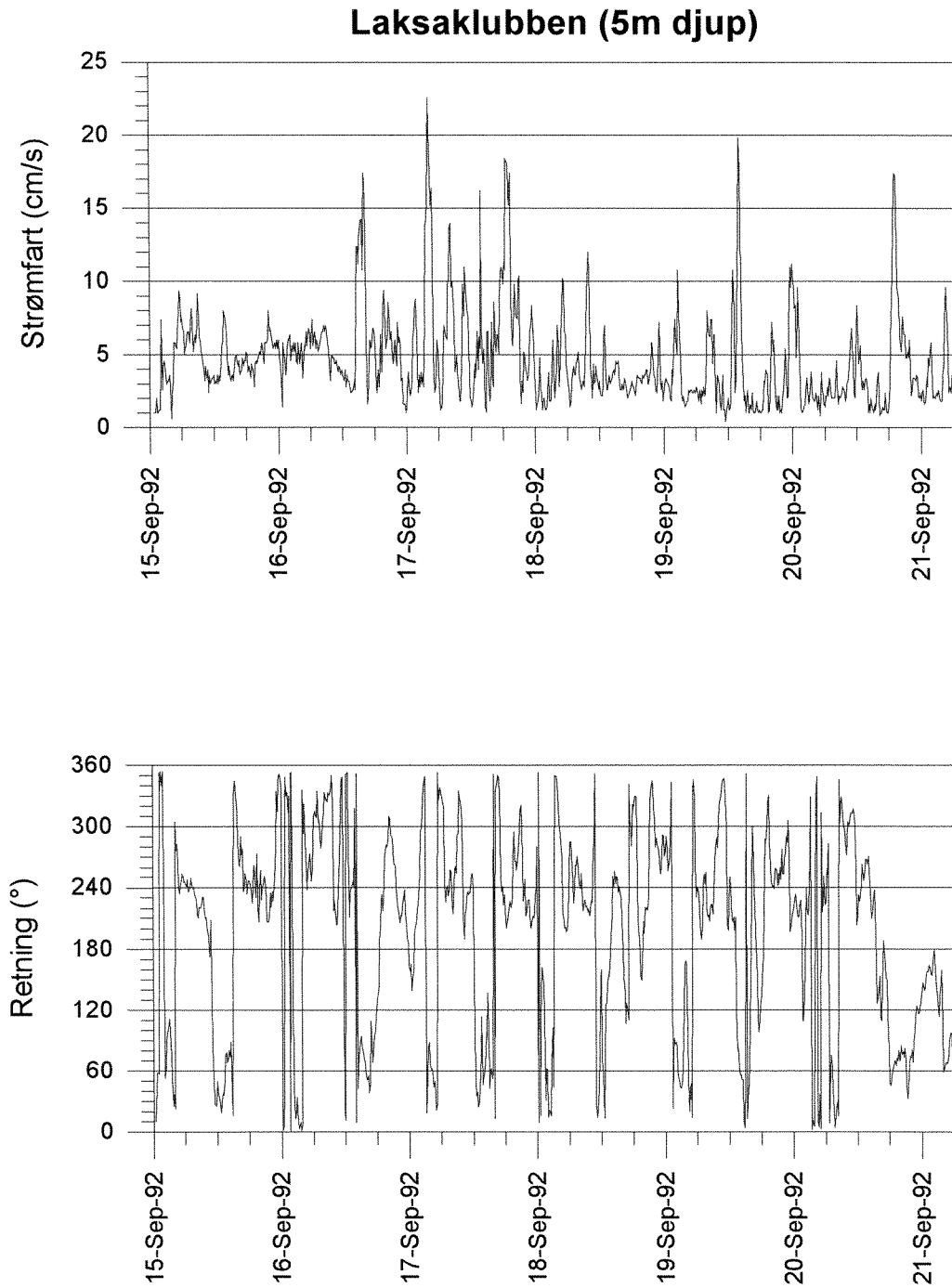


**Figur 11.** Utdrag av tidsserien fra Melkevika i Høylandssundet. lokalitet nr. 3, type sund, med god strøm.



**Figur 12.** Utdrag av tidsserien frå Søre Brattholmen, Mølstrevåg, lokalitet nr. 5, type vik, med svak strøm.

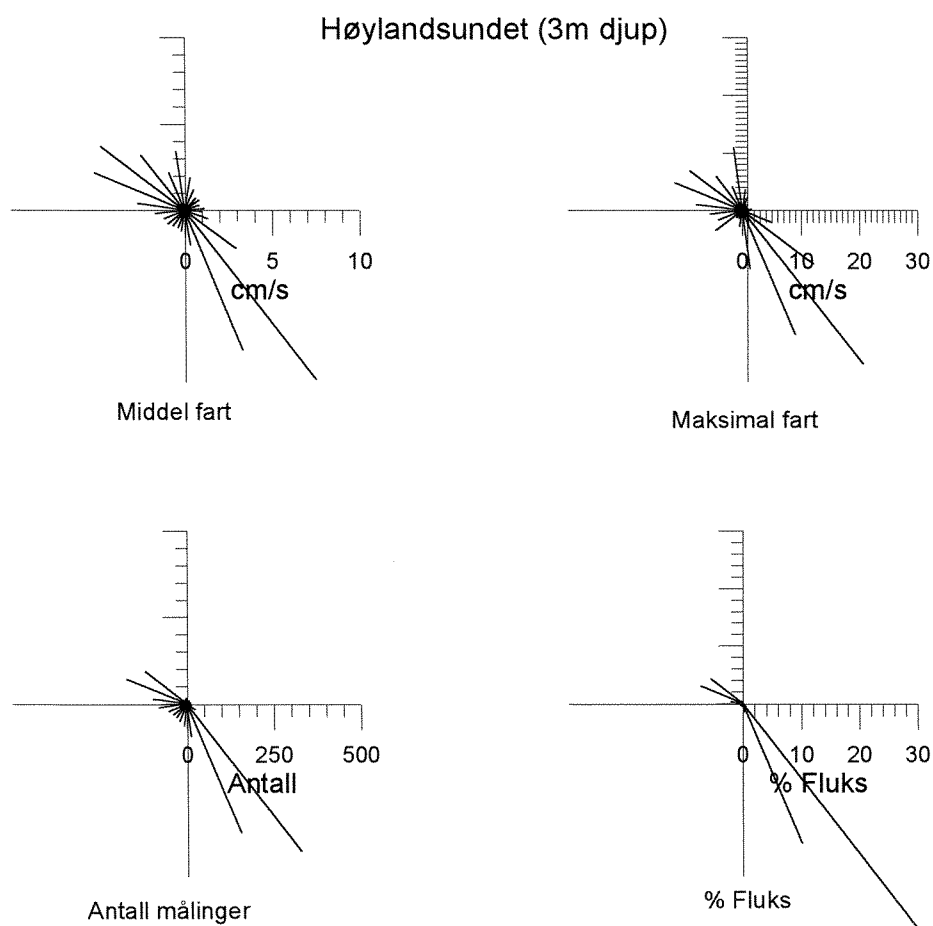




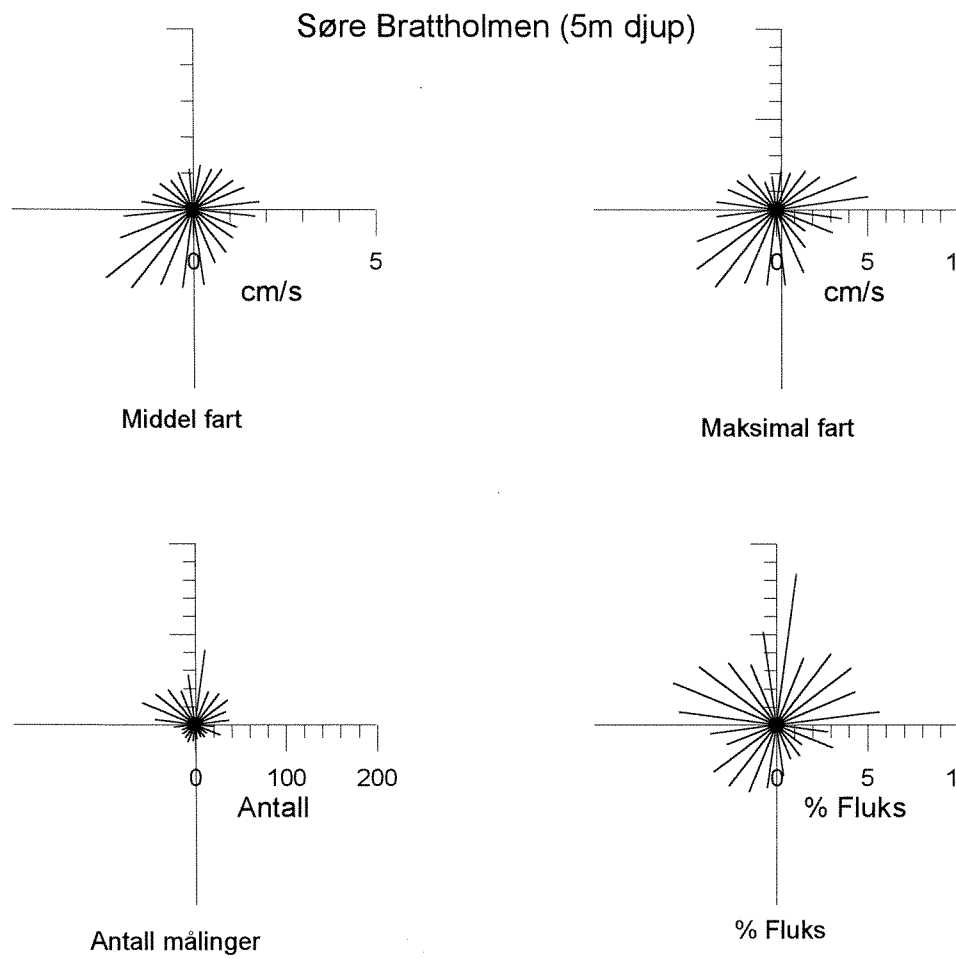
**Figur 13.** Utdrag av tidsserien frå Laksaklubben, Tjernagel, lokalitet nr. 16, type open, med middels bra strøm.

### 5.2.2 Strømroser

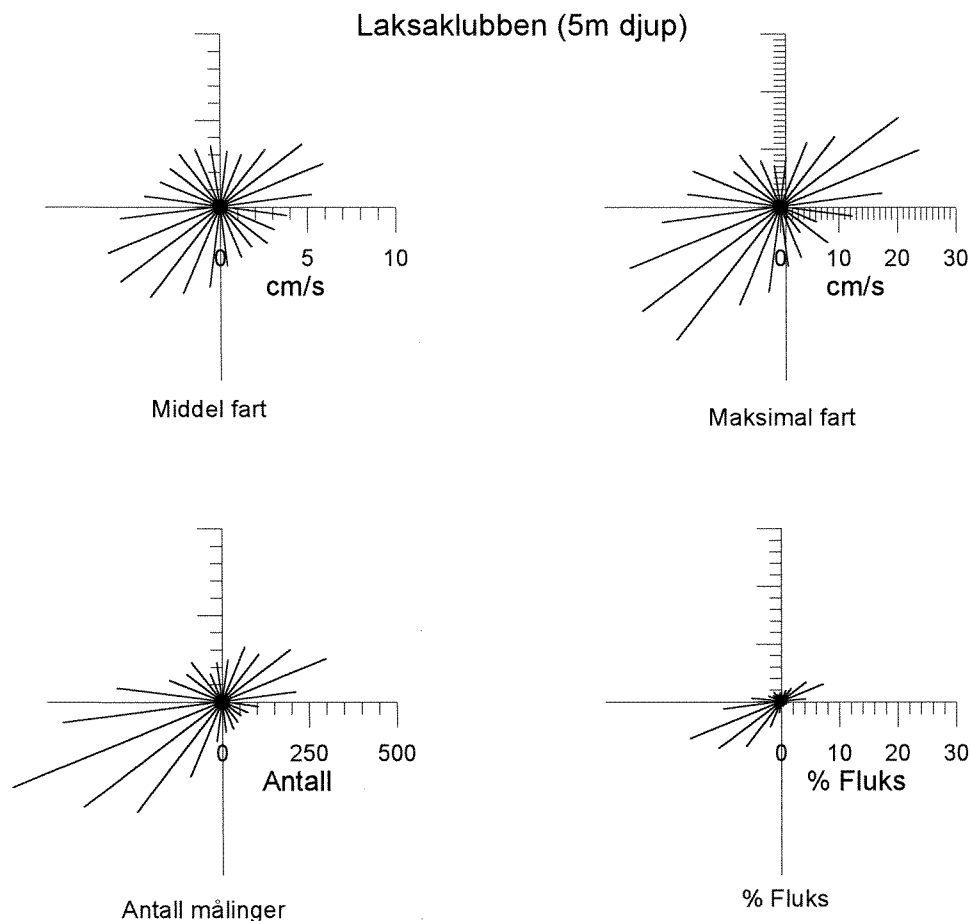
Strømrosene (Figur 14 - 16) viser midlere fordeling i 15° sektorar. Pil i retning mot SØ viser at strømmen går mot SØ. Også disse figurane viser at strømmen var sterkast i Høylandssundet.



**Figur 14.** Strømroser frå strømmålingane i Melkevika, Høylandssundet, lokalitet nr. 3, type sund, med god strøm. Strøm mot SØ dominerte.



**Figur 15.** Strømroser fra strømmålingane ved Søre Brattholmen, Mølstrevåg, lokalitet nr. 5, type vik, med svak strøm. Vekslande strømretning, dels mot NV, dels mot NØ og SV.



**Figur 16.** Strømroser frå strømmålingane ved Laksaklubben, Tjernagel, lokalitet nr. 16, type open, med middels bra strøm. Strøm mot SV dominerte.

