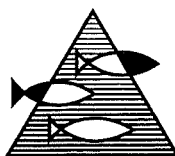


PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesgaten 50 Postboks 1870 5817 Bergen

Tlf.: 55 23 85 00 Faks: 55 23 85 31

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 05 90 00

Faks: 37 05 90 01

Austevoll

havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Faks: 56 18 03 98

Matre

havbruksstasjon

5984 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Faks: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

0515.01

Oppdragsgiver(e):

Norges forskningsråd (a),
Havforskningsinstituttet (b)

Oppdragsgivers referanse:

Nina Hedlund (a)
og Einar Svendsen (b)

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 12 - 2001

Tittel:

MULTIBRUKSSYSTEM FOR TAUETE FARKOSTER
OG DROPPSONDE - FORPROSJEKT

*Evaluering av operasjoner, teknologi og systemer
med utgangspunkt i måle- og observasjonsbehov.*

Senter:

Senter for marint miljø

Seksjon:

Fysisk oseanografi

Forfatter(e):

John Dalen¹, Hans Petter Knudsen¹, Tor Knutsen¹,
Terje Vedeler² og Webjørn Melle¹.

Havforskningsinstituttet¹, Bergen, NUI AS², Bergen

Antall sider, vedlegg inkl.:

53

Dato:

19.10.01

Sammendrag:

I hovedprosjektet skal det utvikles et integrert system av to tauete farkoster og en droppsonde med sine målesystemer, sensorer og kommunikasjonsgrensesnitt for dataoverføring som i stor grad bruker felles teknologi for fiberoptisk og elektrisk kabel, vinsj og signalbehandlingsenheter. I forprosjektet har vi innhentet og bearbeidet informasjon om teknologi for undervannsfarkoster, akustisk og optisk måleteknologi, teknologi for miljøsensorer, høykapasitets overføringsteknologi for fiberoptisk kabel og vurdert teknologi for analyse- og presentasjon av innsamlede data. Integrasjon og optimalisering med avveining av tekniske løsninger er nøkkelbegreper i denne type arbeid.

Emneord - norsk:

1. Tauete farkoster
2. Akustisk og optisk instrumentering
3. Fisk og dyreplankton

Emneord - engelsk:

1. Towed vehicles
2. Acoustic and optic instrumentation
3. Fish and zooplankton


Prosjektleder


Seksjonsleder

FORORD

Behovene for å kunne samle inn kvalitetsdata med nødvendig oppløsning i tid og rom, stabilitet og konfidens fra fiske- og planktonfordelinger fra overflaten og ned til store havdyp fra samme fartøy under de fleste værforhold har lenge vært et uttalt mål. Utviklingen hittil har vært å bruke separate og ulike løsninger både på metode- og instrumenteringssiden for å samle inn gruntvanns-, middeldjups- og djupvannsdata. I senere år f.eks. i GLOBEC- og Norskehavsprogrammet og i flerbstandsundersøkelsen, har vi hatt en utvikling mot systematisk å sette ulik informasjon fra biologi og alle grener av oseanografi inn i mer helhetlige økologiske sammenhenger. Her har nasjonale og internasjonale forskningsmiljøer erfart at det må settes nye krav til et bredere og mer konformt biologisk datagrunnlag som igjen setter spesielle krav til instrumentering og metoder for datainnsamling. For å oppfylle slike krav må det tas et nasjonalt og internasjonalt koordinert metodisk og teknologisk løft for å framstille egnet integrert instrumentering.

Denne erkjennelsen ble systematisert og konkretisert ved Havforskningsinstituttet i midten av 90-årene og første søknad om delfinansiering av forskning og utvikling av et integrert system for to tauete farkoster og en droppsonde ble sendt Norges forskningsråd i 1998. Søknaden ble ikke støttet. Året etter ble ny søknad sendt med noe endret bearbeidingsprofil idet vi fant det riktig å starte opp via et ettårig forprosjekt som skulle legge et faglig og organisatorisk fundament for det påfølgende hovedprosjektet. Et nytt viktig element var da kommet inn idet Havforskningsinstituttet hadde fått politisk aksept for og blitt tildelt prosjekteringsmidler for å bygge et nytt forskningsfartøy til erstatning for nåværende "G.O. Sars". Ved å koordinere disse to prosjektene kunne mye vinnes faglig og finansielt for å sikre bedre totalløsninger for de tauete farkostene og droppsonden.

Forprosjektet ble tildelt midler for 2000 der vi har innhentet, bearbeidet og vurdert informasjon om tilgjengelige farkoster, spesielt med potensial som grunntauet farkost i vårt konsept, men også momenter for ny, større djuptauet farkost og for droppsonden. For instrumentering og dataoverføring har vi innhentet, bearbeidet og vurdert informasjon om akustiske og optiske målesystemer og videobaserte planktonmålere, miljøsensorer, sensorer for plattformovervåking og telemetri og data- og overføringskapasitet for målesensorene på fiberoptisk kabel mhp. en eller flere fiberoptiske ledere og signaldriverteknologi. Ut fra dette har vi gitt tilrådinger for mulige tekniske og operasjonelle løsninger for det totale systemet idet vi i stor grad skal nyttiggjøre oss samme type instrumentering, dataoverføringskonsept og målemetoder for de tauete farkostene og droppsonden.

Arbeidet har vært utført i et samarbeid mellom Havforskningsinstituttet, Bergen, Simrad AS, Horten, og NUI AS, Bergen, med Hydro Force Technologies AS, Bergen, og Innova AS, Sandnes, som inviterte underleverandører.

Forprosjektet har vært finansiert av Norges forskningsråd, Havforskningsinstituttet, Simrad AS og Hydro Force Technologies AS med en prosentmessig fordelingsprofil på henholdsvis 57 %, 37 %, 3 % og 3 %.

Denne Fisker og Havet-versjonen av forprosjektrapporten er den samme som ble sendt Norges forskningsråd, 20. desember 2000, med tillegg av "forord", "sammendrag" og "summary" for å oppfylle krav fra Fisker og Havet. Videre er det foretatt noen rettinger og mindre presiseringer i teksten i forhold til originalen.

Prosjektleder vil takke medforfatterne for solide bidrag til rapporten. Det samme uttrykkes overfor Atle Totland, HI, Jan Blystad Seim, NUI AS, Erik Stenersen, Simrad AS, Jan Ådland, Hydro Force Technologies AS og Jan Ulriksen, Innova AS. Spesiell takk til Hans Petter Knudsen for samarbeidet med å sammenfatte og redigere rapporten.

Bergen 16.12.00

John Dalen (s.)
prosjektleder

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	2
INNHOLDSFORTEGNELSE	4
SAMMENDRAG	6
SUMMARY	8
1 INNLEDNING	11
2 MÅL	12
2.1 Hovedprosjektet	12
2.2 Forprosjektet	13
3 HOVEDAKTIVITETER I FORPROSJEKTET	14
3.1 Hvordan arbeidet er utført	14
3.2 Hva er utført	14
4 SYSTEMANALYSE OG TILRÅDINGER	15
4.1 Innledning	15
4.2 Operasjonelle og funksjonelle krav	15
4.3 Sjøenhetene	20
4.3.1 Bakgrunn	20
4.3.2 Djuptauet farkost	21
4.3.3 Grunntauet farkost	24
4.3.4 Droppsonde	26
4.4 Akustisk utrustning	27
4.4.1 Bakgrunn	27
4.4.2 Djuptauet farkost	31
4.4.3 Grunntauet farkost	32
4.4.4 Droppsonde	33
4.5 Optiske observasjonssystemer	33
4.5.1 Bakgrunn	33
4.5.2 Større systemer for planktonoppservering	34
4.5.3 Andre optiske sensorer og målesystemer	35
4.6 Andre sensorer og enheter	37
4.6.1 Bakgrunn	37
4.6.2 Miljøsensorer og -instrumentering	37
4.6.3 Sensorer for plattformovervåking	38
4.7 Kommunikasjonslinken	39
4.7.1 Bakgrunn	39
4.7.2 Krav til kablene og kabelrelaterte enheter	40
4.8 Datahåndtering	41
4.9 Vinsjer og plattformhåndtering	42
4.10 Modularisering og felles bruk av enheter og teknologi	43

5	ORGANISATORISKE OG FINANSIELLE VURDERINGER OG TILRÅDINGER	45
5.1	Viktige organisatoriske og finansielle forhold	45
5.2	Prosjektpartnere og organisering	46
6	REFERANSER	47
	VEDLEGG I: MÅLEPARAMETRE OG INSTRUMENTERING FOR SJØNHETENE	52
	VEDLEGG II: PLANLAGTE KABELOPERERTE FARKOSTER OG SONDER PÅ NYTT FORSKNINGSFARTØY	53

SAMMENDRAG

I hovedprosjektet, "Multibrukssystem for tauete farkoster og droppsonde", skal det utvikles et integrert system der sjøenhetene utgjøres av to tauete farkoster og en droppsonde med sine innebygde akustiske sende- og mottakerenheter og signaltilpasningsenheter for dataoverføring som i stor grad bruker felles teknologi for fiberoptisk og elektrisk kabel, vinsj og signalbehandlingsenheter. I den ene tauete farkosten og droppsonden ønsker vi i tillegg å inkludere optisk plankton teller, videokamera og fluorescenssensor. Temperatur- og saltholdighets-sensorer og lysmålere bør inkluderes i alle. Alle sjøenhetene skal utstyres med nødvendige telemetrisensorer med tilpasningselektronikk for optimal og sikker operasjon.

For å kunne arbeide mer målrettet og tidseffektivt og med vel akseptabel prosjektrisiko i hovedprosjektet har vi funnet det riktig først å gjennomføre et ettårig forprosjekt.

Det planlagte multimålesystemet må baseres på teknologi fra flere områder som skal integreres. Dette gjelder i hovedsak teknologi for undervannsfarkoster med sine operasjonelle karakteristika, akustisk og optisk måleteknologi, teknologi for miljøsensorer, høyhastighets- og høykapasitets overføringsteknologi for fiberoptisk kabel og informasjonsteknologi for analyse- og presentasjon av innsamlede data. I størst mulig grad skal vi benytte oss av tilgjengelig teknologi som tilfredsstiller våre krav, men med nødvendig nyutvikling og tilpasning der dette kreves. Integrasjon og optimalisering med avveining av tekniske løsninger er nøkkelbegreper i denne type arbeid. Hovedaktivitetene her har vært:

- a) innhente og bearbeide informasjon om tilgjengelige farkoster og droppsonde med målsetning å finne plattformtyper som i størst mulig grad ivaretar nødvendig funksjonalitet og stabilitet i forhold til ønsket sensorutrustning,
- b) innhente og bearbeide informasjon om akustiske systemer for fisk og dyreplankton og om optiske og videobaserte planktonmålere for dyreplankton og miljøsensorer,
- c) innhente og bearbeide informasjon om sensorer for plattformovervåking og telemetri,
- d) analysere og vurdere data- og overføringskapasitet for målesensorene på fiberoptisk kabel mhp. en eller flere fiberoptiske ledere og signalpakkings- og driverteknologi,
- e) gjennomføre en første (overordnet) analyse av og tilrådinger for målesystemet basert på uttalte behov for kartlegging og kvantitativ måling av fisk og plankton fra overflaten (2 m) til djupt vann (1200 m) i lys av operasjonelle krav,
- f) dokumentere arbeidet i en forprosjektrapport.

Når det gjelder tauete farkoster, er det ingen eksisterende enhet som direkte kan brukes i henhold til våre krav til instrumentering og operasjon. Noen av konstruksjonene har potensialer som med visse ombygninger og tilpasninger kan danne utgangspunkt for de to konseptene vi senere vil gå for. Droppsonden vil bli svært spesiell hva angår instrumentering, montering og operasjon av disse. Dette indikerer at vi bør gå for en fra grunnen utviklet enhet.

For akustiske målesystemer arbeider vi i dag med flerfrekvente systemer basert på diskrete frekvenser både for observere og estimere mengde av fisk og observere dyreplankton. Med den djuptauete farkosten med hovedformål å observere fisk, bør vi kunne måle på opptil fem frekvenser for å dekke aktuelle arter og størrelsesområder. Den grunntauete farkosten og droppsonden med hovedformål å observere dyreplankton og ichtyoplankton bør inkludere målesystemer for åtte til tretten frekvenser for å dekke aktuelle arter og krav til mengde- og størrelsesestimering.

Det er for tiden en utvikling for å anvende akustisk bredbåndsteknologi innen nevnte områder. Når denne attraktive teknologien blir tilgjengelig, faller disse kravene til antall frekvenser bort idet brede frekvensbånd blir tilgjengelige for målinger etter spesifiserte målesekvenser.

En rekke optiske observasjons- og målesystemer er aktuelle for å montere på farkostene og droppsonden. Disse spenner fra enkle fluorescenssensorer som bør inkluderes på alle sjøenhetene. Optisk partikkel- og plankton teller, videokamerasystem med stroboskoplisk kilde for planktonmåling og klorofyll- og UV-fluorometre bør monteres på den grunntauete farkosten og droppsonden. Videre bør droppsonden ha stillbildekamera med blits og gjennomskinnelighetsmåler.

Når det gjelder instrumentering for å måle miljøparametre, vil denne være ganske ulik for de tre plattformene. Droppsonden vil naturlig ha den mest omfattende instrumenteringen som i tillegg til allerede nevnt akustisk og optisk instrumentering, bør omfatte vannhenter, sensorer for måling av saltholdighet, temperatur, djup, næringssalter og flernetthåv med gjennomstrømningsmåler. Begge de tauete farkostene bør utstyres med mini CTD-sonde.

For sikker operasjon og kontroll av målesituasjonene og datainnsamlingen er det viktig at plattformene instrumenteres spesielt for plattformovervåking og -operasjon og for instrumentovervåking. Alle plattformene bør ha toaksete inklinometre, kompass og et visst antall lekkasjesensorer i elektronikkene. De tauete farkostene bør ha posisjoneringssystemer og den djuptauete farkosten bør ha antikollisjonssonar.

Med det omfattende sett av sensorer på plattformene setter dette store krav til kommunikasjonslinken og datakapasitet mellom overflatefartøyet og sjøenhetene. Dette skal løses ved bruk av single modus fiberoptisk teknologi og høyhastighets ethernet-teknologi med datahastighet i størrelsesorden 1 Gb/s. For å ha en viss kapasitetsfleksibilitet og ønsket redundans tilrår vi å bruke systemer for 1,5 Gb/s. Denne teknologien er tilgjengelig i dag.

Det vil bli lagt vekt på standardisering av vinsjøsningene. I utgangspunktet kan en bruke samme vinsj for de to tauete farkostene. Dersom vi kommer fram til ulike typer kabel for farkostene, vil likevel ikke dette bli aktuelt. Ved valg av vinsj-systemer vil det bli lagt vekt på at de må ha fjernkontroll, finregulert hastighetskontroll, hiv-kompensering og kabelstrekkkontroll, samtidig som de skal bære full dynamisk last ved sjøsetting og ombordtakning.

Havforskningsinstituttet og samarbeidspartnerne har siden 1999 hatt planer om direkte oppfølging i 2001 av forprosjektet fra 2000 i et hovedprosjekt når tilstrekkelig faglig informasjon og mulige løsninger for multimålesystemet var dokumentert. Et av hovedargumentene for dette er de betydelige faglige og finansielle synergieffekter vi kan oppnå i et integrert samvirke med det "nye forskningsfartøyprosjektet" ved Havforskningsinstituttet. Et annet viktig argument er at når faglige og ressursmessige faktorer og krav i et forprosjekt er oppfylt, er alt å vinne ut fra slike faktorer ved en direkte videreføring i et hovedprosjekt sammen med at anbefalte framdriftsskjemaer tilsier dette.

SUMMARY

Within the main project "Multi-user system for towed vehicles and drop sonde", we will develop an integrated system where the sub sea units; the platforms, will be two towed vehicles and a drop sonde. All platforms will have acoustic transmit and receiver units, and signal conditioning units for data transfer which to a large extent applies common technology for fibre optic and electric cable, winch and signal processing units. Within one of the towed vehicles and the drop sonde we additionally want to include optic plankton counter, video camera, and fluorescence sensor. Temperature and salinity sensors and light meters ought to be included in all sub sea units. All platforms will be equipped with necessary telemetry sensors and interfaces for optimal and safe operation.

To be able working more directly by objectives and time efficient as well as with acceptable project risk within the main project we have decided first to carry out a one year pilot project.

The planned multi-measuring system will naturally be based on technology from several fields which are to be integrated. This accounts mainly for the technology of sub sea vehicles included operational characteristics, acoustic and optic measuring technology, the technology of environmental sensors, high capacity communication technology for fibre optic cable, and information technology for analyses and presentation of acquired data. To the greater extent we will apply off-the-shelf available technology fulfilling our requirements, but with sufficient adapting and new developments where needed. Integration and optimising with trade offs for technical solutions are key terms within this way of working. The main activities have been:

- a) acquire and process information of available vehicles and drop sondes to find platform types which to a greater extent fulfil necessary functionality and stability in relation to wanted sensor equipments,
- b) acquire and process information of acoustic systems for fish and zooplankton and from optic and video based plankton counters for zooplankton and environmental sensors,
- c) acquire and process information of sensors for platform monitoring and telemetry,
- d) analyse and evaluate the total data capacity of all sensors as well as the communication link capacity with fibre optic cable with regards to one or more fibre optic conductors and signal compressing and driver technology,
- e) carry out a joint analyses and recommendations for the measurement system based on pronounced needs for mapping and quantitative estimations of fish and plankton from the surface (2 m) to deep waters (1200 m) in relations to operational requirements,
- g) documenting the work in a pilot project report.

When it comes to the towed vehicles, there are no existing platform which directly may be applied according to our requirements to the instrumentation and operation. Some of the constructions have potentials which with some rebuilding and adaptations may form basics for the two concepts we later on will go for. The drop sonde will be rather special regarding instrumentation, mounting and operation which indicates that we ought to go for a special designed unit.

