



Fra Forsvarets forskningsinstitutt

HISTORIE

$$[M_1 \sin(\beta - \theta)]^2 = 7(M_0 \sin \beta)^2$$



HUGIN – Utvikling av autonome undervannsfarkoster ved FFI



Det har vært en spennende oppgave å bidra til at mange av instituttets prosjekter helt fra begynnelsen av er blitt beskrevet på en oversiktlig og relativt lettfattelig måte. Slik kan interesserte skaffe seg kjennskap til meget av det instituttet har arbeidet med. Mange travle prosjektledere og medarbeidere har bidratt og har vist stor hjelpsomhet

og tålmodighet. Flere pensjonister har også gitt verdifulle bidrag. En spesiell takk til alle ved publikasjonsavdelingen. Denne samlede innsatsen har vært avgjørende. Jeg takker alle for en svært interessant og lærerik tid.

Red.

Forord

Ved FFIs 50-årsjubileum i 1996 fikk Olav Njølstad og Olav Wicken, da ved Institutt for forsvarsstudier, i oppdrag å skrive FFIs historie for de første 25 år. Oppdraget tok spesielt sikte på å belyse instituttets rolle i en nasjonal sammenheng, i forhold til teknologiutvikling, industripolitikk og, med årene, forsvarsplanlegging. Kildematerialet var først og fremst FFIs arkiv med instituttets korrespondanse og møtereferater fra styrende organer, samt offentlige dokumenter av ulike slag, og Egil Eriksens og Eigil Strømsøes samlede fremstilling av prosjekt-aktivitetene ved instituttet. Oppdraget ble løst på en utmerket måte ved utgivelsen av boken "Kunnskap som våpen". Den har i høy grad bidratt til å gi instituttet som helhet og dets tidlige ledere en velfortjent heder.

Imidlertid var det tidlig klart at oppdraget som ble gitt til Njølstad og Wicken ikke ville gi rom for nevneverdig omtale av selve gjennomføringen av instituttets prosjekter. Hvordan oppstod ideene som ledet til prosjektene? Hva var forutsetningene for gjennomføringen? Hvem stod for den, og hvilke utfordringer møtte de underveis? Med andre ord, vi savner vitnefaste nedtegnelser fra det "indre liv" i instituttet som frembrakte de resultatene som berømmes i nasjonalt perspektiv. Dette har vi bedt prosjektledere og prosjektmedarbeidere å fortelle om.

Hvordan skulle det gjenstående arbeidet legges an? Etter nøye vurdering har vi satset på en serie historiske hefter som hvert dekker et begrenset prosjekt eller fagområde. Det er flere fordeler ved denne løsningen: Arbeidene kan utgis etter hvert som de blir ferdige, og det krever ikke meget å utgi en forbedret utgave dersom feil eller mangler skulle bli påpekt.

Prosjektet har en risiko. Jo bedre vi lykkes med å få frem de viktige bidragene og bidragsyterne, desto kjedeligere blir det med de mangler som allikevel ikke unngås. Også med tanke på oppretting av slike mangler er hefteformen enklest.

Oppslutningen om dette prosjektet har vært meget stor, og mange tidligere og nåværende medarbeidere har bidratt. De er nevnt

som kilder for de enkelte heftene hvor deres bidrag befinner seg.

Instituttets uten sammenligning største og teknologisk bredeste prosjekt-område har vært utviklingen av sjømålsraketter. Den første Penguin-raketten ble i sin helhet utviklet av instituttet, og systemarbeider og kritiske deler er utviklet for de påfølgende versjoner av Penguin og NSM (Nytt SjømålsMissil). En samlet historisk fremstilling av denne virksomheten er i arbeid i regi av Kongsberg Defence & Aerospace. Vi har valgt å avvente den før vi tar stilling til om det er aktuelt å utgi et supplement innenfor denne hefteserien.

Erling Skogen er redaktør for det samlede prosjektet. Han har nedlagt et betydelig arbeid i bearbeiding av tekstene og fremskaffing og redigering av billedmaterialet.