### 5.2.3 Varighetsanalyse av strømfart

Vi har handsama dei tre utvalde seriane særskilt med varighetsanalysen, etter same mønster som for eksempelet i Kapittel 3, med vekt på gjennomsnittsperiodar. Målingane frå Melkevika blei handsama i Kapittel 3 og nytta som døme der. Dei to tabellane nedanfor (**Tabell 9 og 10**) syner resultatata for Søre Brattholmen og Lakseskjeret, for strøm under gjevne verdiar.

**Figur 17 - 19** viser nokre resultat frå varighetsanalyse for strømfart for dei tre lokalitetane. Figurane gir oversikt over midlare periodar då strømmen var over eller under gitte verdiar.

Høylandssundet (type sund, **Figur 17**) var den mest strømssterke lokaliteten av dei tre. Der var t.d. strøm over 1,1 cm/s i 6 av 7,5 timar. Det vil sei at midlare “returperiode” for episodar med strøm under 1,1 cm/s er 7,5 timar, og at strømmen då gjennomsnittleg ligg under 1,1 cm/s i 1,5 time. Framstillinga syner vidare eksempelvis at i løpet av ein 14 timars periode kan ein gjere rekning med å ha strøm over 15 cm/s i to timar, og under 15 cm/s i ca 12 timar (14 timars “returperiode”).

**Tabell 9.** Varighetsanalyse for målingane ved Søre Brattholmen. Verdiane syner antal og varighet (minutt) for periodar med strøm under gjevne grenser (X-aksen).