For acoustic systems we are presently working with multi-frequency systems based on discrete frequencies both for observing and estimating abundances of fish and to observing zooplankton. With the deep towed vehicle of main objective in observing fish, we ought to measure on up till five frequencies to cover actual species and their size ranges. The shallow

towed vehicle and the drop sonde of main objective in observing zooplankton and ichthyoplankton ought to include acoustic systems with eight to thirteen frequencies to cover actual species and requirements of abundance and size estimations.

At the time being there are R&D activities within the mentioned field in applying acoustic broadband technology. When this attractive technology will be available, the requirements to number of frequencies are not relevant anymore while wide frequency bands will be available for measurements in relation to specified measuring sequences.

A number of optic observation and measuring systems are actual to be mounted on the vehicles and on the drop sonde. They span from rather simple fluorescence sensors which ought to be included in all platforms to more complex optic particle and plankton counters, video camera systems with stroboscope light sources for plankton measurements and chlorophyll and UV-fluorometers which ought to be mounted on the shallow towed vehicle and on the drop sonde. On top of that the drop sonde ought to have still picture camera and flash light, and transparency sensor.

When it comes to instrumentations to measuring environmental parameters, this will be different for the three platforms. The drop sonde will obviously have the most extensive instrumentation as additionally to the mentioned acoustic and optic instrumentation, which got to comprise water samplers, sensors for measuring salinity, temperature, depth, nutrients, and a multi-net with flowmeter. Both towed vehicles ought to have mini CTD sondes.

For safe operation and to controlling the measuring situations and data acquisition it is important that the platforms got to have special instrumentation for platform monitoring and operation and for instrument monitoring. All platforms should have two axial inclinometers, a compass, and a number of leakage sensors in certain electronic units. The towed vehicles got to have positioning systems while the deep towed one ought to have anti collision sonar as well.

Regarding the comprehensive number of sensors on the platforms this creates specific requirements to the communication link and its data capacity between the surface vessel and the sub sea units. This will be solved by applying single mode fibre optic technology and high capacity Ethernet technology having data rate at the order of 1 Gb/s. In order to have some flexibility regarding capacity and requested redundancy we recommend applying systems for 1,5 Gb/s which at present is off-the-shelf technology.

Standardizing of winch solutions are recommended. At first hand we may apply the same winch for the two towed vehicles. If the outcome will be different cable configurations for the two vehicles this solution is not relevant. When choosing winch systems it will be emphasized on remote control, micro adjusted speed control, heave compensation and tension control, as well as they have to carry full dynamic load when launching and retrieving the sub sea units.

The Institute of Marine Research and its collaborating partners have had plans since 1999 to directly follow up the pilot project from year 2000 in a main project from 2001 when sufficient professional information and potential solutions for the multi-measuring system were documented. One of the main arguments for this is the considerable professional and financial synergy effects we may gain from integrated joint actions with the "new research vessel project" at the Institute of Marine Research. Another important argument is when professional and resources related factors and requirements of a pilot project are fulfilled,

considerable gain from such factors may be achieved by a direct proceeding into the main project as well as this is the pronounced recommended progress schemes.

1 INNLEDNING

Behovene for å kunne samle inn kvalitetsdata med nødvendig oppløsning i tid og rom, stabilitet og konfidens fra fiske- og planktonfordelinger fra overflaten og ned til store havdyp fra samme fartøy under de fleste værforhold har lenge vært et uttalt mål. Utviklingen hittil har vært å bruke separate og ulike løsninger både på metode- og instrumenteringssiden for å samle inn gruntvanns-, middeldjups- og djupvannsdata. I senere år f.eks. i GLOBEC- og Norskehavsprogrammet (Skjoldal *et al.* 1993) og i flerbestandsforskningen, har vi hatt en utvikling mot systematisk å sette ulik informasjon fra biologi og alle grener av oseanografi inn i mer helhetlige økologiske sammenhenger. Her har nasjonale og internasjonale forskningsmiljøer erfart at det må settes nye krav til et bredere og mer konformt biologisk datagrunnlag som igjen setter spesielle krav til instrumentering og metoder for data-innsamling. For å oppfylle slike krav må det tas et nasjonalt og internasjonalt koordinert metodisk og teknologisk løft for å framstille egnet integrert instrumentering.

I dette prosjektet søker vi i stor grad å nyttiggjøre oss samme type instrumentering, dataoverføring og målemetoder for to tauete farkoster og en droppsonde. Forprosjektet skal belyse viktige sider ved dette.

Høykvalitets kartlegging og mengdemåling av djuptstående fisk og plankton, 400-1200 m, kan oppnås med djuptauete, akustisk instrumenterte farkoster (Dalen, Bodholt, and Sogn 1995, Kloser 1996, Kloser, Koslow, and Williams 1996). Ut fra operasjonell krav og behov - arbeide over store havområder og ned til store djup med akseptabelt tidsbruk, er det bare tauete farkoster som for lang tid framover tilfredsstillende slike krav og behov sammenlignet med andre farkostkonsepter som f.eks. fjernstyrte undervannsfarkoster (ROV) og autonome farkoster (AUV).

En grunntauet akustisk og optisk instrumentert farkost som kan taues i 2-10 knops fart ut fra siden fra fartøyet og observere fra 2 til 200 m, vil kunne gi høy romlig oppløsning av dyreplanktonfordelinger og yngel samt supplerende data for kartlegging av fiskestimer (Melle *et al.* 1993, 2000, Melle, Røttingen, and Skjoldal 1994, Kaartvedt *et al.* 1996, Misund, Melle, and Fernø 1997, Torgersen *et al.* 1997, Dalpadado *et al.* 1998).

En flerfrekvent akustisk droppsonde som kan observere fra 2 til ca. 1000 m, vil kunne gi informasjon om fiskefordelinger og forekomster av byttedyr med høy vertikal oppløsning samtidig som problemet med unnvikelse fra observasjonsvolumet for de større byttedyrene unngås. Av spesiell interesse er å få gode punktobservasjoner fra sammensatte, djupere ekkolag av fisk, mikronekton og dyreplankton mellom 150 og 1000 m. Forsøk har vist at nedsenkbare svingere løser opp den interne strukturen i de djupere lagene på en unik måte (Dalen *et al.* 1995, Ona and Svellingen 1999, Ona *et al.* 1999).

2 MÅL

2.1 Hovedprosjektet

I prosjektet, "Multibrukssystem for tauete farkoster og droppsonde", skal det utvikles et integrert system der sjøenhetene utgjøres av to tauete farkoster og en droppsonde med sine innebygde akustiske sende- og mottakerenheter og signaltilpasningsenheter for dataoverføring som i stor grad bruker felles fiberoptisk og elektrisk kabel, vinsj og signalbehandlingsenheter. I den ene tauete farkosten og droppsonden ønsker vi i tillegg å inkludere optisk plankton teller, videokamera og fluorescenssensor. Temperatur- og saltholdighetssensorer og lysmålere bør inkluderes i alle. Alle sjøenhetene skal utstyres med nødvendige telemetrisensorer med tilpasningselektronikk for optimal og sikker operasjon.

For å oppfylle nevnte krav og behov ser vi at det må tas et koordinert metodisk og teknologisk løft. Denne erkjennelsen er bl.a. basert på at selv om vi i dag finner en rekke kommersielt tilgjengelig tauete farkostsystemer, er bruksområdene for disse i mange tilfeller relativt begrensede. Dette skyldes at de i stor grad er utviklet for spesielle formål og oppgaver som ikke er særlig overlappende med de behov Havforskningsinstituttet søker å dekke gjennom dette og samarbeidende prosjekter. Mulighetene for å bære et større utvalg sensorer, både akustiske og optiske måleinstrumenter, er derfor begrenset. Ulike konstruksjonsprinsipper og hydrodynamisk utforming gjør at noen systemer kun er egnet for lave tauehastigheter, mens andre igjen kan taues med større fart, men da er det avgrensede muligheter for å montere større instrument- og sensorpakker. Løsninger for å overføre måledata fra farkosten til overflatefartøyet er i mange tilfeller basert på kundespesifikke løsninger som gir liten fleksibilitet dersom en ønsker å endre eller utvide sensorutrustningen som er typisk for dette prosjektet.

I utvikling av målesystemet skal det legges vekt på å nyttiggjøre seg teknikker og løsningsmetoder innen det siste av teknologisk utvikling. Dette gjelder for semibredbånds akustiske svingere, splittstrålesvingere (eks. ny ekkoloddteknologi/EK60), høyhastighets- og høykapasitets dataoverføring på fiberoptisk kabel (eks. "Fast Ethernet"-teknologi) og kraftige og kostnadseffektive datamaskiner med siste generasjons elektronikk og programvare for signalbehandling og for grafisk og numerisk presentasjon av data og resultater.

Utviklingsarbeidet vil være rettet mot:

- utvikle et integrert system der sjøenhetene utgjøres av to tauete farkoster og en droppsonde,
- implementere ny ekkoloddteknologi i sjøenhetene og på fartøyet med send-/motta- og signaltilpasningsenheter for dataoverføring og databehandlings- og presentasjonsenhet på fartøyet,
- implementere optisk plankton teller, videokamera, stroboskoplyskilde og fluorescenssensor med signaltilpasningsenheter i den ene tauete farkosten og i droppsonden og mottaker- og presentasjonsenheter på fartøyet,
- implementere temperatur-, saltholdighets- og lysmåler og utvikle telemetrisensorer med omvandlings- og driverelektronikk i alle sjøenhetene,
 - utvikle og tilpasse all dataoverføring for bruk av felles fiberoptisk og elektrisk kabel, vinsj og signalbehandlingsenheter i sjøenhetene og på fartøyet,
- utvikle et styre- og overvåkingssystem på fartøyet for optimal og sikker operasjon av alle sjøenhetene og fartøyet.

2.2 Forprosjektfase

Det planlagte multimålesystemet vil naturlig måtte baseres på teknologi fra flere områder som skal integreres. Dette gjelder i hovedsak teknologi for undervannsfarkoster, akustisk og optisk måleteknologi, teknologi for miljøsensorer, høyhastighets- og høykapasitets overførings-teknologi for fiberoptisk kabel og informasjonsteknologi for analyse- og presentasjon av innsamlede data. I størst mulig grad skal vi benytte oss av tilgjengelig teknologi som tilfreds-stiller våre krav, men med nødvendig nyutvikling og tilpasning der dette kreves. Integrasjon og optimalisering med avveining av tekniske løsninger er nøkkelbegreper i denne type arbeid.

For å kunne arbeide mer målrettet og tidseffektivt og med vel akseptabel prosjektrisiko i hovedprosjektet har vi funnet det riktig først å gjennomføre et ettårig HI-styrt forprosjekt.

Hovedaktivitetene her har vært:

- a) innhente og bearbeide informasjon om tilgjengelige farkoster og droppsonde med mål-setning å finne plattformtyper som i størst mulig grad ivaretar nødvendig funksjonalitet og stabilitet i forhold til ønsket sensorutrustning,
- b) innhente og bearbeide informasjon om optiske og videobaserte planktonmålere og miljø-sensorer. Relevant kompetanse om akustiske systemer finnes i stor grad ved Simrad og HI - denne informasjonen skal suppleres, bearbeides og inkluderes,
- c) innhente og bearbeide informasjon om sensorer for plattformovervåking og telemetri,
- d) analysere og vurdere data- og overføringskapasitet for målesensorene på fiberoptisk kabel mhp. en eller flere fiberoptiske ledere og signalpakkings- og driverteknologi,
- e) gjennomføre en første (overordnet) analyse av og tilrådinger for målesystemet basert på uttalte behov for kartlegging og kvantitativ måling av fisk og plankton fra overflaten (2 m) til djupt vann (1200 m) i lys av operasjonelle krav,
- f) dokumentere arbeidet i en forprosjektrapport.

Forprosjektrapporten er planlagt til å bli et tjenlig og viktig dokument for analyse- og spesifikasjonsfasen i hovedprosjektet og for "Nytt forskningsfartøyprosjektet" ved Havforskningsinstituttet.

3 HOVEDAKTIVITETER I FORPROSJEKTET

3.1 Hvordan arbeidet er utført

I løpet av forprosjektperioden har vi innhentet og bearbeidet informasjon fra en rekke leverandører av tauete plattformer i tillegg til instrumentering som kan være aktuelt å bygge inn i slike farkoster. Dette er hovedsakelig gjort ved elektronisk informasjonsinnhenting via Internett, telefoniske kontakter og ved direkte forespørsler og kontaktmøter på Oceanology International 1998 (jf. NFR-søknad, juni 1998) og 2000 i Brighton.

For å få fram ny informasjon og for å effektivisere bearbeiding, evaluering og tilrådinger basert på tilgjengelig informasjon har vi arrangert to 2-dagers prosjektseminarer/workshop-er med deltaking fra Havforskningsinstituttet, NUI AS (Norsk Undervannsinntervensjon AS), Simrad AS og Hydro Force Technologies AS (HFT AS). Programmet for workshop-ene var strukturert som idédugnader for tekniske og operasjonelle delemner med etterfølgende vurdering og tilråding av løsninger basert på behov for og krav til målemetoder og type innsamlet informasjon. Videre skulle vi framskaffe formulerte bidrag til rapporten.

3.2 Hva er utført

Den innsamlete og bearbeidete informasjonen har i det vesentligste omfattet:

- tilgjengelige farkoster, spesielt med potensial som grunntauet farkost i vårt konsept, men også momenter for ny, større djuptauet farkost og for droppsonden,
- akustiske og optiske målesystemer og videobaserte planktonmålere,
- miljøsensorer som skal integreres i sjøenhetene,
- sensorer for plattformovervåking og telemetri og
- data- og overføringskapasitet for målesensorene på fiberoptisk kabel mhp. en eller flere fiberoptiske ledere og signaldriverteknologi.

Spesifikt har vi innhentet tekniske og operasjonelle data og priser (delvis) på et betydelig utvalg tauete farkoster der farkostene i seg selv eller instrumenteringen - type og bruk - kan være interessante i vår sammenheng. En oversikt over dette er presentert i tabell 4.1.

Når det gjelder instrumentering av farkoster, er det innhentet data fra en rekke leverandører på: Lysmålere, fluorimetre, gjennomskinnelighetsmålere, CTD-sonder, ekkolodd og svingere, optisk plankton teller, videosystem, dybdemålere, inklinometre, antikollisjonssonarer, og signalomformere, -svitsjer, -koplere og -drivere ved bruk av ethernetteknologi og fiberoptisk kabel.

Det er også framskaffet data for egnede kabeltyper for overføring av større datamengder fra tauete farkoster som skal opereres med flerfrekvent ekkolodd, avansert optisk instrumentering og telemetri- og miljøsensorer og videre informasjon om vinsjer, sleperingsenheter og kabelblokker.

All relevant informasjon som vi har samlet inn og bearbeidet, er i ulike former uttrykt i forprosjektrapporten i tilknytning til operasjonelle krav og måle- og informasjonsbehov.

4 SYSTEMANALYSE OG TILRÅDINGER

4.1 Innledning

Det totale systemet må analyseres og evalueres i forhold til definerte behov og krav for:

- måling, kartlegging og kvantitativ estimering av romlige fordelinger og biomasse av fisk, mikronekton og plankton.
- måling og logging av miljøparametre.
- måling og logging av plattform- og telemetriparametre.
- dataoverføring for all måle- og styreinformasjon over hybrid fiberoptisk og elektrisk kabel. Spesielle vurderinger må gjøres for å håndtere overføring av data fra mange og ulike datakilder.

Tabell 4.1 viser en oversikt over innsamlet informasjon med karakteristika for tauete farkoster som kan være interessante i vår sammenheng.

Grunnlaget for kravspesifikasjonene og de tilrådte systemløsningene er basert på kompetanse og erfaring ved Havforskningsinstituttet, NUI AS, Simrad AS, Hydro Force Technologies AS, Innova AS og kontaktede produktleverandører. Dette er igjen supplert med annen innsamlet informasjon omkring aktuell teknologi. Finansielle forhold kan i siste faser ha påvirket våre tilrådte systemløsninger og valgte mekaniske og elektriske enheter og IT-enheter.

4.2 Operasjonelle og funksjonelle krav

Vurderinger og tilråding av løsninger har vi gjort i flere "fram-og-tilbake"-prosesser som baserer seg på operasjonelle og funksjonelle krav og kvaliteter. På lignende måte har vi lagt til grunn behovene for og kvalitet av ulike typer innsamlet informasjon med tilhørende instrumentering. Dette er ofte typisk arbeidsform når en skal foreta integrasjon av teknologier og avveining av ulike krav, behov og avgrensninger.

Plattformene i dette prosjektet er først og fremst sensorplattformer. Sensorene som skal benyttes har ulike og til dels motstridende krav til plattformen. For akustiske sensorer vil det være et krav om lavt støynivå, spesielt kan høyfrekvent støy være et problem. Likeledes vil det i enkelte sammenhenger være behov for nøyaktig styring av farkosten, gjerne med mulighet for målfølgning. Ved valg av farkostdesign vil det være nødvendig å inngå kompromiss mellom egengenerert støy og manøvrering.

For å få en totaloversikt over de spesifikke sensorkrav som vil være retningsgivende for valg av teknisk løsning, har vi satt opp i tabellform viktige karakteristika og tekniske løsninger på bakgrunn av operasjonelle og funksjonell krav og behov, se tabell 4.2.

Det må tas tilstrekkelig hensyn til at utstyret som framskaffes, skal opereres rutinemessig i meget røffe og ugjestmilde havområder. Både plattformene, kraner og vinsjer må utformes på en slik måte at de kan håndteres på en trygg måte med minst mulig værbegrensninger. En A-ramme eller lignende, som kan beveges over hekken fra akterdekket og helt ned i havflaten, vil være påkrevd for sikker operasjon av de tauete farkostene. På typiske forskningstokt vil operasjon av tauete farkoster foregå vekselvis med bruk av ulike trålredskaper og andre biologiske prøvetakingsredskaper. Farkostene må derfor være av størrelse og utforming slik at de kan opereres uten tidkrevende skifting av dekkarrangementet.

Tabell 4.1. Oversikt over tekniske og operasjonelle data fra et utvalg av tauete farkoster – ordnet alfabetisk etter produsent. (*Overview of technical and operational data from a selection of towed vehicles – in alphabetic order of producer*).