Kjeller 1. mars 2003

Nils Holme



HUGIN – Utvikling av autonome undervannsfarkoster ved FFI

Den populære betegnelsen "miniubåt" dekker et vidt spekter av farkoster. De første tiårene etter Den annen verdenskrig ble det utviklet mange små, bemannede ubåter som opererte fra overflateskip. Slike miniubåter brukes fortsatt, men nå stort sett av forskere som ønsker å være fysisk til stede på store havdyp. I takt med utviklingen innen elektronikk og robotteknikk, ble ubemannede, fjernstyrte undervannsfarkoster (ROV – Remotely Operated Vehicle) mer utbredt. Slike farkoster har en kabelforbindelse til et overflateskip, som brukes til både strømforsyning, styring og dataoverføring. I overflateskipet sitter en eller flere operatører og "kjører" farkosten, og ser på data fra sensorene ombord (videokameraer, sonarer osv.). Fra slutten av 1970-tallet har ROVer vært helt uunnværlige, ikke minst i offshore-industrien. De er gjerne utstyrt med manipulatorer, og brukes til alt fra kompliserte intervensjonsoppgaver (reparasjon, vedlikehold, opphenting av objekter til overflaten osv.) til havbunnskartlegging. Også på militær side er ROVer viktige, blant annet til inspeksjon og nøytralisering av miner.

AUV (Autonomous Underwater Vehicle) er ubemannede farkoster som kan operere på egen hånd, uten fysisk forbindelse til et moderfartøy. I motsetning til ROVer må de altså både ha med tilstrekkelig energi og være utstyrt med tilstrekkelig kunstig intelligens for å gjennomføre sitt oppdrag. De må være i stand til selv å vite hvor de er, hvor de skal, hvordan de skal komme dit, hva de skal gjøre underveis og ikke minst, hva de skal gjøre hvis noe uventet skjer. Farkostene må videre lages slik at sannsynligheten for at de skal komme hjem er størst mulig.

Fordi AUVer ikke har kabel, unngår de alle problemer med kabeldrag og kabelhåndtering, og de kan operere langt fra moderfartøyet, eller til og med settes ut fra land. AUVer kan utstyres med forskjelligartet nyttelast for å utføre oppgaver på sin ferd under vann, både sivile og militære. Av sivile anvendelser kan nevnes oseanografiske målinger, avbildning og kartlegging av havbunnen, inspeksjon av oljerørledninger og måling av fiskebestander. Nærliggende oppgaver for Forsvaret er mineleting, farvannsundersøkelser, overvåking, etterretning og ubåtjakt. På lengre sikt vil AUVer være en naturlig del av en generell robotisering av krigføringen.

AUV mulighetsstudie

Tanken om å utnytte brenselcelle/sjøvannsbatteri for fremdrift av små ubåter ble presentert av forskningssjef Per Thoresen i FRU (Forskningssjefenes råd/utvidet) i slutten av 1970-tallet, og prosjekter for å frembringe brenselceller og sjøvannsbatterier for dette formål ble igangsatt.

I en brenselcelle tilføres brensel og oksydasjonsmiddel utenfra. Hvis bare den ene komponenten, vanligvis oksygen tilføres utenfra, brukes ofte betegnelsen semibrenselcelle. Ellers benyttes betegnelsen batteri, som strengt tatt betyr sammenkobling

av like enheter. Sjøvannsbatteriet er en semibrenselcelle, anodene av magnesium forbrukes, mens katodene tilføres oksygen fra sjøvannet. Rundt 1990 var utviklingen av et sjøvannsbatteri på Avdeling for våpen og materiell (Avd VM) kommet så langt at beregninger av egenskapene til en farkost med sjøvannsbatteri som energikilde kunne gjøres. Gjennombruddet kom med Tor Garshol og Øistein Hasvolds utvikling av "flaskekostelektroden". Denne ga et vesentlig forbedret opptak av oksygen fra havannet og gjorde det mulig å få tilstrekkelig høy spesifikk effekt til at sjøvannsbatterier burde kunne brukes som energikilde i ubemannede undervannsfarkoster. Et batteri med sylindriske magne-



siumanoder og flaskekostkatoder ble bygd og slept etter seilbåten til Hasvold. Den ble seilt med to rev i lett bris for å holde farten nede. Måledataene ble gode og skipperen så ingen kjente på fjorden den dagen.