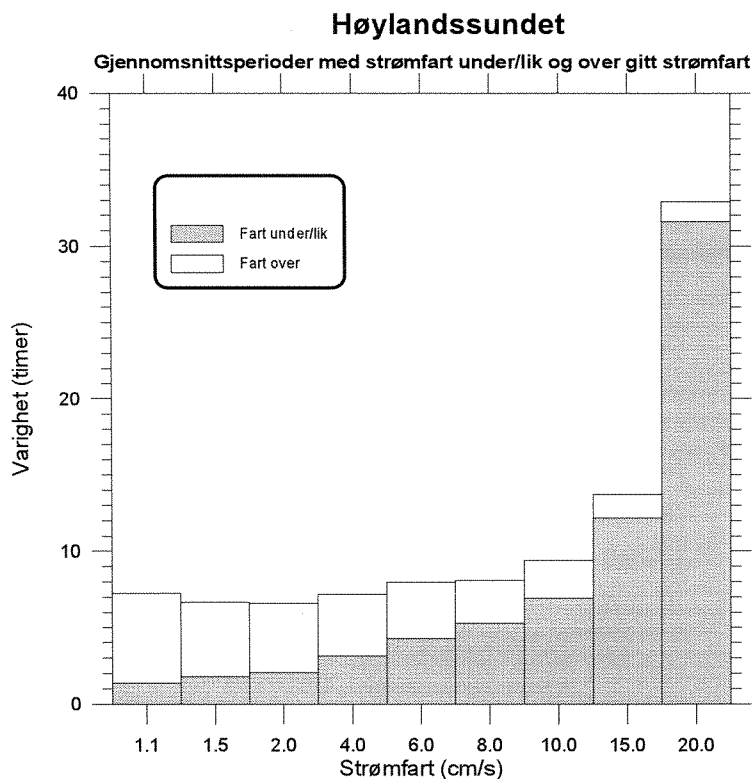
Min	Periodar med strøm ≤ gitt fart											
	*1.1*	*1.5*	*2.*	*4.*	*6.*	*8.*	*10*	*15*	*20*	*25*	*30*	*35*
30	22	13	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0
60	12	8	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0
90	10	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	8	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	6	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
210	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
270	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
330	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
360	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
390	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
420	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
450	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
480	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
540	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
570	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
630	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
660	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
690	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
720	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
750	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
780	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
810	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
840	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
870	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
930	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
960	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1020	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1050	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1110	0	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Sum</b>	<b>81</b>	<b>58</b>	<b>46</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

**Tabell 10.** Varighetsanalyse for målingane ved Lakseskjeret. Verdiane syner antal og varighet (minutt) for perioder med strøm under gjevne grenser (X-aksen).

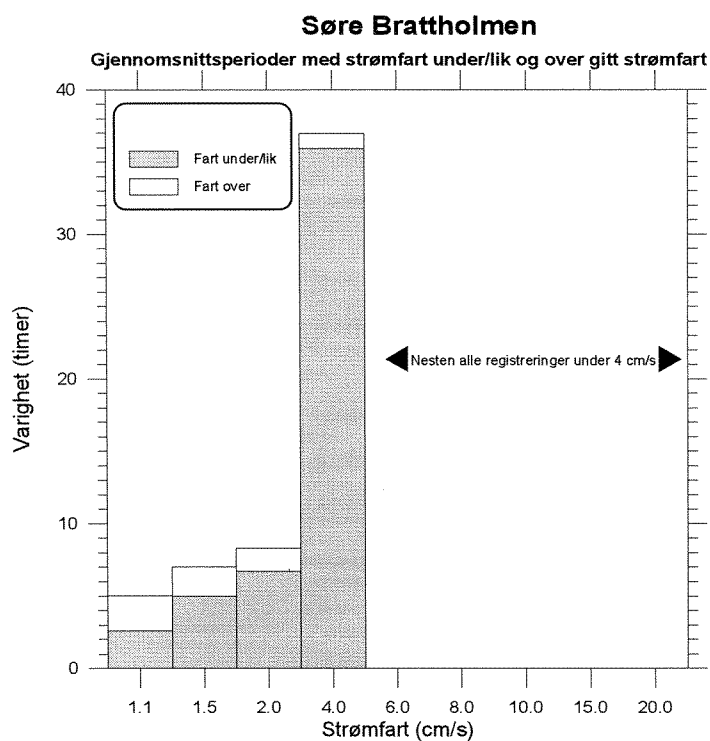
Min	Perioder med strøm $\leq$ gitt fart											
	*1.1*	*1.5*	*2.*	*4.*	*6.*	*8.*	*10*	*15*	*20*	*25*	*30*	*35*
10	51	75	113	117	48	17	20	4	6	0	0	0
20	12	22	27	65	24	12	9	3	2	1	0	0
30	3	12	26	43	19	8	8	0	0	0	0	0
40	2	5	16	24	13	6	6	0	0	0	0	0
50	0	4	5	18	11	6	2	1	0	0	0	0
60	2	2	5	10	9	5	3	2	0	0	0	0
70	0	6	3	11	6	3	3	0	0	0	0	0
80	1	0	1	8	7	3	2	0	1	0	0	0
90	0	1	2	9	6	1	1	0	0	0	0	0
100	0	0	1	8	5	3	1	3	0	0	0	0
110	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	2	4	4	4	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	7	3	2	1	0	0	0	0	0
140	0	0	0	4	4	1	2	2	0	0	0	0
150	0	0	0	5	5	2	3	1	0	0	0	0
160	0	0	0	1	6	4	2	0	0	0	0	0
170	0	0	0	1	5	0	4	1	1	0	0	0
180	0	0	1	2	2	3	2	1	0	0	0	0
190	0	0	0	3	3	3	1	1	0	0	0	0
200	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0
210	0	0	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0
220	0	0	0	4	2	1	2	0	0	0	0	0
230	0	0	0	1	6	2	1	1	0	1	0	0
240	0	0	0	2	4	1	1	0	0	0	0	0
250	0	0	0	1	2	2	2	0	0	0	0	0
260	0	0	0	1	3	2	3	0	0	0	0	0
270	0	0	0	1	2	2	0	1	0	0	0	0
280	0	0	0	1	2	3	1	1	0	0	0	0
290	0	0	0	2	1	1	1	0	1	0	0	0
300	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0
310	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
320	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0
330	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0
340	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
360	0	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0
370	0	0	0	4	24	35	32	26	15	5	1	1
<b>Sum</b>	<b>81</b>	<b>127</b>	<b>203</b>	<b>370</b>	<b>241</b>	<b>148</b>	<b>121</b>	<b>48</b>	<b>26</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Søre Brattholmen ("type vik, **Figur 18**) var ein strømsvak lokalitet, og ein må rekne med strøm under 1,1 cm/s i ca. 2,5 av 5 timar. Strømmen var sjeldan over 4 cm/s. Returperioden for 4 cm/s var svært lang (fell utanfor rammene i figuren).

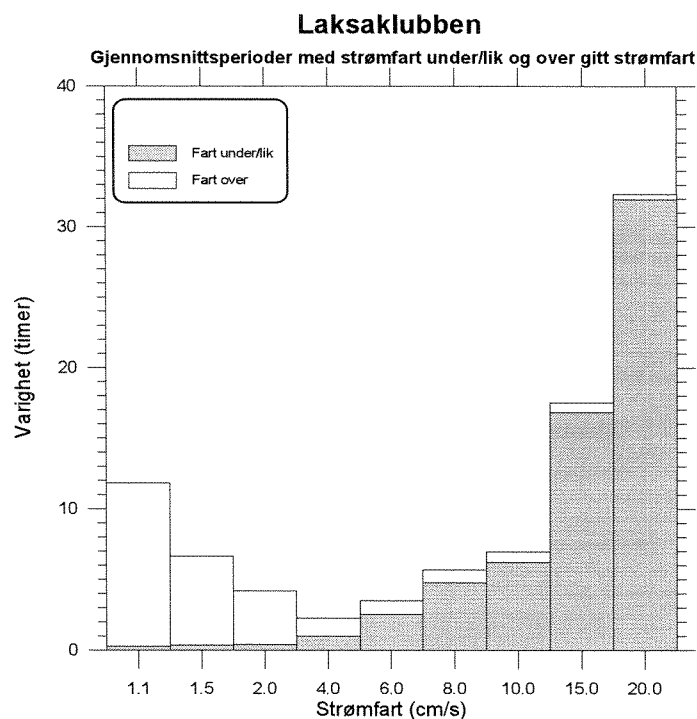
Laksaklubben ("type" open, **Figur 19**), var relativt strømsterk. Her var det lite innslag av svak strøm. Strømmen her var eksempelvis over 1,1 cm/s i 12 av 12,5 timar. I løpet av ein 18 timars periode hadde ein strøm over 15 cm/s i ca. ein time, i gjennomsnitt.