Farkost	Operasjonstype	Form	Depressor		Formål - standard utrustning	Farts-område [kn]	Produsent
			aktiv	passiv			
Biofin	fast djup, variabel	sledeform m. ror-/finnedel		x	fiskeriforskning; ekkolodd, video og oseanografiske sensorer	ikke oppgitt	BioSonics Inc.
SeaSoar MK II	djupundulerende (0-500 m)	flyform	x		overvåking; fysisk og biologisk oseanografi, fiskeriforskning	4,5-12	Chelsea Instruments Ltd
Nv-Shuttle	middeldjup-undulerende (0-150 m)	sledeform	x		overvåking; fysisk og biologisk oseanografi	5-15	Chelsea Instruments Ltd
Aquashuttle MK III	grunnundulerende (0-100 m)	sledeform	x		overvåking; fysisk og biologisk oseanografi	8-25	Chelsea Instruments Ltd
Scanfish MK II	fast djup, undulerende	flat finne/fjøl	x		overvåking; fysisk og biologisk oseanografi	5-12	Chelsea Instruments Ltd
EDO Mod. 4055 Deep Tow Survey System	djuptauet	V-finne m. torpedo-kropp		x	bunnkartlegging; sidesøkende sonar, lavfrekvent ekkolodd	2-8	Edo Western Corp.
EDO Mod. 4065 Deep Tow Survey System	djuptauet	torpedo-form	ikke oppgitt		bunnkartlegging; sidesøkende sonar, lavfrekvent ekkolodd	0,5-3	Edo Western Corp.
EDO Mod. 4075 Deep Tow Systems	djuptauet	torpedo-form	ikke oppgitt		bunnkartlegging; sidesøkende sonar, lavfrekvent ekkolodd	ikke oppgitt	Edo Western Corp.
Endeco/YSI Div. modeller	fast djup, variabel	V-finne	x	x	overvåking; fysisk og biologisk oseanografi, fiskeriforskning	2-20	Endeco/YSI Inc
Endeco/YSI Type 932	djuptauet	torpedo-form	ikke oppgitt		bunnkartlegging; sidesøkende sonar, lavfrekvent ekkolodd	ikke oppgitt	Endeco/YSI Inc

Tabell 4.1, forts.

Farkost	Operasjonstype	Form	Depressor		Formål - standard utrustning	Farts-område [kn]	Produsent
			aktiv	passiv			
HTF CatFish	fast djup, variabel	åpen kube		x	seismikk, bunnkartlegging; sidesøkende sonar, lavfrekvent ekkolodd	ikke oppgitt	Hydro Force Technology AS
Focus 400	fast djup, variabel maks. 400 m	åpen kube	x		rørinspeksjon, bunnkartlegging; div. sonarer, video	1-5	MacArtney ApS
Focus 1500	fast djup, variabel maks 1500 m	åpen kube	x		rørinspeksjon, bunnkartlegging; div. sonarer, video	1-5	MacArtney ApS
Simrad VD500	djuptauet	torpedoform		x	fiskeriforskning; ekkolodd (2 frekvens)	2-12	Simrad AS
Sea PROBE	djuptauet	åpen/delt torpedoform		x	bunnkartlegging; sidesøkende sonar, lavfrekvent ekkolodd	ikke oppgitt	Sonar Equipment Services Ltd
Imbat	djuptauet	torpedoform		(x)	bunnkartlegging; sidesøkende sonar, lavfrekvent ekkolodd	2-6	Thompson Marconi Sonar S.A.S.

Tabell 4.2. Karakteristika, tekniske løsninger og utfall på bakgrunn av operasjonelle, funksjonelle og tekniske krav og behov. x: krav/behov må oppfylles, spec.: vil framkomme i spesifikasjonsfasen, "verbalt uttrykk": viktig presisering, "numerisk uttrykk": cirkaverdi for parameter, åpne celler: ikke relevant. (Characteristics, technical solutions and outcomes based on operational, functional, and technical requirements and needs. x: requirement/ need to fulfil, spec.: to appear during the specification phase, "verbal expression": important formulation, "numerical expression": approximate figure of parameter, open cells: not relevant).

		Multibrukssystem		
		Djuptauet farkost	Grunntauet farkost	Droppsonde
Farkost	Lokaliserbar (transponder, blinklys)	x	x	x
	Positiv oppdrift	"opsjon"	x	
	Eksterne påkjenninger (støt - slag)	x	x	x
	Materialvalg	spec.	spec.	spec.
	Trykkklasse	spec.	spec.	spec.
	Modularisering	x	x	x
	Nyttevolum/nytteareal	spec.	spec.	spec.
	Geometri	spec.	spec.	spec.
	Hydrodynamikk	x	x	
	Hastighetsområde (knop)	3 - 10	3 -10 (12)	0 (0-2)
	Primært djupneområde (meter)	200-800	2 -200	2 - 1000
Diverse funksjoner	Egenstøy fra farkost	kritisk	kritisk	
	Max. ut-/inntid	<30 min.	<30 min.	<30 min.
	Håndterbarhet	x	x	x
	Mobilitet mellom forskningsfartøy	x/spec.	x/spec.	x/spec.
Styringsmetodikk	Dødvekt	spec.	spec.	x
	Fjernstyrt depressor	spec.	spec.	
	Fast depressor	spec.	spec.	
	Horisontal styring/kursendring	spec.	x	
Kommunikasjon	Toveis/transparent	x	x	x
	Fiberoptikk	x	x	x
	Kapasitetsbehov/båndbredde	1,5 Gb/s	1,5 Gb/s	1,5 Gb/s
	Standardiserte kommunikasjonsprotokoller	x	x	x
	Fjernstyring fra operatørstasjon	x	x	x
	Redundans ("reserver")	x	x	x

Tabell 4.2, forts.

		Multibrukssystem		
		Djuptauet farkost	Grunntauet farkost	Droppsonde
Kontrollsystem	Distribuert kontrollsystem	x	x	x
	Sanntids overvåking og kontroll	x	x	x
	Forhåndsprogrammert kjøreplan		x	
	Automatiske nødsystemer	x	x	
	Alarmfunksjoner	x	x	x
	Antikollisjonssonar	x		
	Rotasjonssensor (kompass)			x
	Lekkasjesensor	x	x	x
	Referansestyring (auto djup/auto altitude)	?	x	
	Sanntids presentasjon av alle måledata	x	x	x
	Felles tid og posisjon (referansedata)	x	x	x
Kabel	Kledning	x	x	
	Bruddstyrke	spec.	spec.	spec.
	Arbeidsbelastning	spec.	spec.	spec.
	Kontrahelisk spunnet stålarmering	x	spec.	x/spec.
	Kunstfiberarmering		spec.	
	Antall elektriske ledere	2+	2+	2+
	Antall optiske fiberledere	2+	3+	3+
	Innfesting av kabel mot farkost	spec.	spec.	spec.
	Svivel			x
Operasjon	Utsetting/innhiving	spec.	spec.	spec.
	Værforhold (bølgehøyde i meter)	<5	<5	<5
	Undervannsposisjonering (HPR-type)	x	x	x
Kraftoverføring	220 V AC strømforsyning i UV-enhet	x	x	x
	Jordingsbehov (bevisst filosofi)	x	x	x

4.3 Sjøenhetene

4.3.1 Bakgrunn

Plattformene som skal framskaffes, har ulike krav avhengig av hvilke instrumentering og operasjonsmodus man vurderer. Utfordringen vil være å framskaffe sjøenheter som med tilstrekkelig kvalitet frambringer plattformer som dekker alle disse behovene. Forskjellen i anvendelsesområder og funksjonelle krav, har medført at vi i prosjektet vil satse på tre forskjellige plattformer for å dekke de målebehov som er identifisert som en del av prosjektet:

- * djuptauet farkost
- * grunntauet farkost
- * droppsonde

Med dødvektbaserte farkoster vil mulighetene til vertikal posisjonering være knyttet til regulering av hastigheten på fartøyet og lengde kabel i sjøen. Nøyaktigheten av posisjonen vil være lav, da reguleringsløyfen vil omfatte flere operative element med relativt lang respons-tid. Denne metoden kan også redusere hastigheten, spesielt i de djupeste områdene farkostene skal taues i. Krav til høy vekt kan i noen sammenhenger være en utfordring med hensyn på inn- og utsetting av farkostene fra fartøyet. Fordelen med denne metoden er at den - forutsatt god hydrodynamisk utførelse, i liten grad vil generere hydraulisk induisert støy, og derfor vil representere en ideell plattform for akustiske sensorer.

For droppsonden vil vertikal posisjon reguleres med bruk av vinsj, lateral posisjonering vil foregå ved posisjonering av fartøy, eventuelt supplert med bruk av et akustisk posisjoneringssystem.

Overvekten av sensorer som skal benyttes på de tauete farkostene, vil basere seg på akustiske målinger. En depressorløsning baserer seg på hydrodynamiske profilløft, og vil generere støy. Utfordringen vil være gjennom bevisst innsats i designfasen, å være i stand til å kontrollere parametrene som genererer støyen og derved kunne frambringe en farkost som støyer i andre deler av frekvensspekteret enn det som anvendes av aktuelle akustiske sensorer. Ved for hard belastning på depressoren(e) vil undertrykket på visse farkostdeler bli så stort at det kan genereres kavitasjonsstøy. Typisk for denne type støy er at den er høyfrekvent, og dekker et stort frekvensområde. Det vil derfor være nødvendig å frambringe en kavitasjonsfri utforming.

En annen utfordring for denne type farkoster vil være å framskaffe konstruksjoner med tilstrekkelig hydrodynamisk stabilitet til at dette ikke påvirker romlig stabilitet av måle-resultatene, og minimalisere behovet for spesiell etterprosessering og filtrering av måledata. Fordelen med denne type plattformer er at den tilbyr større operativ fleksibilitet, og at den håndteringsmessig vil være enklere. En kombinasjon av ovennevnte alternativer kan også være aktuell for å frambringe en optimal farkost.

Plattformenes utforming vil foruten hydrodynamiske hensyn også være avhengig av en geometri som både volummessig og utformingsmessig er i stand til å integrere dagens og til en viss grad også morgendagens sensorer.

Vi vil satse på modulær oppbygning av plattformene, slik at vi kan utvikle og modifisere elementene uavhengig av hverandre, og om mulig benytte felles utforming av noen av

elementene inn mot de tre plattformtypene.

Hovedelementene i farkostene vil være:

- neseseksjon med sensor- og elektronikkpakker – ellers dødvektsfunksjonalitet/depressor.
- midtseksjon med sensor- og elektronikkpakker.
- haleseksjon ev. med elektronikkpakker – ellers nødvendige kontrollfunksjoner.
- ror-styrefinneseksjon.

Kontrollsystemet på farkostene vil basere seg på en nettverksbasert løsning, med standardiserte overføringsprotokoller. Dette vil lette integrasjonen av nye sensorer, og vil også gjøre det enklere å modularisere elementene i konstruksjonen.

Vi vil søke å minimalisere antall komponenter i delsystemene på alle farkostene ved å kunne benytte ”ikke optimale”, men standardiserte komponenter. Dette gjøres for å redusere reservebehovet, og øke utstyrets operative tilgjengelighet, samtidig som man reduserer kompetansebehovet hos operatør/tekniker.

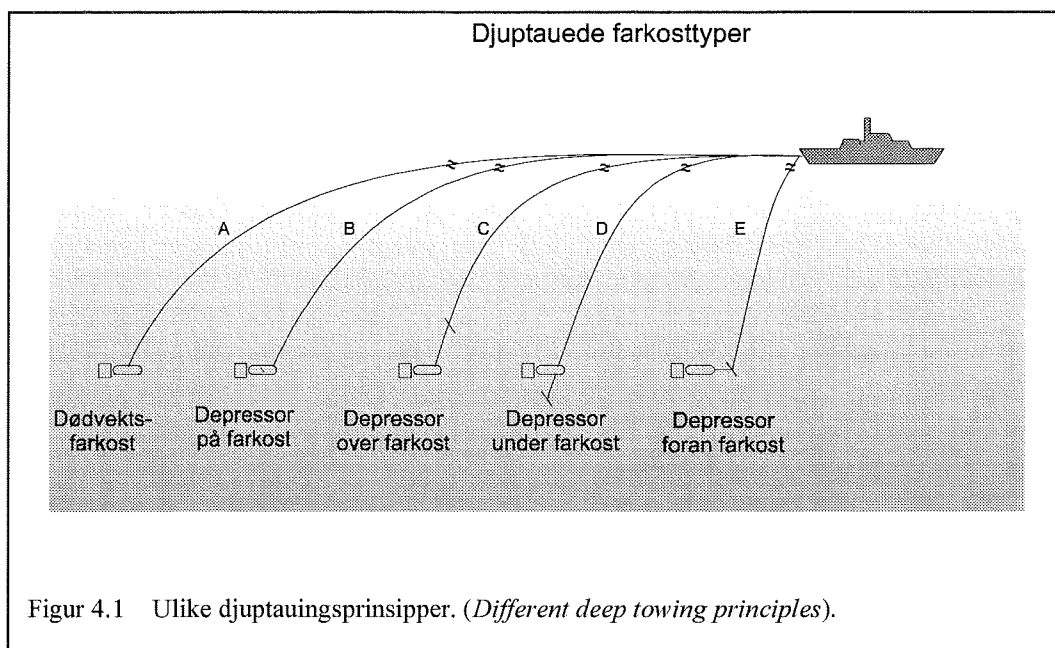
4.3.2 Djuptauet farkost

Som nevnt går tidligere erfaringer ut på at depressorstyrte farkoster kan generere uakseptable høye akustisk støynivåer. Dette kan ha sitt opphav både fra turbulens rundt farkosten og kavitasjon på visse farkostdeler. Av hensyn til ikke å påvirke adferden av måleobjektene (store dyreplankton og fisk) i nærheten av farkostene og for å oppnå et best mulig akustisk signal/støyforhold, må det for de tauete farkostene legges stor vekt på den hydrodynamiske utformingen og at tauekabelen må være kledd (“faired”). Kledd kabel reduserer vibrasjon på kabelen som genererer lavfrekvent vibrasjonsstøy samt at det reduserer den hydrodynamiske motstanden.

Våre hittil brukte djuptauete farkoster har vært av torpedoform typen med finner og ror uten depressorer, og opererer etter “dødvekts”-prinsippet. Dette betyr at en bare baserer seg på tyngdekraften som nedoverrettet kraft for å oppnå det djupet en ønsker. Balanserende oppoverrettet kraft er løftkraften i kabelen som er bestemt av fartøyets hastighet og kabeldraget som igjen er gitt av kabelens diameter og lengde kabel i sjøen. Kledd eller ikke kledd kabel i sjøen er også direkte medvirkende på kabeldraget. Dette prinsippet for å oppnå ønskede djup kan også være fordelaktig når det gjelder å styre og opprettholde stabil farkostatferd over hele tauehastighetsområdet og i røft vær med mye rull og stamp idet tyngdekraften alltid virker nedoverrettet uavhengig av farkostens rulle- og tiltvinkel. Nyere utvikling kan tyde på at lettere depressorstyrte farkoster med spesiell utforming kan være tilstrekkelig stillegående. Denne type farkoster vil være lettere å håndtere på dekk og de kan ha positiv oppdrift slik at sjansen for at de går tapt ved eventuelle uhell blir mindre. Farkosten må kunne opereres primært i djupneintervallet 200-800 m (sekundært: 50-1200 m) innenfor et fartsområde på 3-10 knop.

Når det gjelder vertikal posisjonering vil en ensidig depressorløsning gi et ekstremt krav til vertikalkraft. Horisontalkomponenten som er nødvendig for å trekke farkost og kabel gjennom vannmassene vil ha en tilhørende vertikalkraft som overstiger det som er praktisk gjennomførbart med en depressor (Lie 1988). For denne farkosten er en dødvektsløsning

eventuelt kombinert med en ”mindre” depressorkraft være å foretrekke. Farkosten vil være torpedoforment for optimal stabilitet, og nødvendig volummessig fleksibilitet vil bli tatt i



lengderetning for å unngå stor påvirkning av hydrodynamisk utforming.

Figur 4.1 viser ulike prinsipper for å skaffe seg ønsket tauedjup og i tabell 4.3 er vist vurderinger og konsekvenser for farkosttyper basert på dødvæktprinsippet og ev. med tillegg av depressorer. Alternativ D vil være mindre aktuell for vår instrumentutrustning idet depressoren kan skygge for det akustiske observasjonsvolumet. Fra tabell 4.1 ser vi at det er få djuptauete farkoster som baserer seg på å generere nedoverrettet kraft vha. depressorer. Endelig valg av farkosttype vil skje i hovedprosjektets analyse- og spesifikasjonsfase.

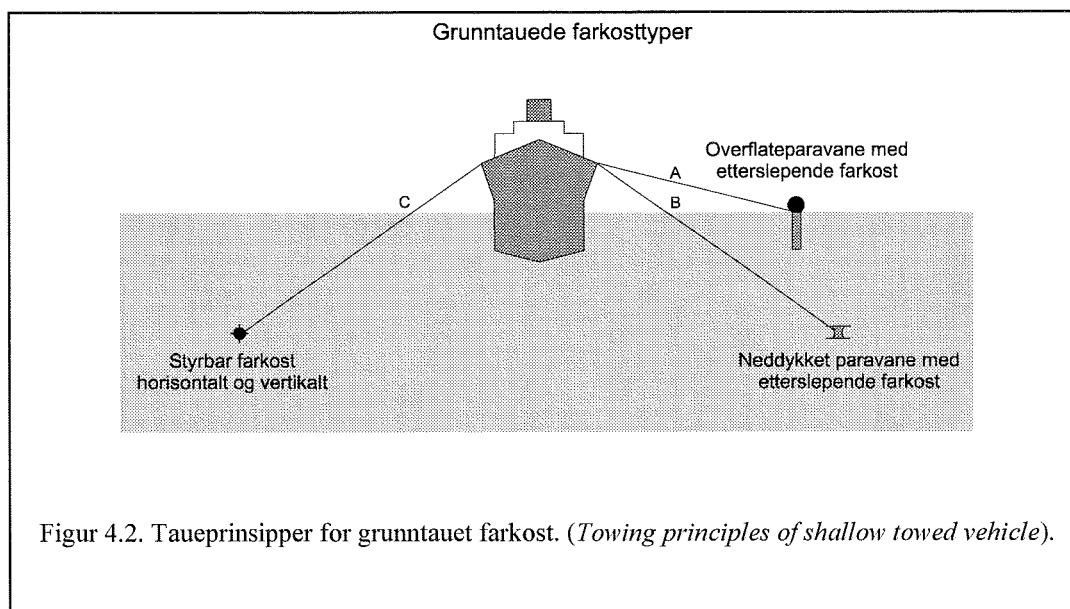
Tabell 4. 3. Karakteristika av ulike typer djuptauete farkosttyper med vurderinger. (*Characteristics of different types of deep towed vehicles with assessments*).