Nils Størkersen og Øistein Hasvold gjennomførte beregninger og vurderte konstruksjon av en undervannsfarkost, og klarte å frembringe resultater som Per Thoresen kunne bruke i "salg". Instituttets ledelse hadde divergerende oppfatninger om dette prosjektet, og det ble ikke ført videre før Per Thoresen og Nils Holme hadde sikret ekstern finansiering. Etterretningsstaben ved Forsvarets overkommando fant idéen interessant og finansierte prosjektet, som ble gjennomført som en "mulighetsstudie". Men i prosjektet lå det full utvikling av en kabelfri undervannsfarkost.

Det lå store tekniske utfordringer i å realisere en autonom undervannsfarkost. Derfor ble det i mulighetsstudien satt i gang utvikling av en kabelfri undervannsfarkost som ble styrt fra et medfølgende overflatefartøy ved hjelp av akustiske kommandoer. Med en slik akustisk link kunne styringssystemet forenkles vesentlig.

Nils Størkersen ledet prosjektet, Bjørn Jalving var ansvarlig for styre- og kontrollsystemet, Odd Arild Pedersen mekanisk konstruksjon, Øistein Hasvold hydrodynamikk og utvikling av sjøvannsbatteriet. Tor Garshol arbeidet med konstruksjon av et nytt sjøvannslaboratorium og produksjonsutstyr for kostelektroden og Henrich Henriksen med operasjon av farkosten. Oppgaven ble løst innenfor den stramme tidsrammen mulighetsstudien ga for utvikling av en prototyp. En kabelfri miniubåt, overordnet styrt med akustiske signaler fra et overflateskip, og som hadde energi nok til å kunne gjennomføre en reise på 1200 nautiske mil uten batteriskifte, ble demonstrert etter 1½ års utvikling! Våren 1993 "svømte" AUVen, som fikk navnet AUV Demo. En vakker strømlinjeformet skapning med knallgult glassfiberskrog og motorseksjon i aluminium, som var produsert med stor innsats på Fellesverkstedet.

AUVen fikk et grunnleggende styringssystem for styring av kurs, dybde og hastighet. Dette var basert på magnetisk kompass og enkle

sensorer for orientering, vinkelrate og trykk. I stedet for en fleksibel toktplan, kunne man velge mellom åtte ulike forhåndsdefinerte tokt. Operatøren kunne via den akustiske linken kommandere endring av dybde, kurs og start/stopp av propellen. I tillegg kunne man kommandere oppstigning eller nødoppstigning. I tilfelle av nødoppstigning slapp AUVen et blylodd på 20 kg, stoppet propellen og utløste en flytekule med blinkende lys og radiosender. Det tilkom også et automatisk feildeteksjonssystem som på egen hånd kunne kommandere nødoppstigning, for eksempel ved vanninntrenging eller fall i batterispenningen. Totalt var åtte alvorlige feil definert i det automatiske feildeteksjonssystemet, mot flere hundre i senere HUGIN-farkoster.

Sjøvannsbatteriet brukte oksygen løst i sjøvann som oksydasjonsmiddel og var følgelig avhengig av en stor gjennomstrømning av vann for å virke (ca 20 liter/sekund ved fire knop). Farkosten hadde et vanninntak i nesen og utløp for vannet nær farkostens største diameter. Trykkforskjellen som oppsto mellom inn- og utløp når farkosten beveget seg gjennom vannet ga tilstrekkelig gjennomstrømning av sjøvann gjennom batteriet. Hydrodynamisk lå utfordringen i å oppnå tilstrekkelig gjennomstrømning uten at farkostens strømningsmotstand ("drag") ble for stort. På basis av en rekke modellforsøk som delvis ble utført i kavitasjonstunnelen på Marintek og delvis med frittstigende modeller i oppstigningstanken til Dykke- og Froskemannsskolen på Haakonsværn (DFS) og i Bølertjern i Fet, ble skrogform, rorflater og rorplassering fastlagt. Modellene var i skala 1:4, følgelig måtte modellenes hastighet økes med en faktor 4 til 16 knop for å oppnå skalahastighet (samme Reynoldstall for farkost og modell). I kavitasjonstunnelen var modellen fastspent mens kraftmålere ga drag og moment som funksjon av hastighet og angrepsvinkel. Ved fri oppstigning ble modellen gitt en kjent oppdrift, sluppet på 20-30 m dyp og modellens avstand fra slippunktet målt som funksjon av tiden. Avstanden ble målt akustisk med et system utviklet av Tore Svortdal og Andreas Brekken ved Avdeling for undervannsforsvar (Avd U). På DFS var også et videokamera i bruk.