**Figur 17.** Varighetsanalyse av strøm fra strømmålingane i Høylandssundet, Melkevik. Lokalitet nr. 3, type sund, med god strøm.



**Figur 18.** Varighetsanalyse av strøm fra strømmålingane ved Søre Brattholmen, Mølstrevåg, lokalitet nr. 5, type vik, med svak strøm.



**Figur 19.** Varighetsanalyse av strøm fra strømmålingane ved Laksaklubben, Tjernagel, lokalitet nr. 16, type open, med middels bra strøm.

#### 5.2.4 Varighetsanalyse av strømretning

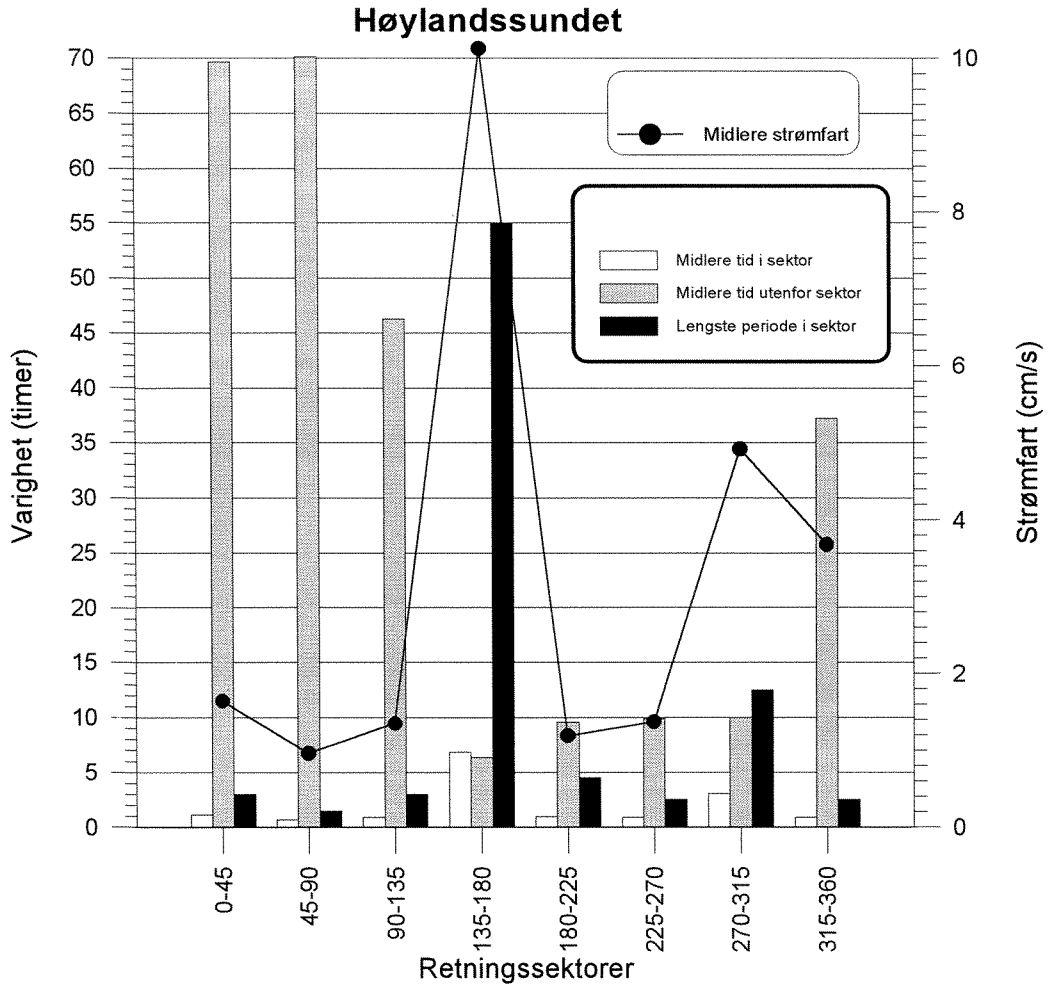
**Figur 20 - 22** viser eksempel på varighetsanalyse av strømretning for dei tre utvalde lokalitetane.

Strømmen i Høylandssundet (type sund, **Figur 20**) låg i sektoren 135-180° omtrent halvparten av tida. I gjennomsnitt var den ca. 6 timar i sektoren for deretter å være ca. 6 timer ute av sektoren. Maksimalt (lengste periode) var strømmen 55 timar i denne sektoren. Det var bare sjeldan strøm i sektorane 315-135°.

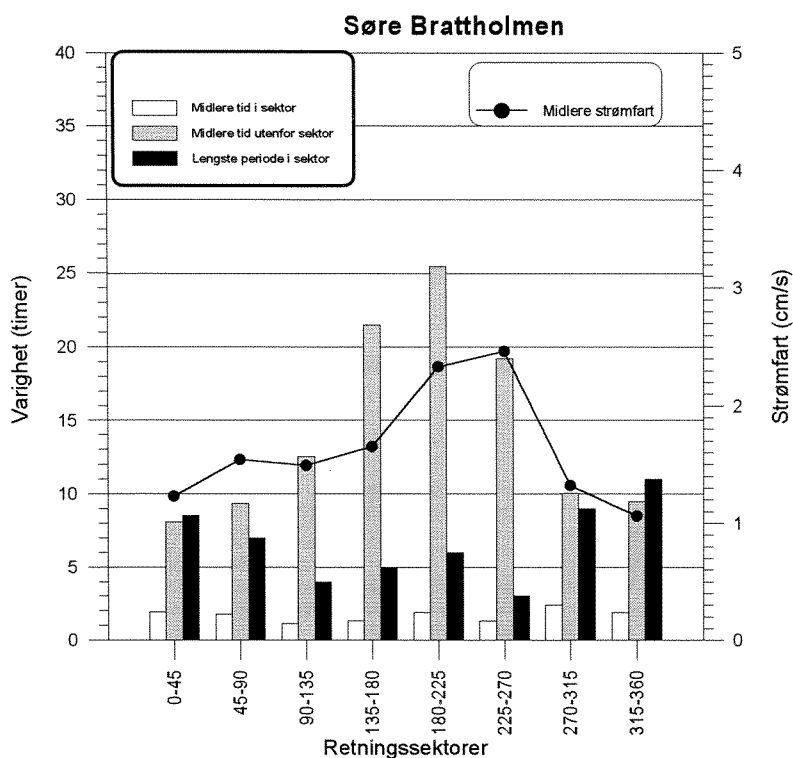
Søre Brattholmen (type vik, **Figur 21**) var ein strømsvak lokalitet (strøm under terskelverdien omtrent halvparten av tida), og da blir det vanskelegare å finne systematikk i høve til fordeling i sektorar. Retningen varierte noko (jamfør figur 12 som synte ein del av målingane), men strømmen kan i periodar ha vore så svak at ror-retningen ikkje var realistisk.

Ved Laksaklubben (typeopen, **Figur 22**) var ikkje strømmen like stabil i sektorane som i Melkevika i Høylandssundet. Strømmen hadde imidlertid i gjennomsnitt lengste periodar i sektoren 225-270°, og hadde også lengste perioden og høgste middelstrømfart.