Djuptauet farkost			
Operasjonsdjup: 200-1000 m, hastighetsområde: 3-10 knop			
Farkostvarianter		Fordeler	Ulemper
1. Vertikalt styrbar farkost med sensorer	1.1. Dødvекtsfarkost	En farkost/enhet i sjøen medfører enklere håndtering. Mest gunstig løsning støymessig.	Krever lang kabel. Farkost må styres vertikalt vha vinsj/kabellengde og fart. Dårlig hastighets-/dybdepotensial.
	1.2. Depressorstyrt farkost	En farkost/enhet i sjøen medfører enklere håndtering. Stort hastighets-/dybdepotensial. Stort vertikalt styringspotensial, også i nødsituasjoner.	Støy fra turbulens og kavitasjon fra depressorfinner kan være kritisk.
2. Atskilt farkost med sensorer og depressorbord	2.1. Depressorbord på kabel over farkost	Akustisk utstyr mindre utsatt for støy fra depressorfinner/styreflater. Stort hastighets-/dybdepotensial. Stort vertikalt styringspotensial, også i nødsituasjoner.	Håndtering komplisert, to enheter i sjøen. Mulig skremmeeffekt på fisk og større plankton fra forangående depressorbord.
	2.2. Depressorbord i kabel/vaier under farkost	Akustisk utstyr mindre utsatt for støy fra depressorfinner/styreflater. Stort hastighets-/dybdepotensial. Stort vertikalt styringspotensial, også i nødsituasjoner.	Håndtering komplisert, to enheter i sjøen. Depressorbord og kabel kan komme innenfor akustisk observasjonsvolum.
	2.3. Depressorbord foran nøytral farkost	Akustisk utstyr mindre utsatt for støy fra depressorfinner/styreflater. Stort hastighets-/dybdepotensial. Stort vertikalt styringspotensial, også i naudssituasjoner.	Håndtering komplisert, to enheter i sjøen. Sannsynlig skremmeeffekt på fisk og større plankton fra forangående depressorbord.

4.3.3 Grunntauet farkost

Det er skilt mellom djuptauet og grunntauet farkost fordi krav til lateral styring, operasjonsdjup og behov for og kapasitet til å medbringe instrumentering og målesensorer er forskjellige. Den djuptauete farkosten skal kunne operere i dybdeområdet 50-1200 m, fartsområdet skal ligge mellom 3 og 10 knop og farkosten skal kunne bære færre akustiske svingere og andre sensorer enn den grunntauete. Det er for eksempel ikke krav til optiske instrumenter som må stå utenfor farkostens kropp. Den grunntauete farkosten har som krav at farkosten skal kunne opereres i høyere fart (opsjon), den skal bære flere akustiske svingere og den vil ha krav til flere typer sensorer og optiske måleinstrumenter med tilhørende lyskilder som må kunne stå i en viss avstand ut fra farkosten. I tillegg skal denne farkosten kunne opereres nær overflaten i god avstand fra skipet. Mens dagens djuptauete farkost er av dødvektstypen, er det lite sannsynlig at denne type farkost vil kunne dekke de operasjonelle krav som stilles til den grunntauete farkosten.

For grunntauet farkost vil kabelmotstanden være mindre enn for en djuptauet farkost pga. mindre kabel i sjøen og kravene til vertikal posisjonering vil relativt sett være større. For den grunntauete farkosten vil vi i utgangspunktet satse på en ren depressorløsning med styring av farkosten både i vertikal og lateral retning for optimal utnyttelse. Denne løsningen kan prinsipielt være lik med djuptauet farkost for alternativ C og E, se fig. 4.1. Noen sensorer kan i utgangspunktet være de samme som for djuptauet farkost. Det vil bli vurdert å bygge inn funksjonalitet for kjøring av de to farkostene samtidig for å kunne sette sammen og korrelere samtidige datasett fra forskjellige djup og for å øke total observasjonseffektivitet.



Ulike prinsipper for å imøtekomme taubehovene er vist i fig. 4.2. I tabell 4.4 er fordeler og ulemper ved mulige farkostvarianter og operasjonsmodi vurdert. Krav til egenvekt og nyttelast for farkosten er ikke vurdert i tabellen. Positiv oppdrift er satt som et krav til den grunntauete farkosten i tabell 4.2 ut fra at dette sannsynligvis er nødvendig for å kunne operere farkosten i 2 m djup i ønsket avstand fra fartøyet. Lav vekt hos farkosten vil imidlertid øke kravene til tilfredsstillende, aktiv vertikal styring av farkosten når den skal opereres i stor fart nær

Tabell 4.4. Karakteristika av ulike grunntauede farkoster med vurderinger. (*Characteristics of different types of shallow towed vehicles with assessments*).

Grunntauet farkost			
Operasjonsdjup: 2-200 m, hastighetsområde: 2-10 (12) knop			
Farkostvarianter		Fordeler	Ulemper
1. Overflatetauet paravane med etterslepende farkost	1.1. Farkostens djup regulert med vinsj eller blokk på paravane eller bruke slepevaier for paravane i tillegg til farkostkabel	Ustyret kommer vekk fra skipets kjølvann, lys og støy.	Krever variabel kabellengde mellom paravane og farkost. Djup-/kabellengdeendring kan bli komplekst. Bølgehøydebegrensing. Paravane-fungeringen kan kollapse i grov sjø. Rykk og ustabilslitet i grov sjø. Spesiell dimensjonering av dekkststyr. Stående turbulens i overflaten bak paravane. Akustisk støy fra paravane.
	1.2. Farkostens djup regulert med styrbare finner	Vil alltid måtte ligge langt bak paravane, og vil ikke være så utsatt for støy nær overflaten.	Farkost må utstyres med aktive styrefinner - håndteringsproblematikk. Bølgehøydebegrensing. Fare for at paravane-fungeringen kollapse i grov sjø. Rykk og ustabilslitet i grov sjø. Dimensjonering av dekkststyr.
2. Dybdekontrollerbar paravane	2.1. Instrumentert paravane	Håndtering enklere, en slepeenhet. Mulighet for å kjøre paravane mellom 2 og 100 m.	Akustisk utstyr kan være utsatt for støy.
	2.2. Nøytral farkost følger paravane	Akustiske sensorer kommer lengre unna støykilde (dvs paravane).	Håndtering blir mer komplisert. Vanskelig å balansere farkosten, mulig skremmeeffekt på fisk og større plankton.
	2.3. Farkostens djup regulert uavhengig av paravane med styrbare finner	Paravane kan settes i middeldjup, farkost kan styres aktivt opp og ned. Mindre støy fra paravane.	Håndtering blir mer komplisert. Krever to styrte tauesystemer.
3. Farkost uten paravane	3.1 Instrumentert farkost som er styrbar i vertikal- og horisontalplanet	En slepekabel. En farkost/enhet i sjøen å forholde seg til. Mindre støy. 3D operasjonsmodi. Kan unngå kjølvann fra skip ved å gå til begge sider. Kan velge horisontal kurs.	Lang slepekabel som må være lett. Må kjøres hardere for å komme i operasjonsdjup. Mulig ustabil (rulling) i "sideposisjon". Mulig komplisert styreelektronikk og -mekanikk.

maksimaldjupet innenfor farkostens primære operasjonsdjup, 2-200 m. Øket vertikal styrekraft ved hjelp av depressorer kan også her føre til mer egengenerert støy som først og fremst kan være et problem for de akustiske målingene, men som også kan føre til en generell unnvikelse bort fra farkosten hos større dyreplankton og fisk. Farkostvolum og nyttelast blir viktige faktorer tatt i betraktning kravet til antall akustiske svingere (8), de optiske måleinstrumentene (optisk plankton teller og videosystem med stroboskop) og flere andre sensorer. Særlig farkostens volum og form kan kunne komme i konflikt med kravene til høy fart og lav støy. I sum vil farkosten måtte bli et kompromiss mellom kravene til fart, lav egenstøy, operasjonsdjup, horisontal posisjonering, egenvekt, volum og nyttelast.

4.3.4 Droppsonde

Det er flere grunner til at vi ser det som nødvendig også å utvikle en droppsonde som plattform i multibrukssystemet. For det første ønsker vi å kunne gjøre detaljerte, samtidige optiske og akustiske observasjoner av høy kvalitet av plankton på store djup ned til 1000 m. For å identifisere og kvantifisere dyreplankton ønsker vi å kombinere informasjon fra fangst av dyreplankton i en flerposehåv med samtidige akustiske og optiske målinger. Det er også av stor betydning for kvalitet og analyse av de akustiske dataene å kunne gjøre gjentatte målinger (sende og motta mange ganger) i samme observasjonsvolum for å øke presisjon og forbedre målekonfidens (Kristensen and Dalen 1986). De samlede kravene til observasjonsmodi kan slik vi ser det, kun løses ved bruk av en vertikalprofilerende droppsonde utstyrt med en flerpose planktonhåv i kombinasjon med akustiske og optiske observasjonssystemer.

For droppsonden vil undervannsposisjonering reguleres med bruk av vinsj, lateral posisjonering vil foregå ved posisjonering av fartøy, eventuelt supplert med bruk av akustisk posisjonering av sonden. Et betydelig problem ved en droppsonde, i motsetning til en tauet farkost, er faren for at sonden kan rotere både under senking og hiving, noe som i verste fall kan medføre brudd av lederne i signalkabelen. Primært må vi søke å motvirke rotasjon med smarte, stabiliserende antirotasjonsløsninger. Dette vil bli vurdert løst ved å benytte en rorkonstruksjon, som sammen med "rotasjonsfattig" kabel kan eliminere rotasjon. For å unngå at kabelen blir ødelagt om sonden skulle rotere, må vi inkludere en optisk og elektrisk svivel mellom sonden og kabelen. Dette er fordyrende, men kjent teknologi. Et annet problem som oppstår om sonden roterer, er at det introduseres usikkerhet om effektivt fangstvolum for håv og observasjonsvolum for de akustiske og optiske sensorene. Disse momentene vil veie tungt for å inkludere en rotasjons-sensor (kompass) på sonden.

Tabell 4.5. Karakteristika av droppsonden med vurderinger. (*Characteristics of the drop sonde with assessments*).

Droppsonde		
Operasjonsdjup: 2-1000 m, hastighetsområde: 0 (0-2) knop		
Plattformvarianter	Fordeler	Ulemper
1. Dødvекtsplattform	Enkel håndtering med én plattform. Gunstig løsning støymessig – ingen støy fra depressorfiner.	Liten arealdekning. Krever anti-rotasjonsordninger.
2. Sakte tauet dødvекts-plattform	Utvide måle- og prøvetakings-volumet	Krever spesiell utforming - må tilfredsstillende hydrodynamiske krav

Farkosten vil basere seg på dødvektsprinsippet og vil bli konstruert med tanke på at den uansett værforhold vil være negativt ballastert. Dette vil være en kritisk faktor under senkning og opptaking av utstyret gjennom skvulpesonen, jf. tabell 4.5. Ut fra behov som er kommet fram under spesifisering av nytt forskningsfartøy, vil det bli vurdert om droppsonden skal kunne taues svært sakte, ≤ 2 knop. Dette vil i så fall sette bestemte krav til hydrodynamisk utforming.

Droppsonden vil ellers basere seg på samme kontroll- og overvåkingssystem og samme grensesnitt mot sensorer som de to tauete farkostene. Telemetrisystemet vil også holdes likt slik at man får en ens behandling av datasettene både i sanntid og under etterprosessering.

Utstyrmessig skal droppsonden bære en flerpose planktonhåv, flere akustiske svingere (jf. tabell 4.8) og optiske observasjonssystemer. De optiske observasjonssystemene vil være en optisk planktonteller og et videosystem. I tillegg må sonden ha sensorer for måling av saltholdighet, temperatur, fluorescens og telemetridata. Sonden skal bære en standard vannhenterkrans for henting av vannprøver i aktuelle dyp. Den vil med sitt store antall sensorer måle et stort antall økosystemparametre samtidig. Dette utvider våre muligheter både til artsidentifisering, kvantifisering og til økologiske tolkninger av dataene våre. Denne måten å foreta datainnsamling på vil også kunne gi store tidsbesparelser på stasjoner som er viktig når store havområder skal dekket.

Det vil bli vektlagt at noen utstyrsenheter kan være modulære og kunne flyttes mellom droppsonden og de to tauete farkostene.

4.4 Akustisk utrustning

4.4.1 Bakgrunn

I dag samler HI inn løpende akustiske data på alle tokt med tre havgående forskningsfartøyer på en eller flere frekvenser fra 18 til 200 kHz med skrog- eller senkekjølmonterte svingere der vi bruker Simrad EK500 ekkolodd og BEI etterprosessingssystem (Foote *et al.* 1991). En høyere frekvens (~ 400 kHz) med tilsvarende montert svinger er planlagt inkludert i dette oppsettet (Korneliussen 1999). Formålene er hovedsakelig knyttet til tolking av akustiske data og til estimering av fiskefordelinger og -mengder. Å samle inn akustiske data med skrogmonterte eller senkekjølmonterte svingere på høyere frekvenser fra et bredere spektrum av biologiske organismer ($< \sim 1,5$ mm) har klare ulemper i og med at felles observasjonsdjup (fra overflaten) for alle frekvensene blir begrenset (< 100 m) pga. øket akustisk absorpsjon på de høyeste frekvensene. I tillegg er der alltid en dødsone mellom overflaten, svingernes overflate og start av datainnsamlingen som betyr at djup fra 0 til ca. 15 m for senkekjølmonterte svingere er utilgjengelige for akustisk observering.

Flerfrekvens akustisk måleteknikk (# frekvenser ≥ 3) anvendt på fisk og plankton ble opprinnelig beskrevet systematisk og utviklet av Holliday (1977, 1980) og deretter først tatt i bruk for måling av plankton av Greenlaw (1979). Etterfølgende forskning har vist at slik måleteknikk er en kraftig og effektiv teknikk, ved enten å bruke et bevisst utvalgt sett av smalbandete delsystemer som dekker et spesielt frekvensområde (Greenlaw 1979, Holliday and Pieper 1980, Pieper and Holliday 1984, Kristensen and Dalen 1986, Pieper, Holliday, and Kleppel 1990, Cochran *et al.* 1991, Horne and Jech 1999) eller å bruke semibredbands- eller fullbredbands akustiske systemer som spenner over et tilsvarende frekvensområde (Griffiths *et al.* 1997, Foote 1998). For å dekke et størrelsesområde for plankton på 0,5-40 mm og for å

oppnå tilstrekkelig kvalitet av størrelsesklassifisering og mengdemåling kreves et frekvensspenn på ca. 25-1200 kHz som deles opp i underområder.

For smalbandssammensatte systemer med diskrete frekvenser bestemmes i utgangspunktet størrelsesoppløsningen av observert plankton av antall frekvenser (målepunkter) innenfor det totale frekvensspennet. Matematisk sett har vi et såkalt bestemt estimeringsystem når antall størrelsesgrupper, N_i , er likt antall målefrekvenser eller måleparametre, N . Ønsker vi å estimere færre størrelsesgrupper enn antall målepunkter, $N_1 < N$, har vi et overbestemt estimeringsystem, og vil vi ha flere størrelsesgrupper, $N_2 > N$, har vi et underbestemt system. Det siste tilfellet synes attraktivt, men generelt skal vi da være observant på at matematisk robusthet og stabilitet kan reduseres og skape spesielle problem i størrelsesestimeringen.

Bredbands akustiske systemer er attraktive alternativer til tradisjonelle smalbandssystemer. Men for tiden foreligger slike system bare som laboratoriemodeller og prototyper tilknyttet utviklingsprosjekter og ikke som kommersielt, fullt utviklede måle- og overvåkingssystemer (Griffiths *et al.* 1997, Atkins *et al.* 1998, Foote *et al.* 1999, Mortensen *et al.* 1999, Crisp and Harris 2000).

Diskriminering mellom ulike planktonarter er også mulig vha. flerfrekvens akustisk informasjon (Brierly *et al.* 1998), men pr. i dag er ikke estimert identifikasjonssannsynlighet god nok (typisk oppnådd resultat 77 %) for å tilfredstille våre krav under rutinetokt. Selv om biologisk prøvetaking i mange situasjoner er en sikrere måte å identifisere arter og artsfordelinger på, kan informasjonen fra flerfrekvensdata gi verdifull artsinformasjon om når en trenger å foreta biologisk prøvetaking eller ikke.

Det er videre spesielle utfordringer knyttet til medgått tid når en skal dekke et stort havområde ved dagens tradisjonelle prøvetakingsteknikker og utforming av undersøkelser som er knyttet til den raske livssyklus i utviklingen av mange dyreplanktonarter. For eksempel, en kartlegging av raudåte over - et for oss normalt havområde (Norskehavet, Barentshavet), tar omtrent en måned (Melle and Skjoldal 1994, Melle 1998). I vekstsesongen vil flere dyreplanktonarter ha vokst gjennom én generasjon i løpet av denne tidsperioden, og tilhørende målinger kan ikke integreres på noen enkel måte over arealet for å framskaffe totale tallrikhetsestimater. For å forsøke å redusere feilkilder tilknyttet slike tidsaspekt må vi utvikle og ta i bruk systemer og instrumentering som farkostmonterte flerfrekvente akustiske og optiske systemer slik at vi kan arbeide fortere over havet, og videre ta i bruk koplede fysisk oseanografiske og dynamiske planktonmodeller (Skogen *et al.* 1995).