Ved 16 knop hopper en modell ganske høyt over vannet. De var heller ikke alltid stabile, slik at de av og til kom opp et annet sted og



Modellforsøk i Bøletjern, Fet. I båten fra venstre: Henrich Henriksen, Olav Roald Hansen (soldat), Tor Garshol.

med en helt annen retning enn forventet. Dette ga noen meget minneverdige forsøk. Ved DFS ble de som oftest fanget i et nett på overflaten, men ved et tilfelle klarte modellen å treffe mellom kanten på tanken og nettet. Fri oppstigning ble først og fremst benyttet for å spare penger under optimaliseringen av skrogformen, men de ga også meget nyttig input med henblikk på farkoststabilitet.

Under hele utviklingsarbeidet var reduksjon av effektforbruk i fokus. Man tok utgangspunkt i en propell med lav spesifikk belastning og meget høy aspekt ratio for å oppnå størst mulig forhold mellom løft og drag ("seilflyvinge"). Etter noen innledende diskusjoner med Marintek gikk de inn for konseptet. Resultatet ble en propell med en målt virkningsgrad i friprøve på 85% ved nominell last. Bladformen benyttes fortsatt på HUGIN-farkostene, men HUGIN 1000 og 3000 har tre blad i stedet for to.

Ved siden av de hydrodynamiske utfordringene måtte man også utvikle teknologi på omformersiden: Vanligvis seriekobler man celler for å få ønsket systemspenning, men i et system med felles elektrolytt, dvs. sjøvann, kan man ikke gjøre det uten at en

lekkstrøm går mellom cellene. Sjøvannsbatteriet ga ca. 1 V under 300A belastning, spenningen ble transformert opp til 28V i en DC/DC omvandler. Dette er ikke trivielt. Omformerer ble på oppdrag av Olav Sandberg ved Avdeling for elektronikk (Avd E) utviklet og levert av Jostein Gjermstad ved Norinvent AS. Omformerer oppnådde en virkningsgrad på nær 80% ved nominell belastning. En blyakkumulator i parallell med omformerer sikret oppstart av systemet.

Den store svømmeturen

Etter flere mindre prøveturer fra Horten kom tidspunktet for selve hoveddemonstrasjonen: å gjennomføre en "svømmetur" på mer enn 100 nautiske mil. Onsdag 5. mai 1993 lå H U Sverdrup II ved Færder fyr. Med et entusiastisk mannskap og spente forskere ble kursen for AUVen stukket ut i retning Danmark. Halweis ville den gjennom det akustiske kommandosystemet få ordre om å vende nesen hjemover igjen. Den ble på forhånd programmert til å "svømme" i riktig dybde og i riktig retning. Posisjonen under vann kunne overvåkes ved hjelp av et hydroakustisk posisjoneringssystem (portabelt HPR-system). Et fåtall kommandoer ble sendt



AUV Demo og Nils Størkersen ombord på FFIs forskningsskip H U Sverdrup II i mai 1993.

ned over HPR-systemet for å endre den programmerte toktplanen (f.eks. "gå 10 m dypere", "sving 10 grader styrbord" og "kom opp!"). Etter et par uhell underveis ble AUVen kommandert opp, feilene rettet, og AUVen sendt ned igjen til videre ferd. Etter en total lengde på 109 nautiske mil i Skagerrak ble den kommandert opp til overflaten. AUVen og sjøvannsbatteriet hadde bestått prøven – og hadde rundt 90% av den tilgjengelige energien igjen.

Parallelt med oppkjøringen av AUV Demo ble et identisk sjøvannsbatteri testet under simulerte AUV-forhold på FFIs sjøvannslaboratorium som var bygget opp for anledningen på Lerøy utenfor Bergen (Hasvold og Garshol). I denne testen ble dette batteriet utladet over nesten tre uker. Dette dokumenterte at en AUV, med slike sjøvannsbatterier, ville kunne seile en distanse på mer enn 1200 nautiske mil, dvs. en avstand tilsvarende strekningen fra Oslo til Alta.