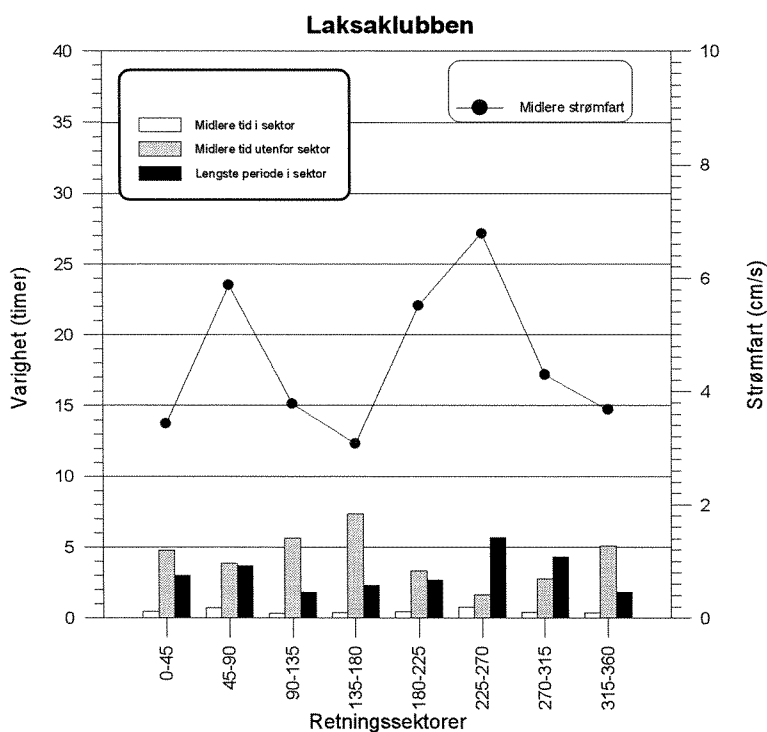




**Figur 20.** Varighetsanalyse av strømretning fra strømmålingane i Høylandssundet, Melkevik. Lokaltet nr. 3, type sund, med god strøm.



**Figur 21.** Varighetsanalyse av strømretning fra strømmålingane ved Søre Brattholmen, Mølstrevåg, lokalitet nr. 5, type vik, med svak strøm.



**Figur 22.** Varighetsanalyse av strømretning fra strømmålingane ved Laksaklubben, Tjernagel, lokalitet nr. 16, type open, med middels bra strøm.

## 6. DISKUSJON OG SLUTTKOMMENTARAR.

Vi knyter her nokre korte kommentarar til det foregåande saman med teoretiske vurderingar omkring numeriske modellar og bruk av desse, med eksempel. Til slutt skisserer vi moglege liner framover for vidare forskning omkring strøm og vassutskifting på oppdrettslokalitetar.

### 6.1 Modelling

#### 6.1.1 Modellen

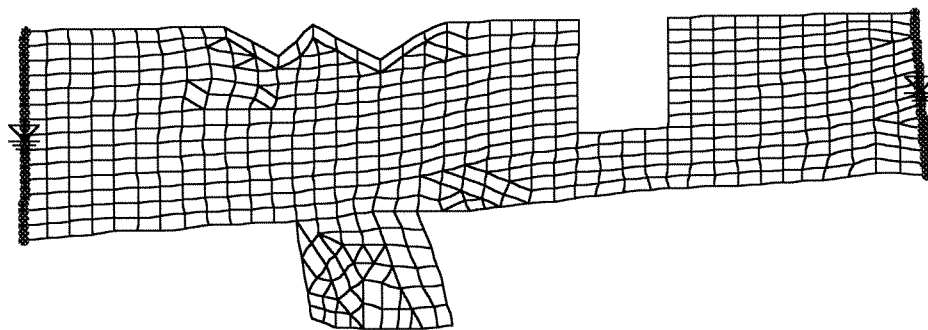
For å illustrere korleis topografi påverkar strømførholda vart det kjørt eit eksempel med NIVAs 2-dimensjonale numeriske modell (SMS). Forkortelsen SMS står for "Surface Water Modeling System", og er eit interfaceprogram til blant anna den numeriske modellen RMA-2. Programmet SMS er laga ved Brigham Young University, -Engineering Computer Graphics Laboratory i samarbeid med U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, og U.S. Federal Highway Administration (ECGL, 1994).

RMA-2 er ein dynamisk, todimensjonal, djupne-integrert numerisk modell med fri overflate. Modellen eignar seg best i område utan lagdeling. Modellen bereknar løysingar ved hjelp av endelig-element (finite element) metoden.

Gruntvannsligningane i RMA-2 er Navier-Stokes likningar for bevaring av bevegelsesmengde og volum (volumkonservering).

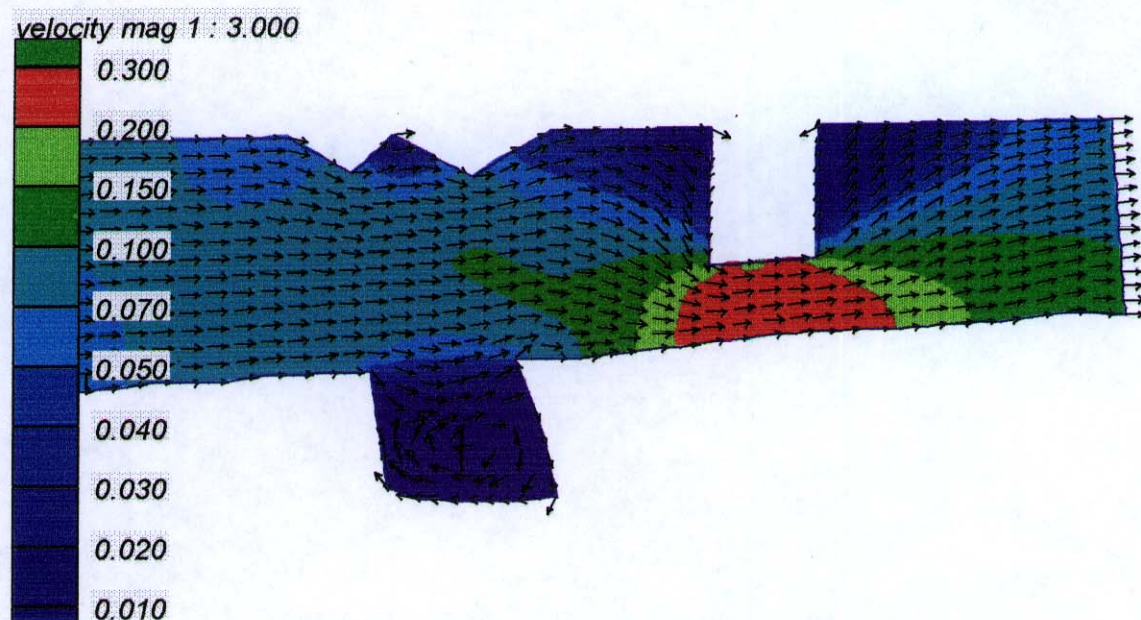
#### 6.1.2 "Teoretisk sund"

**Figur 23** illustrerer eit "teoretisk" sund i øst/vest retning med innsnevring og 2 vikar. Modellert strøm inn/ut av sundet (randvilkår til modellen) blei kontrollert ved hjelp av realistiske vannstandsvariasjonar i kvar opning i sundet. Desse amplitudane blei satt til å variere med 12 timars periode (~ halvdagleg tidevatn).

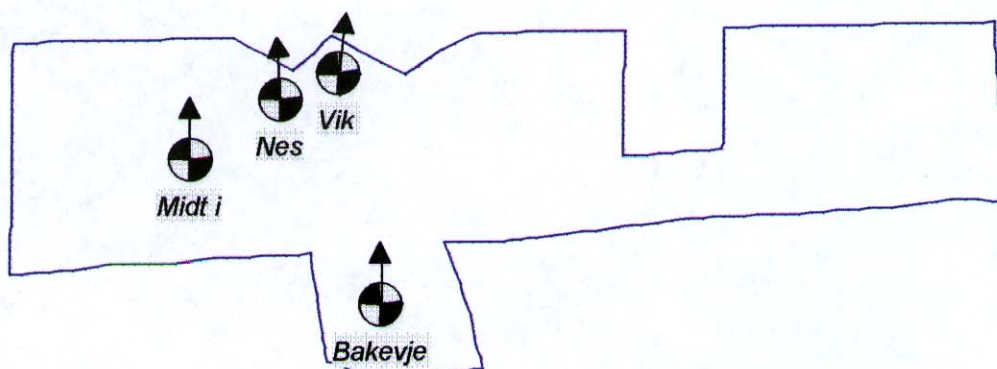


**Figur 23.** Nettverket som vart brukt til modellberekningane. "Sundet" er ca. 450 langt og 100 m breidt. Djupet vart satt til 10 meter alle stader, slik at ein simulerer strøm i eit "øvre lag".