Vi vil ta i bruk semibredbands målesystemer (svingere) med opsjon på å inkludere fullbredbandsystemer når teknologien tillater det. Det er lite sannsynlig at kommersielle bredbandsystemer vil være tilgjengelige i løpet av hovedprosjektets varighet. Derfor må de akustiske systemene bygges opp av flere enkanals systemer. Dette setter krav til å framskaffe egnede datahåndterings- og etterprosesseringsystemer i forhold til dagens systemer.

Det nylig utviklede ekkoloddet, Simrad EK60, er langt bedre egnet for bruk i farkoster (delt ekkolodd mellom farkost og fartøy) enn det tidligere EK500 ekkoloddet idet et standard system kan brukes bortimot direkte. Hovedenhetene i en EK60-kanal er en send-mottaenhet, (General Purpose Transceiver (GPT)), en svinger og en dedisert PC, der PC-en er en del av ekkoloddet. EK60-teknologien er pr. i dag ikke optimal for måling av tettheter av dyreplankton og fordelinger vha. mange frekvenser. Her er det behov for videreutvikling både med hensyn til mekanisk form av GPT-ene for farkostbruk og andre åpningsvinkler av

svingerne¹. Foreløpig finnes bare EK60 i en versjon MK1 som har noe redusert brukerytelse i forhold til EK500.

Forbindelsen mellom hver GPT og PC-en er basert på ethernetteknologi. Fire send-mottaenheter (frekvenser) kan pr. dagens teknologi knyttes til samme PC. PC-ens ethernettutgang kommuniserer på 10/100 Mb/s ("autosense") og kan knyttes til en arbeidsstasjon eller kraftig PC for å lagre data og for tolking og etterprosessering, for eksempel ved bruk av BEI Etterprosesseringssystem (Foote *et al.* 1991) eller BI500 Etterprosesseringssystem. I løpet av høsten 2000 vil BI500 under Windows 2000 bli introdusert på markedet og vil dermed bli tilgjengelig på ekkoloddets PC (Anon 1999).

Hovedforskjellen i våre oppsett med farkoster og droppsonde sammenlignet med et standard system er at dataene må overføres over en lang fiberoptisk kabel som krever ethernettsvitsjer og elektrisk til optisk omformer i farkosten og tilsvarende omvendt omformer på fartøyet. Videre vil vi ha flere enn fire frekvenser (alle) tilknyttet ekkoloddets datamaskin.

Når en skal måle plankontettheter akustisk over et stort dynamisk område f. eks. 5-1000 individer/m³ og størrelsesfordelinger innenfor 0,5-40 mm, krever dette mottakere som er ekstremt støysvake og har et stort måledynamisk område. Tilsvarende krav til dynamikkområde gjelder når en har høye tettheter av fisk (tette stimforekomster) og blandinger av fisk og plankton. Disse kravene har til en viss grad vært oppfylt av EK500 (Anon 1992) som har et momentant dynamikkområde på 160 dB. Denne teknologien er videreført i EK60. Ytterligere reduksjon av støy i databehandlingen kan oppnås med spesielle teknikker som for eksempel vist av Korneliussen (1998, 2000).

Som underlag for vurdering, valg og oppbygging av flerfrekvente ekkoloddssystemer for fisk og dyreplanktonmålinger skal vi gi en oppsummering av visse fundamentale måle- og estimeringssammenhenger.

Frekvensvalg for akustisk mengdemåling av og artsdiskriminering mellom fiskearter

Hovedfrekvensen for akustisk mengdemåling basert på ekkolodd og ekkointegrering av fisk har tradisjonelt vært 38 kHz (Forbes and Nakken 1972, Johannesson and Losse 1977, Midttun and Nakken 1977, Dalen and Nakken 1983, Medwin and Clay 1997). Dersom vi ønsker å optimalisere dette mhp. arter, og at vi ønsker å diskriminere mellom arter i blandete forekomster, har senere systematisk forskning vist at både høyere og lavere frekvenser bør trekkes inn (Horne and Jech 1999, Korneliussen 1999, Korneliussen and Ona 2000). Med utgangspunkt i kommersielt tilgjengelige ekkolodd er følgende seks frekvenser anbefalt (Korneliussen 1999)²:

18, 38, 70, 120, 200 og 400 kHz.

Frekvensvalg for akustisk størrelsesklassifisering av plankton

Kriteriene for valg av frekvensområde og frekvenser må ta utgangspunkt i hvilke plankton-

¹ Det kan være aktuelt å vurdere hele eller deler av ekkoloddssystemer fra andre produsenter som ligger nærmere våre krav til farkostinstrumentering.

² Med basis i snarlig tilgjengelige ekkoloddkanaler/svingere fra Simrad AS.

arter systemene primært skal brukes på, og lengdeområde og lengdeoppløsning som vi ønsker å oppnå for den enkelte art.

Den mest brukte metoden for å størrelsesklassifisere dyreplankton ut fra akustiske målinger baserer seg at vi måler volumekkomengde (volumspredekoefisienten) på alle frekvensene, og at disse måleresultatene kjøres mot en sammensatt akustisk-matematisk modell av forekommende planktonarter gjennom en invertering (Holliday 1977). Hovedkravet i inverteringen er å utnytte de mest markant ulineære områdene i modellene for tilbake-spredningstverrsnittet (målstyrken) som funksjon av frekvens for hver art.

Vi legger til grunn å dekke størrelsesgrupper som er typiske for kopepoder og krill. Dette vil også dekke flere andre forekommende arter i farvann som Havforskningsinstituttet arbeider i (kysten, Nordsjøen, Norskehavet, Barentshavet). For kopepoder gjelder dette størrelsesområdet 0,5-10 mm og for krill 5-40 mm (total lengder).

Tabell 4.6. Sammenhørende verdier for krillengde og nedre og øvre frekvens ved -3 dB-punktene for krillens akustiske resonansområde. (*Interdependent figures of krill lengths and lower and upper frequency at the -3 dB-points of the acoustic resonance regions of krill*).

Lengde [mm]	Frekvens - nedre [kHz]	Frekvens - øvre [kHz]
5,0	180	295
6,5	140	230
8,0	110	180
10,0	85	145
12,5	65	110
16,0	55	90
20,0	40	70
25,5	35	55
32,0	25	45
40,0	20	35

Framstillingen er basert på kopepodemodeller fra Holliday and Pieper (1980) og Pieper and Holliday (1984) og krillmodell fra Kristensen and Dalen (1986) og Dalen and Kristensen (1990). Noen av disse modellene er betydelig raffinert de senere år (Stanton 1989, 1990, Stanton, Clay, and Chu 1993, Stanton, Chu, and Wiebe 1996, 1998). Vi legger til grunn en lengdeoppløsning anbefalt av biologer for kopepoder på 1 mm (lineært) og for krill i skritt på 1/3 oktav (Kristensen og Dalen 1984).

For å kunne estimere krillengder som angitt i tabell 4.6, må vi måle på minst en frekvens innen estimerte områder for nedre og øvre frekvens. Alle frekvenser er avrundet til nærmeste 5 kHz både for krill- og kopepodemålingene.

Kopepoder har en annen geometrisk form enn krill. Her kan vi som en god tilnærming plassere målepunktene frekvensmessig slik at de ligger i rimelig nærhet av den akustiske resonanstoppen for kopepoder for ønsket lengdeestimering. Hvis de akustiske systemene skal kunne estimere krill- og kopepodelengder med angitt lengdeoppløsning i henhold til tabell 4.6 og 4.7, må det derfor måles ved følgende 12 frekvenser:

Tabell 4.7. Sammenhørende verdier for kopepode-
lengde og frekvens. (*Interdependent figures
of copepod lengths and frequency*).

Lengde [mm]	Frekvens [kHz]
0,5	1200
1	750
2	375
3	250
4	190
5	150
6	125
7	105
8	95
9	85
10	75

25 (27), 38, 70, 90, 105, 120, 150, 200, 250, 375, 750 og 1200 kHz.

Omtrent 2/3 av disse frekvensene eller nærliggende frekvenser dekkes av kommersielt tilgjengelige smalbandssystemer. Dette krever dels at vi endrer målefrekvensene noe, for eksempel at 750 kHz endres til 710 kHz som er tilgjengelig, dels at det må utvikles nye svingere og målesystemer og dels at vi kombinerer det med å ta i bruk nylig utviklede semi-bredbandssvingere.

I det følgende skal vi mer konkret se på ekkoloddoppbyggingen og frekvensvalg for de ulike sjøenhetene og vi går da ut fra dagens kommersielt tilgjengelige svingere (frekvenser) for vitenskapelig bruk (fra Simrad AS), se ellers fotnote 2, s. 29.

4.4.2 Djuptauet farkost

Den djuptauete farkosten har som hovedformål å observere djuptstående fiskeforekomster med delformål også å framskaffe data fra djuptstående dyreplankton og mikronekton. I tillegg til etablerte metoder for mengdeestimering av fisk må vi dermed bygge inn metoder for:

Tabell 4.8. Valg av frekvenser for å dekke uttrykte behov for den djuptauete farkosten. (*Selections of frequencies to cover expressed needs for the deep towed vehicle*).

Djuptauet farkost	
Frekvens [kHz]	Utfall
18 / 25	
38	x
70	x
120	x
200	x
400	x
710	
1200	

- automatisk diskriminering mellom og atskillelse av fisk og dyreplankton i blandede akustiske registreringer (NFR-prosjektene "Akustisk flerfrekvent målesystem for kartlegging av dyreplankton og fisk" (ANON 2000) og "Presentering og analyse av multifrekvens ekkogram" (Korneliussen 1999, Korneliussen and Ona 2000)),
- artsdiskriminering mellom fiskearter (Korneliussen and Ona 2000),
- størrelsesklassifisering og mengdeestimering av enkelt forekommende dyreplanktonarter (Greenlaw and Johnson 1983, Kristensen and Dalen 1986).

I mange sammenhenger (av fiskeribiologisk type) blir da planktoninformasjonen å betrakte som støtteinformasjon for fordelings- og mengdedata fra fisk og trenger derved ikke tilfredsstillende de samme strenge krav til romlig oppløsning og presisjon som et målesystem der planktonobservering av høy presisjon er et av målene (f.eks. for den grunntauete farkosten). Konsekvensen blir da noen færre frekvenser - vi har da også vurdert farkostens nyttevolum, form og hydrodynamisk stabilitet, jf. tabell 4.8 og 4.9.

Med de valgte frekvenser dekker vi måle- og klassifiseringsbehovene med nødvendig presisjon for aktuelle fiskearter, og for dyreplankton innen størrelsesområdet 2-30 mm. Dersom en kan akseptere en grovere størrelsesklassifisering av dyreplankton innen antydte størrelsesområde, kan antallet frekvenser i området 70 til 200 kHz reduseres.

4.4.3 Grunntauet farkost

Den grunntauete farkosten har som hovedformål å observere grunnere forekomster av mikronekton, plankton og fisk. I tillegg til etablerte metoder for akustisk mengdeestimering av fisk må vi bygge inn metoder for:

- akustisk diskriminering mellom og automatisk atskillelse av fisk og dyreplankton i blandede akustiske registreringer,
- akustisk mengdemåling av fisk i stim (Misund 1991, Dalen, Nordbø and Totland 2000),
- størrelsesklassifisering og mengdeestimering av dyreplankton og mikronekton,
- artsdiskriminering mellom fiskearter.

Tabell 4.9. Valg av frekvenser for å dekke uttrykte behov for den grunntauete farkosten.
(*Selections of frequencies to cover expressed needs for the shallow towed vehicle*).

Grunntauet farkost	
Frekvens [kHz]	Utfall
18 / 25	x
38	x
70	x
120	x
200	x
400	x
710	x
1200	x

Her blir da plankton- og fiskeinformasjonen fordelings- og mengdemessig å betrakte på samme nytte- og kvalitetsnivå. I de typiske dyp som denne farkosten skal operere i, vil informasjonen fra plankton, larver og yngel ha større betydning enn for den djuptauete farkosten. Dette setter høyere krav til romlig oppløsning og presisjon og til størrelsesklassifisering. Konsekvensen blir da flere frekvenser enn på den djuptauete farkosten, men vi må også her skjele til farkostens nyttevolum, form og hydrodynamiske stabilitet, jf. tabell 4.8 og 4.9.

Med de valgte frekvenser dekker vi måle- og klassifiseringsbehovene med gitt presisjon for aktuelle fiskearter, og for dyreplankton innen størrelsesområdet 0,5-40 mm. Dersom en krever en størrelsesoppløsning for plankton som uttrykt i pkt. 4.4.1, sammendrag av tabell 4.6 og 4.7, må vi øke antall frekvenser mellom 70 og 710 kHz. Kan en akseptere en grovere størrelsesklassifisering av dyreplankton innen antydte størrelsesområde, kan antallet frekvenser i området 70 til 710 kHz reduseres.

4.4.4 Droppsonde

Akustisk sett har droppsonden som hovedformål å observere, klassifisere og framskaffe biomasse mål for forekomster av dyreplankton og mikronekton. Derved må vi bygge inn metoder for:

- akustisk diskriminering mellom og automatisk atskillelse av fisk og dyreplankton i blandede akustiske registreringer,
- størrelsesklassifisering og mengdeestimering av plankton- og mikronektonarter av høy kvalitet.

Tabell 4.10. Valg av frekvenser for å dekke uttrykte behov for droppsonden. (*Selection of frequencies to cover expressed needs for the drop sonde*).

Droppsonde	
Frekvens [kHz]	Utfall
18 / 25	x
38	x
70	x
120	x
200	x
400	x
710	x
1200	x

Her blir da planktoninformasjonen å betrakte på høyt nytte- og kvalitetsnivå med strenge krav til romlig oppløsning og presisjon for størrelsesklassifisering og biomasseestimering. Konsekvensen blir da minst samme antall frekvenser som på den grunntauete farkosten, jf. tabell 4.9 og 4.10. Her har vi ikke de strenge begrensninger på oss som for de tauete farkostene når det gjelder plattformens nytte-volum og hydrodynamiske utforming.

Med de valgte frekvenser dekker vi måle- og klassifiseringsbehovene med gitt presisjon for dyreplankton innen størrelsesområdet 0,5-40 mm.

Dersom en krever en størrelsesoppløsning for plankton som uttrykt i pkt. 4.4.1, sammendrag av tabell 4.6 og 4.7, må vi øke antall frekvenser mellom 70 og 710 kHz. Kan en akseptere en grovere størrelsesklassifisering av dyreplankton innen antydte størrelsesområde, kan antallet frekvenser i området 70 til 710 kHz reduseres.

4.5 Optiske observasjonssystemer

4.5.1 Bakgrunn

Optiske observasjonssystemer og målemetoder dekker et vidt spekter av instrumentering som blant annet gjør det mulig å foreta målinger av primærproduksjon og konsentrasjonen av klorofyll som et uttrykk for planteplanktonbiomasse. De generelle lysforholdene dvs. innstrålt lys til havoverflaten og vannmassenes optiske egenskaper med hensyn på refleksjon og absorpsjon av inntrengende lys påvirker adferd og fordeling av fisk og dyreplankton og produksjon av planteplankton. Dette betyr at det er ønskelig å måle lyskvalitet og lysmengde *in situ*. Med et stadig økende fokus på og vektlegging av økosystemer som forsknings- og forvaltningsregimer vil det få økt betydning å kartlegge og forstå både primær- og sekundærproducentenes fordeling og tallrikhet. Optiske teknikker kan også til en viss grad benyttes for å observere og måle mengden av dyreplankton ved hjelp av avanserte videokamerasystemer og optiske planktontellere. Totalt sett er nevnte måleteknikker i liten grad tatt i bruk og integrert som en naturlig del av den marine ressursovervåking og miljøforskning som foregår

i Norge i dag. Her er et stort utviklings- og forbedringspotensial. Idet systemene er såpass nye, vil vi også beskrive måleprinsippene med fordeler og ulemper og hvordan de fungerer.

En rekke optiske observasjons- og målesystemer er vurdert til å være aktuelle å montere på farkostene og droppsonden som er omhandlet i rapporten. Disse spenner fra enkle fluorescenssensorer, optiske partikkel- og plankton tellere til mer avanserte videokamera-systemer med stroboskoplyskilde.

4.5.2 Større systemer for planktonobservering

Optisk plankton teller

Den grunntauete farkosten som primært skal operere i dybdeområdet ca. 2- 200 m, må utstyres med en optisk partikkel- og plankton teller. Systemet er kalt OPC (Optical Plankton Counter) og er utviklet ved Bedford Institute of Oceanography, Kanada (Herman 1988, 1992, Herman, Cochrane and Sameoto 1993). Dagens måleprinsipp er basert på at partikler eller planktonorganismer blir ledet igjennom en rektangulært formet spalte hvorpå de passerer en rektangulært formet lysstråle (640 nm bølgelengde, tverrsnittareal 4 x 20 mm). Lysmengden som blokkeres når partikler eller dyr passerer strålen, vil være proporsjonal med objektens tverrsnittareal gitt at disse er sfæriske objekter. Avviket objektene fra sfærisk form, vil tverrsnittarealet også avhenge av partiklene eller dyrenes orientering når de passerer lysstrålen. En kan altså få et mål på størrelsen av partikler og dyr som passerer lysstrålen, men dersom flertallet av disse har en form som avviker betydelig fra et sfærisk objekt vil usikkerheten i målingene øke. Kun ett slikt system er tilgjengelig kommersielt i dag (Focal Technology Inc., Kanada).

Fordeler: Enheten er kommersielt tilgjengelig og en rekke forskningsmiljøer har allerede gått til anskaffelse av denne type instrumentering med gode resultater å vise til. Den er relativt enkel i bruk og har erfaringsmessig god driftsikkerhet og kan relativt enkelt kobles opp mot annen undervannsinstrumentering. Den er spesielt egnet under forhold med relativt homogene forekomster av dyr som ikke avviker for mye i form og hvor volumtettheten av dyr ikke er ekstremt høy.