På dette tidspunktet hadde et fåtall institusjoner, de fleste i USA, hatt AUVer i vannet. Ingen hadde kunnet fremvise en batterikapasitet i nærheten av FFIs AUV Demo, som dermed vakte en viss oppsikt. Fremtredende representanter fra bl.a. US Navy kom på besøk og fikk demonstrert AUVen.

Selve AUV Demo-farkosten ble "pensjonert" etter dette prosjektet, og ble brukt med til dels hard hånd til en del forsøk med launch- og recovery-systemer de følgende år. I flere år lå den og vansmektet utenfor FFIs lokaler i Dampa. Sommeren 2003 ble den imidlertid omsorgsfullt lappet sammen i forbindelse med Forsvarsutstillingen, og brukes nå som utstillingsobjekt.

En kost-effektivitetsstudie

Fortsatt var imidlertid ikke AUVer inne i Forsvarets planverk og budsjetter. Kabelforbundne farkoster var derimot påtenkt for minejakt, og det ble foreslått en kost-effektivitetsstudie for å sammenlikne kabelbaserte og kabelfrie farkoster. Men det var klart at Forsvaret var lunkent til et utviklingsprosjekt, og det var langt frem til et eventuelt kjøp. Det var imidlertid like klart at AUV-teknologien hadde et stort potensial også på sivil side, og det var naturlig å tenke på offshore-sektoren. Thoresen valgte derfor å prøve og få med Statoil. I et møte på Fornebu spanderte han en kopp kaffe på Statoil-direktøren Martin Sigmundstad, som gjengjeldte dette med en ny kopp. Under dette møtet ble samarbeidet med Statoil befestet, og innledende planer for kommersiell utnyttelse av AUV-teknologien lagt. Sigmundstad var en av direktørene i Statoils avdeling for industrialisering og kommersialisering (I&K), og i



nye møter med øverste leder for avdelingen, Kjølve Egeland, ble planene for finansiering bekreftet. Dette samarbeidet ble helt avgjørende for videreføringen av AUV-utviklingen. Studien skulle omfatte minejakt for Forsvaret og kartlegging av havbunnen for Statoil. Det var Arne Indreeide hos Statoil som var pådriver for det siste bruksområdet, etter at man først hadde vært innom tanken om inspeksjon av oljerørledninger.

Prosjektet, kalt "AUV-2000", ble gjennomført i 1994 med Nils Størkersen som prosjektleder, og med bruk av alle tilgjengelige kunnskaper på det tidspunkt ga den et positivt resultat hva angår Statoil. Kabelfrie undervannsfarkoster var konkurransedyktige på dybder større enn 600 m. Hva bedre var, det var ikke lett å se at noen annen teknologi kunne brukes effektivt på dyp større enn 1000 m, en dybde Statoil planla å avansere til på Vøringplatået utenfor Midt-Norge. I ettertid har det vist seg at analysens konklusjoner var svært konservative mht. AUV-konseptenes konkurransedyktighet.

Teamet under AUV-2000 var stort sett det samme som under mulighetsstudien. Per Espen Hagen ble lånt ut fra Avd VMs gruppe for bildebehandling og mønstergjenkjenning, og arbeidet med å vurdere komprimering av sonardata for akustisk overføring. En grunn tanke bak prosjektet var nemlig å beholde muligheten for akustisk kontroll fra et overflateskip, for å lette det mentale spranget fra bruk av ROV-teknologi for kundene.

Forsvaret som stort sett skulle operere på dyp mindre enn 400 m, hadde ingen gevinst av kabelfrihet ble det hevdet. Per Thoresen og forskningssjef Tor Knudsen ved Avd U ville ikke godta denne påstanden uten videre, og fikk startet en ny konseptteknisk studie for å analysere problemet mer inngående (prosjekt "Dyp minejakt, DYMJA"). Prosjektleder for DYMJA ble den nyansatte forskeren Torgeir Svolsbru ved Avd U. Resultatet av denne studien var bl.a. en anbefaling om å arbeide videre med AUV-teknologi med sikte på fremtidige anskaffelser innen minemottiltak.