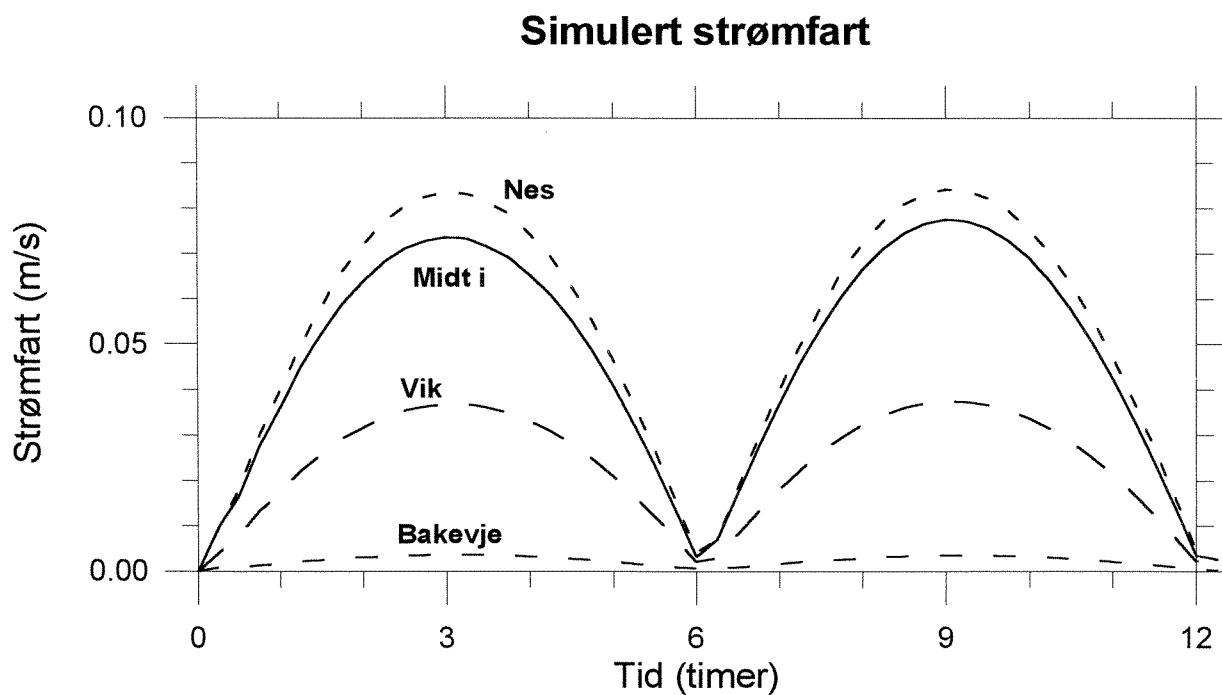
**Figur 24** viser resultat ved maksimal austleg strøm i sundet. Figuren viser korleis vatnet blir akselerert gjennom innsnevinga. Ein ser også at det blir danna ei bakevje i den største vika (i sør). Vika i nord påverkar også strømmen kraftig. Dette ser ein tydeleg av **Figur 26** som viser tidsvariasjon i strømfart i 4 posisjonar i sundet. Posisjonane er innteikna i **Figur 25**, i den nederste vika (bakevja) var det svært lav fart. Det som er meir overraskande er at den relativt vesle vika i nord påverkar strømmen så mykje. Strømmen ved neset er om lag 2 gongar sterkare enn strømmen i vika.



**Figur 24.** Resultat frå modell-kjøringane for eit konstruert "sund" ved maksimal austgåande strøm.



**Figur 25.** Posisjonar i sundet der det er tatt ut tidsseriar for strømfart (Figur 26).



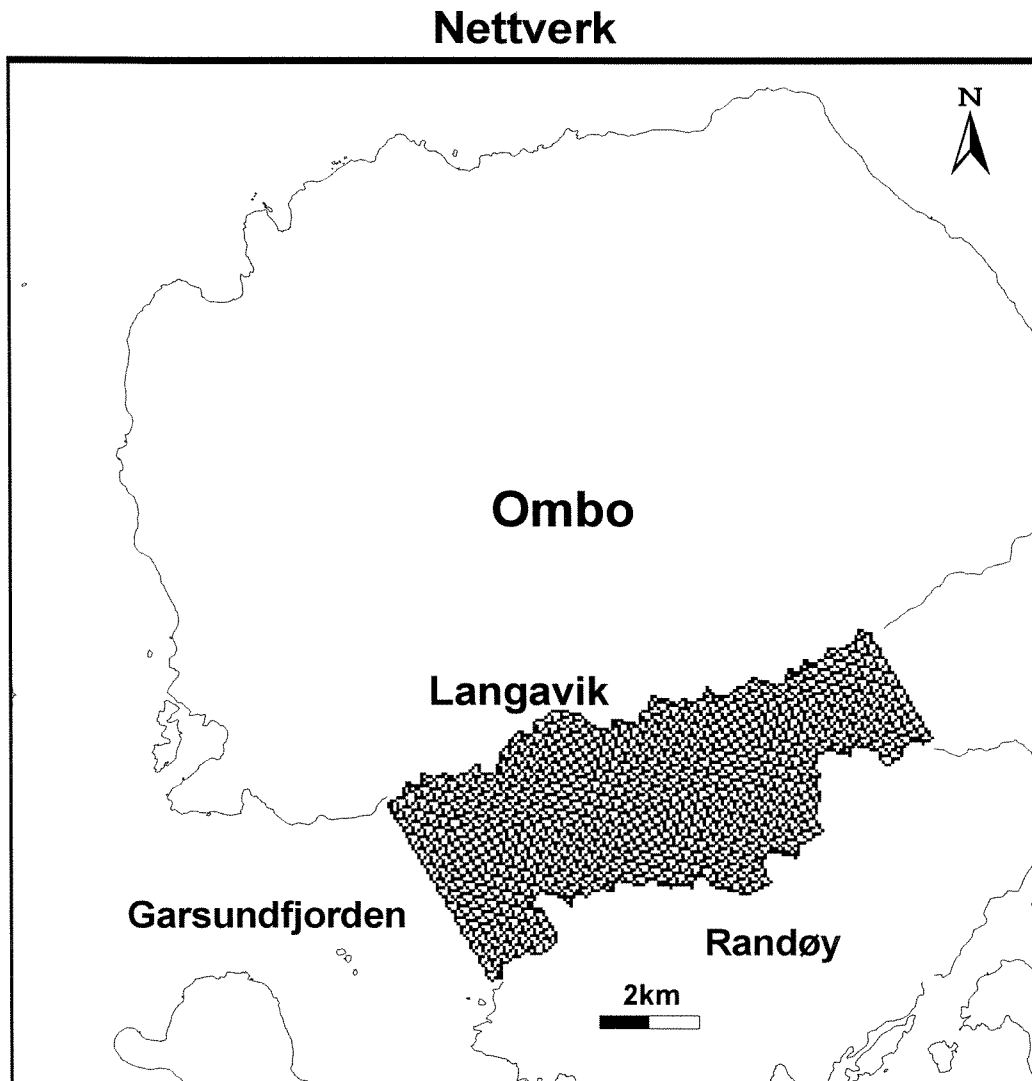
**Figur 26.** Tidsseriar av modellert strømfart over ein tidevannssperiode i dei tre posisjonane som er vist i figur 25.