Ulemper: Prøvetakingsvolum er relativt lite. Størrelsesspekteret av organismer som kan detekteres er avgrenset. F.eks. kan ikke voksen krill oppløses mhp. størrelse med dette systemet. Det er heller ikke mulig å skille mellom levende organismer og uorganiske/organiske partikler. Ved høy romlig tetthet av partikler eller organismer kan målesystemet ha problemer med å skille enkeltobjekter fra hverandre. To mellomstore partikler eller dyr kan derfor oppfattes som ett objekt. Således kan både antallsestimater og størrelsesmålinger bli forspente og mindre pålitelig.

Et OPC-system basert på laserteknologi er under utvikling, men er ennå ikke kommersielt tilgjengelig. Med et slikt system vil en til en viss grad være i stand til også å måle omrisset av objektene i målevolumet. Slik informasjon vil til en viss grad kunne anvendes som et utgangspunkt for klassifisering av objekter, men det vil fortsatt være langt fram til sikker identifisering ved hjelp av denne type måleteknologi.

Spesielle krav: OPC-en må plasseres slik at vannstrømmen gjennom spalten må være minst mulig påvirket av farkost og kabel. Dette betyr at den kanskje må plasseres relativt utsatt på

farkosten, og muligens slik at gjennomstrømningsåpningen stikker et stykke ut i front av farkosten.

Video planktonmåler

Dette er et system basert på *in situ* videoopptak av dyreplankton og det er ønskelig å montere det på en eller flere av de plattformene. Teknikkene for å gjøre videoopptak av organismer *in situ* er utviklet i USA (Benfield *et al.* 1998). Disse består hovedsakelig i å benytte ett eller flere CCD-kameraer som hver kan ha identiske fokalpunkter, men forskjellig bildeutsnitt eller forstørrelse. En blits (her: stroboskoplyskilde) som står skrått eller normalt på fokalplanet og er synkronisert med videokameraenes billedfrekvens (50/60 Hz), gir mørkefeltsbelysning. Ved bruk av rødfiltre på blits og kameraer vil en kunne få bilder av objekter med høy skarphet dersom objektene befinner seg i fokus. Siden hvert kamera har et klart definert bildeutsnitt og et definert fokaldyp (dybdeskarphet) er ”prøvetakingsvolumet” veldefinert. Et video planktonmålesystem, VPR (Video Plankton Recorder), vil således gjøre det mulig å identifisere organismer, om ikke helt til artsnivå, så til taxonomiske kategorier som har økologisk relevans. Ved hjelp av avanserte dataprogrammer (ekspertsystemer kombinert med neurale nettverk) kan gode og skarpe bilder automatisk detekteres og analyseres i tilnærmet sanntid. Derved kan antall organismer pr. volumenhet av de ulike kategoriene beregnes.

Fordeler: En kan identifisere organismegrupper til økologisk relevante kategorier, og framskaffe mengdeestimer av de samme kategorier. En kan måle kvantitativt planktonorganismer som kan være økologisk viktige, men som tilnærmet aldri blir fanget i tradisjonelle prøvetakingssystemer fordi de lett blir ødelagt i slike redskaper.

Ulemper: Prøvetakingsvolumet er avgrenset idet effektivt synsfelt har en utstrekning på mellom 5 mm og 10 cm (bestemt av linsetype og -justering) og systemet egner seg best for dyreplankton på størrelse med raudåte. Valg av kameratype og forstørrelse kan gi et økt prøvetakingsvolum, men dette kan da føre til at identifiseringen av objektene blir redusert. Pr. i dag kan VPR-en taues med moderat fart, < 6 knop.

Spesielle krav: Fokalplanet må ligge slik at det minst mulig påvirkes av trykkbølger fra plattformen. Det vil være en klar utfordring å tilpasse denne type instrumentering til en hydrodynamisk utformet farkost som er beregnet for høy tauehastighet og som samtidig er utstyrt med en rekke andre tildels plasskrevende sensorer. Enheten er klart lettere å tilpasse til et droppsondesystem enn tauete farkoster (Gorsky 1992).

4.5.3 Andre optiske sensorer og målesystemer

Lysmålere:

Ut fra et biologisk synspunkt må farkostene og droppsonden utstyres med lysmålere som kan gi et uttrykk for hvor mye lys organismene i et gitt dyp eksponeres for. Ideelt sett burde også mengden lys gjengis som en spektralfordeling av hva som er tilgjengelig på ulike bølgelengder, enten kontinuerlig eller i diskrete steg.

Spesielle krav: De må monteres slik at både farkost og kabel i minst mulig grad skygger for innstrålt og tilbakestrålt lys. Ut fra et biologisk synspunkt er såkalte 4π -sensorer som måler innstrålt lys i 360° å foretrekke, fordi mange av de viktige marine organismer man ønsker studere, enten har øyne som fisk (halvkuleformede), eller med en tilnærmet sfærisk form som

f.eks. hos krill. Derved vil mengden lys kunne måles ved tilnærmet samme geometriske betingelser som hos de organismene en ønsker studere.

Klorofyll-fluorometer

Det er et krav at et klorofyll *a* fluorometer må monteres både på grunntauet farkost og dropp-sonde fordi en ønsker å skaffe seg samtidig informasjon om fordeling av planteplankton-biomasse og dyreplanktonets fordeling. Et klorofyllfluorometer sender ut lys på en spesiell bølgelengde, eksemplifisert med Seapoint Chlorophyll Fluorometer som sender ut lys på bølgelengde 470 nm og måler utsendt lys fra klorofyll *a* på 685 nm.

UV-fluorometer

En rekke ulike typer UV-fluorometre finnes på markedet. Disse er utviklet for bl.a. annet å måle forekomsten av polyaromatiske hydrokarboner i sjøen. Ett slikt instrument har nylig vært under utprøving ved Havforskningsinstituttet (PAH-probe SNO.02/UV-fluorometer, Sea & Sun Technology). Instrumentet benytter en Xenon blitslampe som lyskilde, og som detektor to silisium fotodioder med senterbølgelengder på henholdsvis 254 nm og 360 nm. Det bør tas høyde for at denne type instrumenter enkelt kan kobles på både droppsonde-systemet og grunntauet farkost. Vi ser for oss at denne type instrument vil spesielt være aktuelt å benytte i overvåking av forurensning.

Naturlig fluorescens

Til forskjell fra målinger gjort med et tradisjonelt klorofyllfluorometer er måling av naturlig fluorescens basert på det naturlige tilgjengelige sollys i et gitt dyp som driver fotosyntesen *in situ*. En kan si at med denne type instrument måles på de til enhver tid aktive klorofyll-komponentene, og således skaffer seg informasjon knyttet både til fotosynteseraten og mengden klorofyll i sjøen. Det bør vurderes om et slikt instrument skal inngå som en naturlig del av den miljøsensorutrustning som droppsonde og de tauete farkostene skal utrustes med.

Stillbildekamera og blits

Droppsonden må utrustes med et tradisjonelt lysfølsomt stillbilde CCD-kamera og blits som kan opereres fra dekkenshetens kontrollpanel. Det bør undersøkes om der vil være tilgjengelig tilsvarende digitalkamera på markedet når den endelig spesifikasjon av utstyret skal avgjøres. I så tilfelle bør et digitalkamera foretrekkes, da dette vil forenkle overføring av bilder i nær sanntid til operatørenhet på dekk. Grunntauet farkostinstrumentering må være forberedt for påkobling av stillbildekamera.

Gjennomskinnelighetsmåler

En gjennomskinnelighetsmåler eller turbiditetsmåler vil være nyttig for å kunne måle mengde av mindre partikler i sjøen. I hovedsak er denne type instrument utviklet for å måle sediment-transport, men vil kunne gi verdifull støtteinformasjon med hensyn på forekomst og mengde av dyreplankton og planteplankton i vannmassene samt lysforholdene disse organismene opplever *in situ*. Turbiditetsmålerne sender ut lys på en bestemt bølgelengde i det infrarøde området f.eks. på 880 nm, og måler så tilbakespredt lys fra partikler i vannmassene.

I tabell 4.11 er vist en oversikt for hvordan vi har planlagt å instrumentere de ulike plattformene med optiske systemer og sensorer.

Tabell 4.11. Valg av optiske målesystem og sensorer for å dekke uttrykte behov for de ulike plattformene. (Selections of optical measuring systems and sensors to cover expressed needs for the different platforms).

Sensor	Multibrukssystem		
	Djuptauet farkost	Grunntauet farkost	Droppsonde
OPC		x	x
VPR		x	x
Lysmåler	x	x	x
Klorofyll-fluorometer		x	x
UV-fluorometer		x	x
Naturlig fluorescensmåler	x	x	x
Stillbildekamera m. blits			x
Gjennomskinnelighetsmåler			x

4.6 Andre sensorer og enheter

4.6.1 Bakgrunn

Vi har valgt å beskrive akustiske og optiske målesystemer for seg idet de er de mest sentrale systemene for å observere og estimere tallrikhet og biomasse for fisk og plankton. I tillegg til dette er det flere parametre og tilstander vi trenger å måle. Disse beskrives hovedsakelig ut fra hvilke sensorer og enheter som det er behov for.

4.6.2 Miljøsensorer og -instrumentering

Vannhentere

Droppsonden må utrustes med 12 stk vannhentere, på lignende måte som de tradisjonelle CTD-sondene i dag er utstyrt med vannhenterkrans. Hovedhensikten med disse vil være å samle inn næringssaltprøver av vann fra ulike dyp, for kalibrering av ledningsevne måler (saltholdighet), for måling av klorofyll *a* mengde, eller ta prøver for undersøkelser av ulike forurensningskomponenter. Det er et behov for at den grunntauete farkosten også skal bære vannhentere. Hvorvidt disse skal være av samme type som dem droppsonden utstyres med, må avklares.

Næringssalter

Kunnskap om mengde næringssalter i sjøen er vesentlig for forståelsen av produksjonsforholdene for primærprodusenter (alger) og sekundærprodusenter (dyreplankton). Det må vurderes om noen av plattformene skal kunne analysere og måle viktige næringssalter. I alle fall er ett system i dag kommersielt tilgjengelig (AQUA^{Sensor} fra Chelsea Instrument Inc.), som kan måle direkte nitrat og nitritt *in situ*. Hvorvidt det i dag er tilgjengelig instrumenter som benytter tilsvarende teknikker for automatisk måling av andre næringsalter f.eks. fosfat, silikater og sulfat, er ikke kjent, men det skjer en rivende utvikling innen dette sensorområdet i tilknytning til instrumentering for autonome farkoster.

Ledningsevne, temperatur og dyp

Begge farkostene og droppsonden må utstyres med sensorer for måling av dyp (trykk), ledningsevne og temperatur. Ut fra måling av vannets ledningsevne er det kurant å estimere saltholdighet i vannmassene. Både grunntauet farkost og droppsonde må utrustes med sensorer som har en tilsvarende nøyaktighet som sensorene på en Seabird 911plus-sonde. Dette vil gjøre det mulig å framskaffe høykvalitetsdata som også kan anvendes i fysisk oseanografisk forsknings- og rådgivningssammenheng. I tillegg kan vi oppnå at antall tradisjonelle CTD-sondestasjoner langs fartøyets kurslinje kan reduseres i vesentlig grad, noe som vil bety mer effektiv fartøybruk.

Håv

Droppsonden skal utstyres med en håv for innsamling av biologisk materiale. Mest sannsynlig vil dette bli en flernettsåv av typen Multinet Planktonsampler (HYDRO-BIOS Apparatebau GmbH, Tyskland) som er utstyrt med fem finmaskede nett, hvert med maskevidde på 180 µm og et åpningsareal på 0,25 m² i standard utgave. Dette gjør oss i stand til å samle biologiske prøver fra faste forutbestemte dyp, fra dypneområder med høy dyreplanktontetthet eller som av ulike andre årsaker vil ha spesiell interesse. Samtidig vil en håv av denne typen legge forholdene til rette for sammenlignende analyse og studier av plankton dvs. gjøre det mulig å identifisere hva som detekteres med det akustiske utstyret, den optiske planktontelleren (OPC) og video planktonmåleren (VPR). En slik verifisering og identifisering av organismer må foretas regelmessig i felt, men vil særlig være aktuelt i områder hvor det akustiske utstyret, VPR eller OPC, indikerer signifikante endringer, enten i mengde eller type registrering.

Gjennomstrømningsmåler

For å få et presist mål på mengde vann som strømmer igjennom håven, må det monteres en gjennomstrømningsmåler i nettåpningen for å beregne antall organismer pr. volumenhet i et gitt dypneområde.

4.6.3 Sensorer for plattformovervåking

Sensorer for rulle- og tiltvinkel

Inklinometre for å bestemme rulle- og tiltvinkel i sjøen av de plattformene man opererer, kan være vesentlig for å bestemme kvaliteten av data man samler inn. Sensorene skal også gi informasjon om hvor stabilt plattformene beveger seg i sjøen. Spesielt for data fra de akustiske systemene vil slike sensorer være viktig. Av denne grunn bør det også benyttes tilsvarende sensorer på droppsondesystemet, hvor en lav ping-til-pingvariabilitet med hensyn på akustisk målevolum er vesentlig for å oppnå høykvalitetsdata.

Lekkasjesensor

For å redusere risiko for skade ved vanninntrenging må det installeres lekkasjesensorer på de sentrale undervanns elektronikkene. Hvor mange slike sensorer det vil bli behov for, vil måtte bestemmes i løpet av design- og spesifikasjonsfasen.

Kompass

Både djuptauet og grunntauet farkost må utstyres med kompass slik at det blir mulig til enhver tid å ha en oversikt over hvordan moderfartøyets og farkosten(es) kurs forholder seg til hverandre idet strømforholdene av ulike årsaker kan variere betydelig i overflatelagene i forhold til djupe i vannsøylen. Et viktig element ved operasjon av droppsonden er på den ene siden å minimalisere rotasjon av sonden ved utsetting og hiving, på den annen side å kunne

overvåke rotasjon når slik forekommer. Derfor er det ytterst aktuelt også å benytte kompass på droppsonden.

Posisjoneringssystem

Det vil være svært nyttig å overvåke nøyaktig geografisk posisjon, avstand og retning til de tauete undervannsfarkostene i forhold til et moderfartøy som i dag vanligvis benytter høy-precisjons satellittnavigasjonssystemer (Differensial Global Positioning System - DGPS)) for egen posisjonering. For å få dette til kan akustiske posisjoneringssystemer f. eks. Simrads High Precision Acoustic Positioning Systems (HiPAP) og/eller Simrads Integrert Trål*instrumentering (ITI), eller tilsvarende systemer benyttes mellom moderfartøy og tauet farkost. På nåværende tidspunkt er det ikke tatt stilling til om også droppsondesystemet skal ha slik instrumentering.*

Antikollisjonssonar

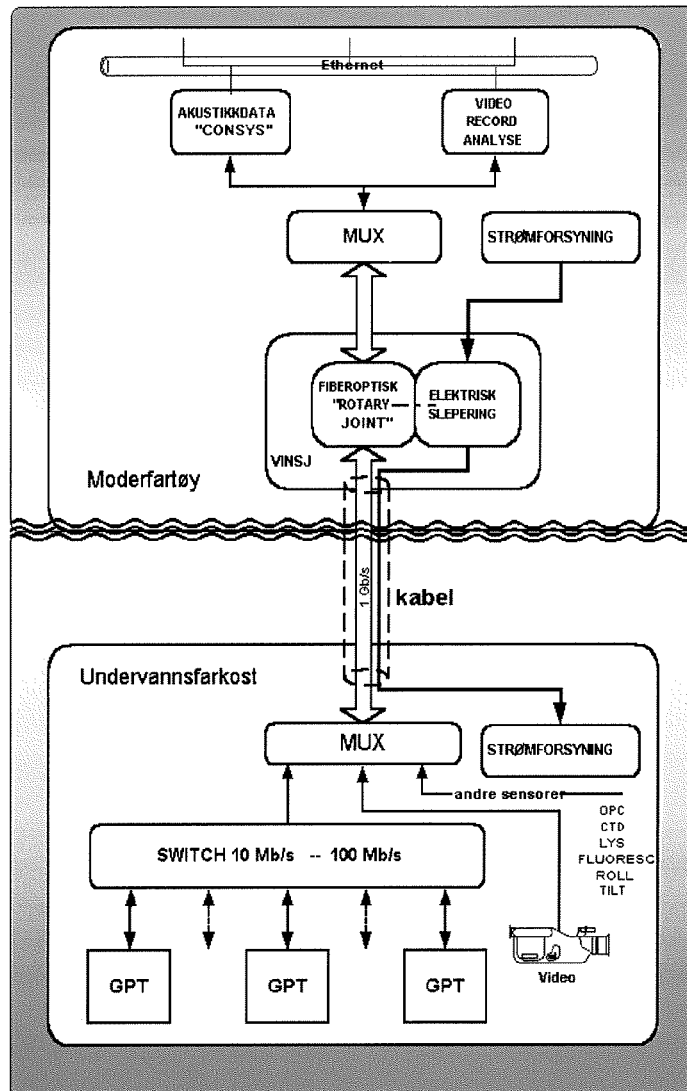
Den djuptauete farkosten vil i mange sammenhenger bli tauet djupt og nært bunnen med flere meter kabel i sjøen enn hva djupet er. I mange havområder kan sjøkartene være ganske unøyaktige og mangelfulle og dette kan øke risikoen for kollisjon mellom farkost og bunnen ved uforutsette endringer av djupet. Lignende forhold kan oppleves når en kommer inn mot en sokkel fra djupere farvann. For å kunne håndtere slike operasjonelle situasjoner vil det være svært nyttig å utstyre farkosten med en antikollisjonssonar med tilhørende varslings-system. Det finnes flere leverandører av slike systemer.