Denne enkle modellen viser som venta at innsnevringar (sund) gir auka strømfart, og at det normalt er sterkare strøm utanfor eit nes enn utanfor ei vik. Vikar kan imidlertid også påverke strømmen mykje, langt vekk frå vika.

### 6.1.3 Realistisk topografi

Som eksempel på ein meir realistisk situasjon har vi tatt inn resultat frå modellering for deler av Garsundfjorden som ligg mellom Ombo og Randøy i Ryfylke (Nygaard 1997). Dette for å finne kor mykje strømmen blir dempa inne i ei konkret vik (Langavik), i høve til hovedtrømmen utanfor. Det vart der modellert strøm i eit 10 meter tjukt øvre lag, som i foregående eksempel. Det vart kjørt ei periode med strøm mot vest og ei periode med strøm mot aust.

**Figur 27** viser det 2-dimensjonale nettverket som vart brukt til modellkjøringane.

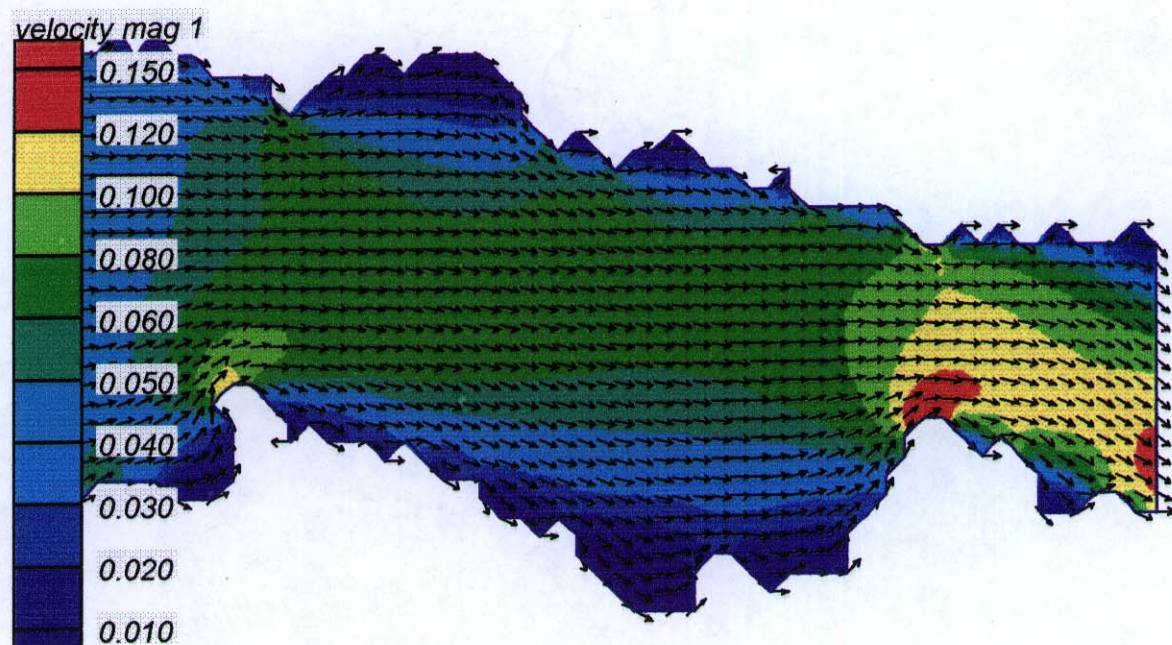


**Figur 27.** Det 2-dimensjonale nettverket som vart brukt i til modell-kjøringane.

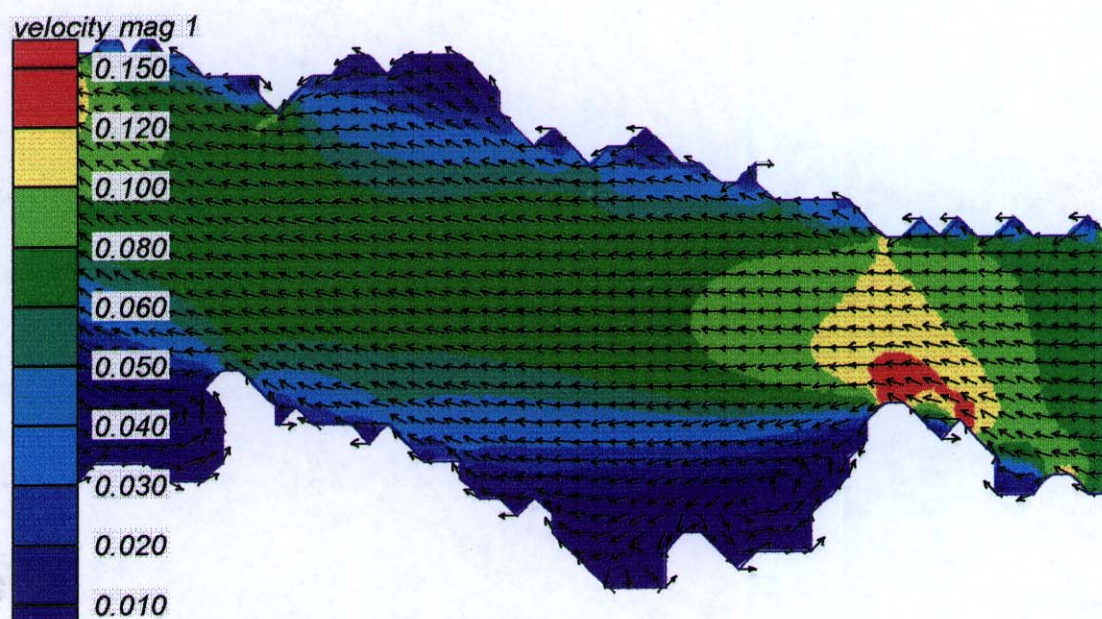
### Resultat

**Figurane 28 og 29** viser resultat frå desse modellkjøringane med h.h.v. austleg og vestleg strøm. Dei angitte verdiane for strømstyrke må sjåast på som relative verdier fordi modellen ikkje er kalibrert. Derimot eignar resultatata seg godt til å samanlikne overflatestrøm på forskjellige typar lokalitetar.

Modellkjøringane viser at Langavika (som døme) ligg i lé for hovedstrømmen både ved austleg og vestleg strøm. Ein får derimot forsterking av strømmen ved begge nesa aust og vest for Langavika, då særleg ved neset på vestsida. Modellen syner at ein vil kunne få 2-3 gonger sterkare strøm ved neset som det ein får sentralt i vika. Modellkjøringane visar at ein får sterk strøm ved alle nesa. I alle vikene blir strømmen svak og i ein del tilfelle vert det danna bakevjer.



Figur 28. Resultat frå modellkjøringane med austleg strøm.



Figur 29. Resultat frå modellkjøringane med vestleg strøm.

## 6.2 Sluttkommentarar

Måleresultata og den innleiande samanlikninga mellom ulike strømmålarar indikerer at SD6000 målarane har underestimert strømmen ved lav strømfart (under 7-8 cm/s). For svært lave strømfart (mindre enn 2 cm/s) registrerer SD6000 knapt nok strøm. Dette kan forklare litt av skilnadene i oppfatningane av strømforholda som enkelte av oppdrettarane har og det målarane har vist.

Vi har gjennom analyse av måleseriane samt modell-køyringar dokumentert viktige relasjonar mellom topografi og strømforhold, ved ein forsøksvis gruppering av lokalitetane i type Sund, Vik og Open.

I svakt definerte vik er strømmen sterkt redusert i høve til strømmen utanfor. Dette er dokumentert både frå målingane, varighetsanalysen og modellen.

I tabellen nedanfor har vi presentert resultat frå varighetsanalysane for middel-periodar, strøm under gitte grenser, samt resultata for middel strømfart og strømhastighet (strømvektor). Varighetsanalysen viser at Brattholmen er dårlegast eigna (lengste strømsvake periodar) og at Lakseskjeret er best eigna m.o.t. svakstrømsperiodar. Middelveiane viser motsatt rangering for dei to sistnemnde lokalitetane. Spørsmålet er då kva resultat som skal vektleggjast. Middelstrømstyrken kan skjule forekomst av lange periodar med svak strøm, avløyst av sterk strøm innimellom.

Den typiske forflyttinga i Melkevik (**Tabell 6 og 8**) var 4 000 m, og for Lakseskjeret 3 000 m. Dette er relativt like verdiar, og dei gjev ikkje godt grunnlag for å skilje desse lokalitetane. Imidlertid synte **Tabell 6** at det var stor variasjon i denne parameteren, og at den også kunne ha vore nytta i vidare analysar og samanlikningar.

Lokalitet	Midl. varighet, periodar med strøm under gitt strømverdi					Middelveiane (cm/s)	
	1,1 cm/s	1,5 cm/s	2,0 cm/s	4,0 cm/s	6 cm/s	Strømfart	Vektor
<b>Melkevik</b>	1,1	1,3	1,4	2,1	3,0	6,8	4,3
<b>Brattholm</b>	2,5	5,0	7,0	37	> 1 veke	1,5	0,2
<b>Lakseskj.</b>	0,2	0,3	0,3	1,0	2,2	5,3	1,9

Gjennom arbeidet har vi vidareutvikla varighetsanalyse frå kun å gjelde svakstrømsanalysar, til også å omfatte sterkstrømsanalysar og gjennomsnittsfordeling (“returperioder”), samt periodefordeling for strømreretning, innan gjevne retningssektorar.

## 6.3 Forslag til oppfølgjande arbeid

Det er framkome eit stort talmateriale (t.d. Tabell 5) som vi kun har gått overflatisk inn i. Her ligg det grunnlag for vidare analysar:

- Resultata vil kunne koplast opp mot driftsresultat og driftserfaringar for lokalitetane, og dermed gje direkte samband mellom samspel mellom fysiske miljøfaktorar og fisk/drift.
- For dataanalysar er det viktig å sjå vidare på graden av resirkulering av vatn. Her vil strømmålingar i kombinasjon med modellar kunne gje viktige resultat for oppdrettarane.
- Modellresultata og til dels målingane synte at strømmen bak eit nes blir sterkt redusert (ned til 1/3 eller mindre). Anlegg blir gjerne lagt ved eller bak nes p.g.a. eksponering, forankring og tilkomst.



Ved å flytte anlegga litt, vil ein kunne unngå denne lé-effekten, og oppnå betre driftsresultat og reduserte miljøeffektar. Her vil vi anbefale at det blir gjort nærare dataanalysar, og også faktiske strømmålingar for å få dette verifisert.

- Vidare samanlikning mellom ulike strømmålarar synes å vere aktuelt, m.a. for å dokumentere betre periodane med svak eller “null” strøm.
- Rapportens resultat vil kunne vere eit innspel frå Havbruksringen og NIVA inn mot den gruppa som arbeider med å utvikle/teste MOM-systemet.

## 7. REFERANSAR

- Andersen P. 1996, Miljøhåndbok for fiskeoppdrett. Kystnæringen 1996. 208 s.
- Asplin, L. og D. Akses 1995: Simulering av ferskvannsavrenning og primærproduksjon i juli-august 1989 i Hylsfjord-Sandsfjord systemet. Foreløpig notat, IFM/UiB, 5s.
- Aure J. 1983, Akvakultur i Troms, kartlegging av høvelige lokaliteter for Fiskeoppdrett. Fisken og Havet 1983, nr 1, 92 s.
- Aure J. 1989: Miljøeffekter av næringssalt og organisk materiale i fiskeoppdrett. I: Forurensing fra fiskeoppdrett. Rapp. fra fagkonferanse, juni 1989 (B. Berthelsen og B. Braaten, red). LENKA-rapport, Miljøverndepartementets rapportserie nr T-776, s 46-52.
- Braaten, B., H. Hektoen og A. Stigebrandt 1992: Utvikling av miljøkontrollprogram for matfiskanlegg. Rapp. nr. 2709, NIVA, Oslo, 36 s.
- Braaten, B. og L. Golmen 1994: Miljøundersøkelser på A/S MOWIs oppdrettsanlegg i Skorpeosen. Fase I. Innledende undersøkelser. Rapp. nr. 3120, NIVA, Oslo, 28 s.
- Braaten, B. og L. Golmen 1995: Miljøparametre og målemetodikk for oppdrettsmetoder i sjø. Evaluering av metoder for lokalisering, egnethet og kapasitet. Rapp. nr 3278, NIVA, Oslo, 40 s.
- Davis J. C., 1975: Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. J. Fish. Res. Board Can., Vol 32 (12), 1975.
- Dragesund, O. (utvalsløiar) 1992: Nasjonal handlingsplan for havbruksforskning. Rapp. Det nasjonale utvalg for havbruksforskning, NFFR, Trondheim, 44 s.
- ECGL, 1994: Surface Water Modeling System, Reference Manual. Brigham Young University. Engineering Computer Graphics Laboratory. 368B CB, Provo, Utah 84602.
- Ervik, A., P.K. Hansen, A. Stigebrandt, J. Aure, T. Jahnsen og P. Johannessen 1993: MOM, et system for regulering av miljøvirkninger fra oppdrettsanlegg. Første versjon. Rapp. Havforskningsinstituttet, Senter Havbruk nr 23/93, 20s.
- Ervik, A. 1994: Modelling and Monitoring Internal Impact from Fish Farms. I: Proceedings of the Canada- Norway workshop on environmental impacts of aquaculture, s 69.76.
- Forsberg, O. I. 1994: Modelling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic Salmon in commercial-scale land-based farms. Aquaculture International, Vol. 2, s 180-196.
- Forsberg, O. I. 1995: Farming of post-smolt Atlantic salmon (*salmo salar* L.) in land-based flow-through tanks: studies of fish growth, metabolic rates, water quality and optimal production strategies: Dr. philos-thesis, University of Bergen, 251 s.

- Golmen L.G. 1994, Strømforhold som lokaliseringkriterium. Norsk Fiskeoppdrett nr. 1-94.
- Golmen, L. G. og E. Nygaard 1997: Lakseforsterkingsprosjektet i Suldalslågen. Rapport frå program for kartlegging av strøm og hydrografi sommaren 1996, i samband med vandringsforsøk. Rapp. nr 3678-97, NIVA, Bergen/Oslo, 34 s.
- Havbruksringen 1997 (B. Tveranger, red.): Produksjon, verdiskaping og sysselsetting i oppdrettsnæringa i Sunnhordland i 1995. Brosjyre, Sunnh. Havbruksring, 16 s.
- Kaiser, G. 1994: A Friendly Guide to Wavelets. Birkhäuser, Boston, 300s.
- NOU 1990: LENKA: Landsomfattande Egnethetsvurdering av Den Norske Kystsona og Vassdraga for Akvakultur. Norges Off. Utretn. 199, nr 22, 144 s.
- Nygaard E. 1997: Strømmåling ved Langavik på Ombo i juli-august 1997. NIVA notatnr. 97/06. Bergen, 14 s.
- Sensordata as.: Mini current meter model SD6000, user manual. Sensordata, Bergen, 24 s.
- Stene, A. 1996: Lokalisering (av oppdrettsanlegg). I Miljøhåndbok for fiskeoppdrett. Kystnæringen 1996. 208 s.
- Sætre R. 1975: Lokalisering og miljø ved noen oppdrettsanlegg for laksefisk i Vest-Norge.. Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Serie B 1975 Nr. 4.
- Aarsnes, J.V.G. Løland and H. Rudi 1990: Forces on cage net deflection. Manuskript, International Conference for Engineering for Offshore Fish Farming, Glasgow, UK, 17-18 Oct.1990.

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3709-97

ISBN 82-577-3275-3