4.7 Kommunikasjonslinken

4.7.1 Bakgrunn

Mellom de ulike sensorer og instrumenter i undervannsdelen og dataterminalen i overflatefartøyet skal data og kommandoer sendes via en rekke ledd som skal fungere transparent for brukeren. Hver GPT (ekkoloddsender/-mottaker) kommuniserer via 10 Mb/s Ethernet. Når to eller flere GPT-er kobles sammen, må kommunikasjonslinken med de ulike enhetene både i undervannsfarkosten og på moderfartøyet???. Samtidig overføring av videosignal og data fra andre instrumenter krever at det settes inn en multiplekser (MUX) som overfører data på fiberoptisk leder mellom farkosten og overflatefartøyet med en datahastighet i størrelsesorden 1 Gb/s. Om bord på forskningsfartøyet skilles akustikkdata m.m. og videodata til hver sine dataterminaler. Figur 4.3 viser et forenklet blokkskjema for kommunikasjonslinken.

Kabelen eller ”navlestrengen” som kan ha en lengde på inntil 6000 m, mellom fartøy (ende på trommel) og plattformene, er en vesentlig komponent som må velges ut med spesiell aktpå-givenhet. De elektriske lederne må ha tilstrekkelig tverrsnitt (lav motstand) til å overføre strøm til undervannsplattformen uten at spenningstapet blir for stort. De fiberoptiske lederne må være av ”single modus” type som kan overføre høyhastighetsdata i størrelsesorden 1 Gb/s uten tap av data.



Figur 4.3 Bløkkskjema for kommunikasjonslink. (*Block diagram of the communication link*).

4.6.4 4.7.2 Krav til kablene og kabelrelaterte enheter

Kabelen

Anbefalt bruddstyrke skal først og fremst sikre at nyttelasten (plattformen) ikke går tapt, men den må også dimensjoneres tilstrekkelig slik at ikke kabelen skades ved eventuell overbelastning. Arbeidsbelastningen er bestemt av nyttelast, lengde og vekt av kabel, tauehastighet og variabelt kabeldrag pga. fartøyets hiv og stamp. Kabelen må dimensjoneres slik at belastningen ikke overskrider nominell arbeidsbelastning som typisk ligger på $\frac{1}{4}$ av bruddstyrken. Lastbæreevne vil også bli vurdert ut fra gjeldende myndighetskrav.

Avhengig av om total belastning under hiving av droppsonden blir svært stor, bør vi vurdere å bruke separat løftevaier for denne sjøenheten. En ulempe med dette kan da bli at vi må bruke to vinsjer eller vinsj med delt trommel der hver trommel kan ha ulike trekraft og sluring.

Mekanisk konfigurering

For djuptauet farkost og droppsonde vil det være påkrevd med kontrahelisk spunnet stål-armering. Kabelen for djuptauet farkost må ha kledning på minimum 500 meter i nedre ende. Dette for å redusere den hydrodynamiske dragkraften og å motvirke vibrasjoner og støy som kan påvirke målingene. For grunntauet farkost kan det være hensiktsmessig å velge en kabel som er lettere, eller har nøytral vekt i sjøvann. Dette kan f. eks. være en kabel med polyuretankappe og kevlararmering.

Elektrisk konfigurering

De elektriske lederne må ha kapasitet til å forsyne alle enheter i plattformen med tilstrekkelig effekt. Med så lange kabler som det er aktuelt med i dette prosjektet (6000 m), vil den ohmske motstanden i kobberlederne være betydelig (størrelsesorden 100 Ω). For å ta høyde for spenningsfall i kabelen, U_{tap} , må det påtrykkes en høyere spenning, $U_{\text{påtrykt}}$, fra fartøyet enn spenningen som mottas i farkostenden, U_{farkost} .

$$U_{\text{farkost}} = U_{\text{påtrykt}} - U_{\text{tap}}$$

Ledningstverrsnitt og isolasjonsmotstand må spesifiseres ut fra det totale strømforbruket til enhetene i undervannsdelen. Vi må også ta hensyn til reguleringsevnen av kraftforsyningene for de enkelte sensorenheter – de må kunne tolerere variasjoner i U_{tap} når enkeltensorer slås av og på. Det må vurderes om 1-fase eller 3-fase kraftoverføring skal nyttes.

Fiberoptisk konfigurering

All kommunikasjon, data og styring, skal foregå via optisk kommunikasjonslink. Lengden på kabelen og datahastigheten som kreves tilsier at det må brukes "single modus" fiberledere. Med eksisterende teknologi kan all nødvendig kommunikasjon foregå på én enkel fiberleder. Det er anbefalt at kabelen konfigureres med to eller flere fiberledere med hensyn på redundans (reservekapasitet) eller for atskilt overføring av signaltypogrupper, f. eks. akustiske og optiske signal.

Blokker/tauehjul

Blokkene og tauehjulene må ha diametre, D , som tilfredsstillers kabelens krav til minimum bøyediameter. Normalt settes kravet lik $d/D = 1:50$, hvor d er kabeltykkelse.

Kontakter og sleperinger

I farkostenden termineres kabelen i en hybridplugg med tilstrekkelig antall elektriske og fiberoptiske kontakter. Kabelvinsjen utstyres med kombinert slepering for elektrisk overføring og "rotary joint" for fiberoptisk overføring. Både undervannsplugg og slepering må kunne åpnes for å skifte til alternative fiberledere i tilfelle feil oppstår.

4.8 Datahåndtering

Akustikkdata vil være absolutt dominerende med hensyn til mengde. Med åtte eller flere frekvenser på to av plattformene og med maksimal oppløsning som ekkoloddene kan levere, er det potensial for rådatamengder i størrelsesorden 1 Gb pr. 5 nautiske mil eller bortimot 50 Gb pr. døgn. For å redusere datamengden til håndterlig omfang må det utvikles spesiell programvare for datakompresjon og lagring av forprosesserte data så vel som rådata. Likedan vil det være nødvendig å optimalisere innstillinger for de ulike kanalene (frekvensene) slik at det tas hensyn til reell observasjonsrekkevidde og at en ellers ikke fyller opp lagrene med

unyttige data. Pr. i dag kan dataene lagres på BEI-format for senere tolking på BEI-stasjon som er delvis tilrettelagt for flerfrekvens datahåndtering, men systemet er langt fra optimalt for å håndtere store mengder flerfrekvensdata. Det er innledende planer på Havforskningsinstituttet om sette i gang et prosjekt i tilknytning til "Nytt forskningsfartøyprosjekt" for framskaffe et nytt datahåndteringssystem for større akustiske datamengder spesielt for å møte behovene fra "flerfrekvens/bredbånds planktonakustikk".

Havforskningsinstituttet har lang erfaring med å håndtere og tolke store datamengder ved hjelp av akustisk-matematiske modeller og grafiske brukergrensesnitt. Flerfrekvens analyse av akustiske data fra plankton har vi erfaring med fra siden tidlig i 80-årene (Dalen and Kristensen 1981, 1990, Kristensen and Dalen 1986), og de seneste år er også flerfrekvensdata fra fisk kvantitativt tatt i bruk (Korneliussen 1999, Korneliussen and Ona 2000). Det nye systemet må bygge videre på disse erfaringene.

Basert på det brede spektrum av biologenes behov og krav, kan noen typiske resultatformer være:

- ekkogram fra en eller flere frekvenser (valgbar),
- planktonprofiler i vertikale snitt og som horisontale kart,
- størrelsesfordelinger av plankton i vertikale snitt og som djupnestratifiserte horisontale kart,
- akustiske tetthetsprofiler for fisk og plankton,
- interfrekvensresponses for utvalgte volum (forholdsfunksjoner mellom arealekkomengder på de ulike frekvensene),
- artsfordelinger (grove) av fisk i vertikale snitt og som horisontale kart,
- miljø-plankton/fisk-sammenhenger for utvalgte volum og arealer.

For mann-maskingrensesnittet vil vi i stor grad kople ulike typer data for helhetlig tolking, forståing og analyse. For eksempel for de tauete farkostene som opererer i varierende dybder, vil djupneinformasjonen brukes til å plassere den akustiske informasjonen med faste djupne-referanser på presentasjonsenheten/skjermen. Rulle- og tiltvinklene lagres fortløpende og kan presenteres i egne indikatorvinduer som momentanverdier som viser farkostenes bevegelser ping for ping og/eller som glidende middelerverdier.

CTD-data lagres i egne filer med pekere til samhørende akustikkdata. Dette gjelder også data fra den optiske plankton telleren, fra miljøsensorene og øvrige data fra plattformovervåkingen. Videodata vil bli separert fra de øvrige datatypene og lagt inn på et eget datalagringssystem for senere datareduksjon og analyse.

4.9 Vinsjer og plattformhåndtering

Det vil bli lagt vekt på standardisering av vinsjløsningene. I utgangspunktet kan en bruke samme vinsj for de to tauete farkostene. Dette vil redusere kostnader, reservedelsbehov og forenkle opplæringen av personell. Dersom vi kommer fram til ulike typer kabel for farkostene, vil likevel ikke dette bli aktuelt. Ved valg av vinsjssystemer vil det bli lagt vekt på at de må ha fjernkontroll, finregulert hastighetskontroll, hiv-kompensering og strekk-kontroll, samtidig som de skal bære full dynamisk last ved sjøsetting og ombordtakning. Strekk-kompensering er bl.a. viktig for å unngå mekanisk resonans i kabelen indusert av fartøyets bevegelser.

Tabell 4.12. Hovedspesifikasjoner for de ulike vinsjene. (*Main specifications of the different winches*).

Vinsjkarakteristika	Multibrukssystem		
	Djuptauet farkost	Grunntauet farkost	Droppsonde
Minimum trommeldiameter [mm]	800	800	800
Kabeldiameter [mm]	≤ 12	≤ 16	16
Kabellengde – maks. verdier [m]	6000	3000	6000
Trekraft innerst på trommelen [kN]	75	75	75
Maks. hivehastighet innerst på trommelen [m/s]	2	2	2
Sleperinger, elektrisk [antall]	4	4	4
Sleperinger, optisk ("rotary joint") [antall]	1	1(2)	1(2)

Vinsjene kan drives lavtrykkshydraulisk, høytrykkshydraulisk eller elektrisk med variabel vekselstrømsfrekvens. For det nye norske forskningsfartøyet er ikke driftsprinsippet bestemt på nåværende tidspunkt. Valget vil primært bli basert på operasjonelle krav, samtidig som det tas hensyn til støy, styrbarhet, massetreghet, pålitelighet, servicevennlighet og andre tekniske faktorer. Spoleapparatene må fortrinnsvis ha separat motor for nøyaktig tilpasning til ulike kabeldiameter. Tabell 4.12 viser hovedspesifikasjonene for de ulike vinsjene.

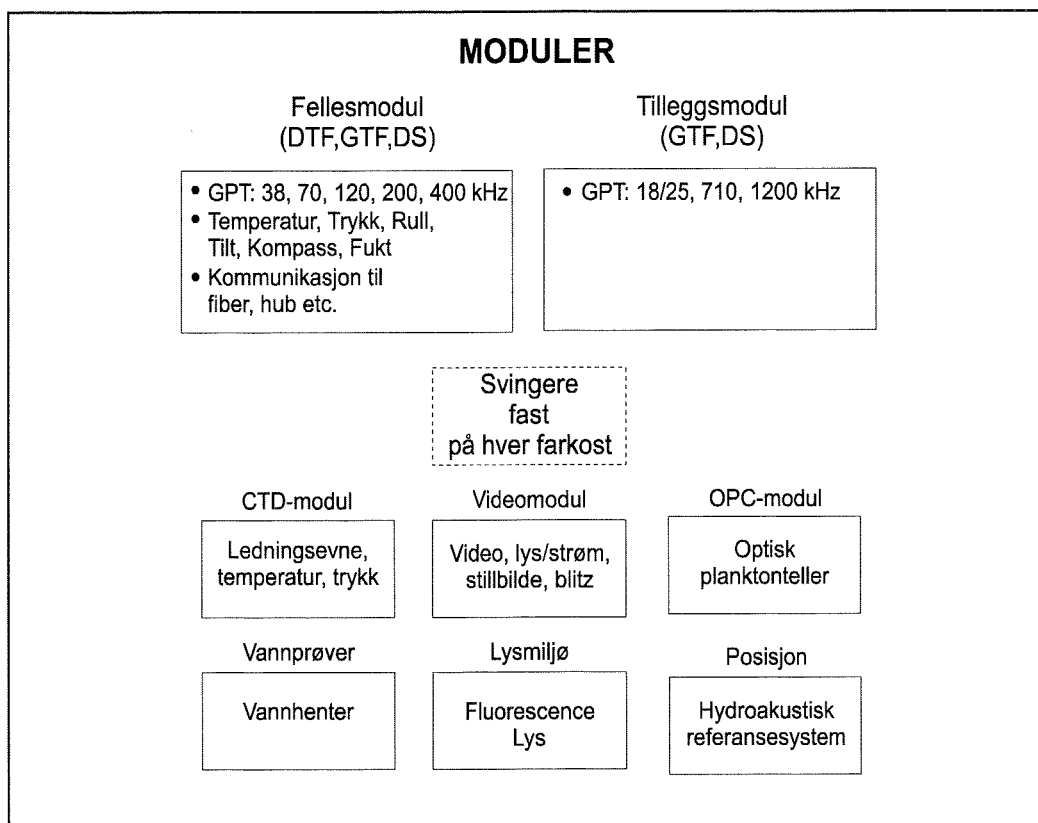
Vinsjer for djuptauet og grunntauet farkost plasseres på akterdekket. Vinsj for droppsonden plasseres nær midtskips for å minimalisere bevegelsene i sjøgang. På det nye forskningsfartøyet vil den plasseres i miljøhangaren midtskips. Det vil bli vurdert forskjellige metoder for sikker håndtering av plattformene inn og ut av sjøen. På hekken må det lages til spesielt arrangement for utsetting og inntaking av farkostene. Det er viktig at håndteringen foregår under full kontroll på en forsvarlig og gjennomtenkt måte slik at ikke personell eller utstyr skades. Særlig løpersystemer ("cursor systems"), fangmekanismer og andre støtdempende metoder vil bli sett nøye på.

4.10 Modularisering og felles bruk av enheter og teknologi

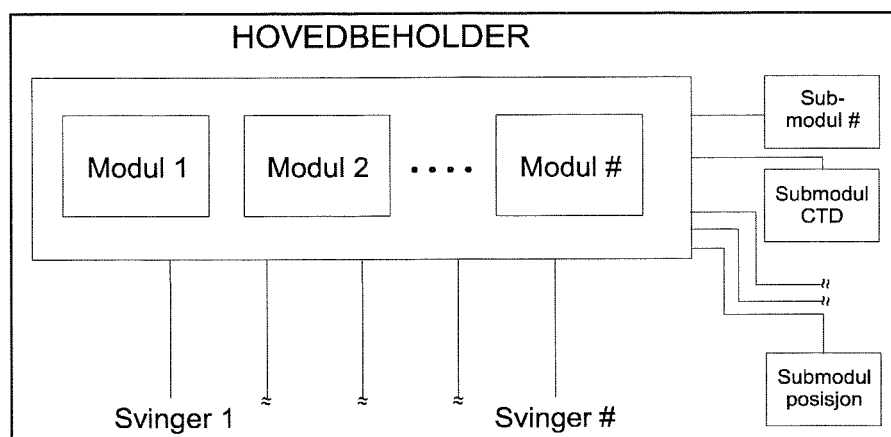
Både i forhold til egne krav til montering og vedlikehold, til totale kostnader og dersom vi krever å kunne flytte moduler fra den ene sjøenheten til en av de andre, må sjøenhetene være moduloppbygget. For eksempel vil den djuptauete farkosten bestå av en frontseksjon (ev. for elektronikk), en midtseksjon (ev. for elektronikk, instrument-/sensorbeholdere, svingere), en haleseksjon (ev. for elektronikk, instrument-/sensorbeholdere) og en ror-fineseksjon.

Tilknyttet en eller flere av disse seksjonene kan en igjen ha moduloppbyggede sensorplattformer og instrumentbeholdere. Lignende oppbygging må vi legge til grunn for den grunntauete farkosten, mens droppsonden må utformes mekanisk etter en annen filosofi.

I figur 4.4 er visst en prinsippskisse i blokkdiagramform for hvordan moduloppbyggingen for de ulike instrumenttypene kan gjøres. Figur 4.5 demonstrerer hvordan modulariseringen kan gjøres når vi kommer ned på instrumentbeholdernivå.



Figur 4.4 Eksempel på moduloppbygging. (Examples of module building).



Figur 4.5 Eksempel på en moduloppbygget hovedbeholder. (Examples of a module built main container).

5 ORGANISATORISKE OG FINANSIELLE VURDERINGER OG TILRÅDINGER

5.1 Viktige organisatoriske og finansielle forhold

Hovedprosjektet er planlagt å gå over tre år, 2001 - 2003, der systemanalyse og spesifikasjon som direkte vil bygge på denne rapporten, utføres i første deler av 2001 med en viktig, avsluttende milepæl. Her tas det bl.a. standpunkt til ev. modifiserte organiserings- og framdriftsplaner ut fra tilrådde tekniske løsninger, koordinering med andre prosjekt og om prosjektet krever justert finansiering. Det tekniske utviklingsarbeidet konsentreres til ultimo 2001 - medio 2003 og med spesielle utprøvnings- og forbedringsfaser i felten/på tokt i 2003.

Ut fra faglige forhold tilrår vi at prosjektet koordineres med HIs "Nytt forskningsfartøyprosjekt" og med omsøkt (pr. 15.09.00) NFR-prosjekt "Methods and design of marine zooplankton monitoring programmes" ("ZOOM")³ dersom dette blir tildelt midler, idet betydelige faglige synergieffekter kan oppnås.

Omkring den planlagte koplingen til "Nytt forskningsfartøyprosjekt" kan følgende sies når det gjelder framdrift. Forskningsfartøyprosjektet hadde opprinnelig (sommer 1999) følgende framdriftsskisse:

Planversjon 1 (fartøy for HI):

- ultimo høst 2000: Oppstart av byggearbeid ved verft.
- byggetid ca. 15 mnd,
- primo 2002: Overlevering.

Fra høsten 1999 ble konsekvensene klare av at Universitetet i Bergen (UiB) sine fartøy- og undersøkelsesbehov var blitt koplet sammen med HIs. Dette medførte at fartøyet måtte bli større, mye av dekksarrangementet måtte endres og total instrumentering i innhold og omfang ble mye større:

Planversjon 2 (fartøy for HI og UiB):

- 1. halvår 2001: Oppstart av byggearbeid ved verft.
- byggetid ca. 20 mnd,
- primo 2003: Overlevering.

Prekvalifisering av aktuelle skipsverft ble utført våren 2000 og anbudene for byggeoppdraget var klare tidlig høsten 2000. Den videre finansieringen av fartøyet ble utsatt ved ordinær behandling av Statsbudsjettet, men skulle tas opp igjen til behandling i desember. Ved forventet positivt utfall vil dette bety at byggestart kan skje primo 2001.

Sett i lys av dette, har prosjektgruppen diskutert oppstart og framdriften av hovedprosjektet slik at oppstart med fordel kan skje primo 3. kvartal 2001 med eventuell utviding til 2004⁴.

Omfanget av og tilhørende kostnader for plattformene, total instrumentering og dataleveranser som er foreslått i denne rapporten, overstiger estimerte kostnader (minimumsestimert) som er tatt høyde for i søknaden (pr. medio juni 1999 og 2000). Dette medfører at prosjektet også må

³ NFR-program "Overvåking av marine og terrestriske systemer".

⁴ Bygging av forskningsfartøyet med oppstart i 1. kvartal 2001 ble vedtatt av Stortinget ultimo desember 2000.

koordineres finansielt med "Nytt forskningsfartøyprosjektet" for å oppfylle utviklings- og leveranseplanene.

5.2 Prosjektpartnere og organisering

HI har siden 1975 hatt et nært samarbeid med Simrad AS og underleverandører innen mekanisk industri omkring utvikling, testing og operasjon av ulike versjoner av tauete farkoster utrustet med akustiske svingere og elektronikk. De senere årene har Simrad erkjent at det er ikke lenger naturlig og tjenlig for dem å inneha kompetanse på selve farkostteknologien. Følgelig har både HI og Simrad behov for å knytte seg opp mot FoU-miljø som har denne kompetansen.

Gjennom samarbeid mellom HI og NUI AS innen operasjon og teknologi for autonome farkoster siden 1998 og senere kontaktmøter innen undervanns- og farkostteknologi mer generelt, ønsker HI og NUI å realisere et samarbeid også innen teknologi for tauete farkoster dvs. innen dette prosjektet.

Prosjektet skal utføres i et nært samarbeid mellom Havforskningsinstituttet, NUI AS og Simrad AS. Der samarbeidspartnerne finner det formålstjenlig og der vi sjøl ikke har nødvendig kompetanse og ressurser f.eks. på fiberoptisk teknologi, til hydrodynamiske farkostsimuleringer og -evalueringer (Lie 1988, Støle-Hansen, Øgård og Hallset 1989) og til mekanisk arbeid, vil vi trekke inn underleverandører.

6 REFERANSER

- ANON. 1992. SIMRAD EK500 Scientific Echosounder: Operator manual. SIMRAD report no. P2170E. SIMRAD Subsea A/S, Horten, Norway.
- ANON. 1999. Operator Manual. Simrad BI500 Post-processing system. Windows version. Simrad AS, Horten, Norway.
- ANON. 2000. Akustisk flerfrekvent målesystem for kartlegging av dyreplankton og fisk. Sluttrapport til NFR. OCEANOR, januar 2000, Trondheim.
- ATKINS, P. R., BONGIOVANNI, C. C., FRANCIS, D. T. I., FOOTE, K. G., and MORTENSEN, T. 1998. An ultra wideband sonar for use by marine biologists. *Proc. EUREL Meet. 'Radar and sonar signal processing'*, IEE, London, Sect. 25, 2 s.
- BENFIELD, M.C., WIEBE, P.H., STANTON, T.K., DAVIS, C.S., GALLAGER, S.M., and GREEN, C.H. 1998. Estimating the spatial distribution of zooplankton biomass by combining Video Plankton Recorder and single-frequency acoustic data. *Deep-Sea Research*, II, 45, s. 1175-1199.
- BRIERLY, A. S., WARD, P., WATKINS, J. L., and GOSS, G. 1998. Acoustic discrimination of Southern Ocean zooplankton. *Deep-Sea Research*, II 45, s. 1155 - 1173.
- COCHRANE, N.A., SAMEOTO, D., HERMAN, A.W., and NEILSON, J. 1991. Multiple-frequency acoustic backscattering and zooplankton aggregations in the inner Scotian Shelf basins. *Can. Jour. Fish. Aquat. Sci.* 48: s. 340-355.
- CRISP, N.A. and HARRIS, A.J.K. 2000. TUBA II - A compact multi-frequency sonar suited to use in autonomous or towed platforms for the study of upper-ocean zooplankton distribution and abundance (in press). *Conf. proceedings, UT2000*. Tokyo, May 23-26. 6 s.
- DALEN, J., BODHOLT, H., and SOGN, K.T. 1995. Deep-towed vehicle with optical fibre in tow-cable. *ICES Int. Symp. Fish. and Plankt. Acoust.*, Aberdeen.
- DALEN, J. and KRISTENSEN, Å. 1981. Measurements of target strength and spatial orientation of euphausiids (krill). *ICES CM 1981/B:17*, 14 s.
- DALEN, J. and KRISTENSEN, K.-E. 1990. Comparative studies of theoretical and empirical target-strength models of euphausiids (krill) in relation to field-experiment data. *Rapp. P.-v. Reun. Const. Int. Explor. Mer.*, 189: s. 336-344.
- DALEN, J. and NAKKEN, O. 1983. On the application of the echo integration method. *ICES CM 1983/B:19*, 30 s.
- DALEN, J., NORDBØ, P.E., and TOTLAND, B. 2000. SODAPS 950: A workstation based system on quantification and visualisation of data from fish schools and sonar. S. 1491-1496 i ZAKHARIA, M.E., CHEVRET, P. and DUBAIL, P. red. *Proc. 5th European Conf. Underwater Acoustics ECUA 2000*, 10-13 July 2000, Lyon, Frankrike.

- DALPADADO, P., ELLERTSEN, B., MELLE, W., and SKJOLDAL, H. R. 1998. Summer distribution patterns and biomass estimates of macro zooplankton and micro nekton in the Nordic Seas. *Sarsia* 83: s. 103-116.
- FOOTE, K. G. 1998. Broadband acoustic scattering signatures of fish and zooplankton (BASS). *Proc. Third European Mar. Sci. Techno. Conf.*, 3, s. 1011-1025.
- FORTE, K. G., KNUDSEN, H. P., KORNELLUSSEN, R. J., NORBØ, P. E., and RØANG, K. 1991. Post processing system for echo sounder data. *J. Acoust. Soc. Am.*, 90: s. 37-47.
- FOOTE, K. G., KNUTSON, T., ATKINS, P. R., BONGIOVANNI, C., FRANCIS, D. T. I., ERIKSSON, P. K., and MORTENSEN, T. 1999. A seven-octave-bandwidth echo sounding system for application to fish and zooplankton. *Act Acoustical 85, S68 & J. Acoust. Soc. Am.* 105, 994.
- FORRES, C. and NAKKEN, O. 1972. Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. *FAO Man. Fish. Sci.* (5): 138 s.
- GORKY, G., ALDER C., CAGE M., PICKEREL M., GARCIA Y., and FOOLED, J. 1992. Vertical distribution of suspended aggregates determined by a new underwater video profiler. *Ann. Rep. Inst. Ocean.*, Paris, 68: s. 275-280.
- GREEN LAW, C.F. 1979. Acoustical estimation of zooplankton populations. *Limon. Ocean.* 24, (2): s. 226-242.
- GREEN LAW, C.F. and JOHNSON, R.K. 1983. Multiple-frequency acoustical estimation. *Biol. Ocean.* 2, s. 227-252.
- GRIFFITHS, G, HARRIS,A.J.K., SOMERS, M.L., CRISP, N.A., ROE, H.S.J. and SMITH, B.V. 1997. A Multi-frequency Echo Sounder for use within a towed undulating vehicle to study oceanic zooplankton abundance. *Proc. 7th Int. Conf. on Electronic Engineering in Oceanography*, 23-25 June 1997, Southampton, England, s. 79-85.
- HERMAN, A.W. 1988. Simultaneous measurement of zooplankton and light attenuation with a new optical plankton counter. *Continental Shelf Research*, Vol. 8, No. 2, s. 205-221.
- HERMAN, A. W. 1992. Design and calibration of a new optical plankton counter capable of sizing small zooplankton. *Deep-Sea Research*, 39, 3-4A, s. 395-415.
- HERMAN, A.W., COCHRANE, N.A., and SAMEOTO, D. D. 1993. Detection and abundance estimation of euphausiids using an optical plankton counter. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 94, 2, s. 165-173.
- HOLLIDAY, D.V. 1977. Extracting bio-physical information from acoustic signatures of marine organisms. S. 619-624 i ANDERSON, N.R. and ZAHURANCE, B.J. red. *Oceanic Sound Scattering Predictions*, (Plenum, New York, 1977).

- HOLLIDAY, D.V. 1980. Use of acoustic frequency diversity for marine biological measurements. S. 423-460 i DIEMER, F.P. red. *Advanced Concepts in Ocean Measurements for Marine Biology*, The Belle W. Raruch Library in Marine Science, Number 10.
- HOLLIDAY D.V. and PIEPER, R.E. 1980. Volume scattering strengths and zooplankton distributions at acoustic frequencies between 0.5 and 3 MHz. *J. Acoust. Soc. Am.*, 67: s. 135-146.
- HORNE, J.K. and JECH, J.M. 1999. Multi-frequency estimates of fish abundance: constraints of rather high frequencies. *ICES J. Mar. Sci.*, 56: s. 184-199.
- JOHANNESSON, K.A. and LOSSE, G.P. 1977. Methodology of acoustic estimations of fish abundance in some UNDP/FAO resource survey projects. *Rapp. P-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer*, 170: s. 296-318.
- KAARTVEDT, S., MELLE, W., KNUITSEN, T., and SKJOLDAL, H.R. 1996. Vertical distribution of fish and krill beneath water of varying optical properties. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 136: s. 51-58.
- KLOSER, R.J. 1996. Deeply-towed transducer improves precision of acoustic surveys of benthopelagic fish. *ICES J. Mar. Sci.* 53: s. 405-413.
- KLOSER, R.J., KOSLOW, J.A., and WILLIAMS, A. 1996. Acoustic Assessment of the Biomass of a Spawning Aggregation of Orange Roughy (*Hoplostethus atlanticus*, Collett) off South-eastern Australia, 1990-93. *Mar. Freshwater Res.*, 1996, 47: s. 1015-1024.
- KORNELIUSSEN, R.J. 1998. Echogram noise quantification. *Proc. of the 21th Scandinavian Symposium on Physical Acoustics*, 3-4.
- KORNELIUSSEN, R.J. 1999. Multifrequency Echograms. *Proc. 22nd Scandinavian Symposium on Physical Acoustics*, 3-4.
- KORNELIUSSEN, R.J. 2000. Measurements and removal of echo integration noise. *ICES J. Mar. Sci.* 57: s. 1204-1217.
- KORNELIUSSEN, R. and ONA, E. 2000. An operational system for extraction of plankton and fish from mixed acoustic recordings. *ICES J. Mar. Sci.* (submitted).
- KRISTENSEN, K-E. og DALEN, J. 1984. Fleirfrekvens akustisk planktonmålesystem. Systemanalyse del 1. ELAB Arbeidsnotat 1/441885.01, Trondheim, 05.11.84: 63 s.
- KRISTENSEN, Å., and DALEN, J. 1986. Acoustic estimation of size distribution and abundance of zooplankton, *J. Acoust. Soc. Am.*, 80(2): s. 601 - 611.
- LIE, H. 1988. Statisk analyse av tauet instrumentfisk. MARINTEK rapport MT51 88-0120, Trondheim: 24 s.

- MEDWIN, H. and CLAY, C.S. 1977. *Applied Ocean Acoustics. Fundamentals of Acoustic Oceanography*. Academic Press, New York: 544 s.
- MELLE, W. 1998. Reproduction, life cycles, and distributions of *Calanus finmarchicus*, *C. glacialis*, and *C. hyperboreus* in relation to environmental conditions in the Barents Sea. Dr. scient. thesis, ISBN 82-7744-046-4, University of Bergen.
- MELLE, W., KAARTVEDT, S., KNUTSEN, T., DALPADADO, P. and SKJOLDAL, H.R. 1993. Acoustic visualisation of large scale macro plankton and micro nekton distributions across the Norwegian shelf and slope of the Norwegian Sea. *ICES CM* 1993/L:44: 25 s.
- MELLE, W. and SKJOLDAL, H.R. 1994. Spawning and development of *Calanus* spp. in the Barents Sea. *ICES CM* 1994/L:22: 43 s.
- MELLE, W., RØTTINGEN, I., and SKJOLDAL, H.R. 1994. Feeding and migration of Norwegian spring spawning herring when entering the cold front in the Norwegian Sea. *ICES CM* 1996/H:13.
- MELLE, W., MORK, K.A., HOLST, J.C., and REY, F. 2000. The Norwegian Sea; Hydrography, plankton and herring feeding. Status report April 2000. *Working Document to ICES Northern Pelagic and Blue Whiting Working Group*.
- MIDTTUN, L. and NAKKEN, O. 1977. Some results of abundance estimation studies with echo integrators. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer*, 170: s. 253-258.
- MISUND, O.A. 1991. Swimming behaviour of schools related to fish capture and acoustic abundance estimation. Dr. Philos thesis, University of Bergen, Norway: 132 s.
- MISUND, O.A., MELLE, W., and FERNÖ, A. 1997. Migration behaviour of Norwegian spring spawning herring when entering the cold front in the Norwegian Sea. *Sarsia* 82: s. 107-112.
- MORTENSEN, T., LARSEN, M. T., ERIKSEN, P. K., FRANCIS, D. T. I. and ATKINS, P. R. 1999. Octave-bandwidth transducers for ultra-bandwidth echo-sounding system. *Proc. Inst. Acoust.*, 21(1): s. 27-41.
- ONA, E. and SVELLINGEN, I. 1999. High resolution target strength measurements in deep water. *J. Acoust. Soc. Am.* 105, No 2 (2PaO1).
- ONA, E., VABØ, I., HUSE, I., and SVELLINGEN, I. 1999. Depth dependent target strength in herring. *ICES J. Mar. Biol.* (submitted).
- PIEPER, R.E. and HOLLIDAY, D.V. 1984. Acoustic measurements of zooplankton distributions in the sea. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 41: s. 226-238.
- PIEPER, R.E., HOLLIDAY, D.V., and KLEPPEL, G.S. 1990. Quantitative zooplankton distributions from multi-frequency acoustics. *J. Plankton Research*, 12 (2): s. 433-441.

- SKJOLDAL, H.R., NOJI, T.T., GISKE, J., FOSSÅ, J.H., BLINDHEIM, J., and SUNDBY, S. 1993. MARE COGNITUM. SCIENCE PLAN for research on Marine Ecology of the Nordic Seas (Greenland, Norwegian, Iceland Seas) 1993-2000. A regional GLOBEC program with contribution also to WOCE and JGOFS. Institute of Marine Research, Bergen, Norway: 162 s.
- SKOGEN, M., SVENDSEN, E., BERNTSEN, J., AKSNES, D.L., and ULVESTAD, K. 1995. Modelling the primary production in the North Sea using a coupled three-dimensional physical-chemical-biological ocean model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41: s. 545-565.
- STANTON, T.K. 1989. Simple approximate formulas for backscattering of sound by spherical and elongated objects. *J. Acoust. Soc. Am.*, 86: s. 1499-1510.
- STANTON, T.K. 1990. Sound scattering by spherical and elongated shelled bodies. *J. Acoust. Soc. Am.*, 88: s. 1619-1633.
- STANTON, T. K., CLAY, C. S., and CHU, D. 1993. Ray representation of sound scattering by weakly scattering deformed fluid cylinders: Simple physics and application to zooplankton. *J. Acoust. Soc. Am.*, 94: s. 3454-3462.
- STANTON, T.K., CHU, D., and WIEBE, P.H. 1996. Acoustic scattering characteristics of several zooplankton groups. *ICES J. Mar. Sci.*, 53: s. 289-295.
- STANTON, T.K., CHU, D., and WIEBE, P.H. 1998. Sound scattering by several zooplankton groups. II. Scattering models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103(1): s. 236-253.
- STØLE-HANSEN, K., ØGÅRD, O. og HALLSET, J.O. 1989. Analyse av tauet instrumentfisk. SINTEF rapport STF48 F98008, Trondheim: 34 s.
- TORGERSEN, T., KAARTVEDT, S., MELLE, W., and KNUTSEN, T. 1997. Large scale distribution of acoustic scattering layers at the Norwegian continental shelf and eastern Norwegian Sea. *Sarsia* 82: s. 87-96.

VEDLEGG I. MÅLEPARAMETRE OG INSTRUMENTENHETER FOR SJØENHETENE

Tabell V-I.1. Samlet oversikt over valgte måleparametre og instrumentenheter for de tre sjøenhetene.
(Assambled overview of selected measuring parameters for the three sea units).

Parametre/enhet	Multibrukssystem		
	Djuptauet farkost	Grunntauet farkost	Droppsonde
Ekkolodd - frekvens [kHz]:			
18/25		x	x
38	x	x	x
70	x	x	x
120	x	x	x
200	x	x	x
400	x	x	x
710		x	x
1200		x	x
Optisk planktonteller		x	x
Video		x	x
Lys/strobe		x	x
Stillbilder/blits			x
Ledningsevne		x	x
Temperatur	x	x	x
Trykk/djup	x	x	x
Fluorescence	x	x	x
Lysmåling	x	x	x
Vannhenter		x/?	x
Planktonhåv			x
Rullevinkel	x	x	(x)
Tiltvinkel	x	x	(x)
Kompass (adferd)	x	x	x
Lekkasjesensor	x	x	x
Posisjon	x/?	x	x/?
Antikollisjonssonar	x		

VEDLEGG II. PLANLAGTE KABELOPERERTE FARKOSTER OG SONDER PÅ NYTT FORSKNINGSFARTØY