HUGIN for Statoil

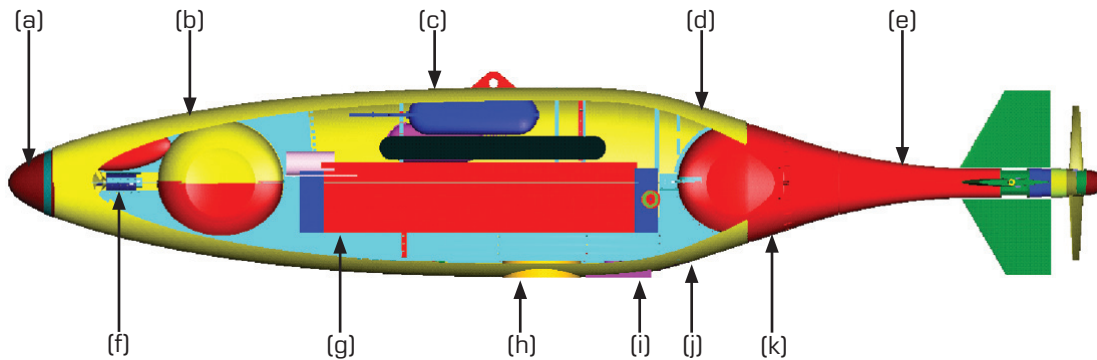
I mellomtiden hadde Statoil, Simrad og FFI definert et prosjekt for å utvikle en kabelfri undervannsfarkost for detaljert sjøbunns-

kartlegging på dypt vann. HUGIN-prosjektet (High-precision Untethered Geosurvey and Inspection system) ble dermed startet i 1995 under ledelse av FFI. Navnet ble foreslått av Statoils Arne Indreeide, og henspiller altså på Odins ravner som fløy ut hver morgen for å samle informasjon, og alltid kom tilbake etter endt "tokt". (Flere hadde i tankene at den militære varianten av farkostene skulle hete MUNIN. Omtrent på samme tid som HUGIN-prosjektet ble etablert, tok imidlertid FFIs gruppe for felles IT-tjenester og -systemer nettopp dette navnet. Som en ytterligere kuriositet kan nevnes at de opprinnelig ønsket å kalle seg HUGIN, men AUV-prosjektet kom dem altså så vidt i forkjøpet.)

Etter tre år var to komplette systemer utviklet (HUGIN I og HUGIN II), hvorav den siste ble overført til NUTEC (senere Norsk Undervannsintervensjon AS, NUI) som siden har operert systemet kommersielt på norsk kontinentalsokkel og etter hvert også internasjonalt. Prosjektet ble fullfinansiert av Statoil som bruker, Simrad (fra 1997 Kongsberg Simrad) som produsent, NUTEC/NUI som operatør, og av Statens nærings- og distriktsutviklingsfond (SND). Nils Størkersen ledet utviklingsprosjektet.

Brenselcellene går under vann

Teknologisk sett var HUGIN-prosjektet svært krevende. Utfordringene lå både i det å få etablert den funksjonalitet og robusthet som farkostene måtte ha for å kunne opereres på dypt vann, men i minst like stor grad at det ble stilt strenge krav til nøyaktighet på det endelige sluttproduktet av HUGIN-operasjonen, nemlig topografiske sjøbunnskart, såkalt batymetriske kart. Offshoreindustrien har behov for slike kart med en oppløsning på ca. en meter og en absolutt posisjoneringsnøyaktighet på få meter. Når dette skulle foregå på 600 m dyp stilte det store krav til teknologiske løsninger og til kunnskap og kompetanse innen dette fagområdet. Videre var det en forutsetning at HUGIN-systemet skulle benyttes under reelle offshoreforhold på norsk sokkel, noe som medførte strenge krav til driftssikkerhet, operativ tilgjengelighet og operasjonell kontroll. Det ble stilt ytelseskrav som lå helt i grensesonen av hva som var mulig med eksisterende teknologi.



HUGIN II, opprinnelig versjon 1997-98.

(a) Neseseksjon, (b) trykkbeholder for nyttelastelektronikk, (c) ballasttank og trykkluftbeholder, (d) transdusere for akustisk kommunikasjon og posisjonering, (e) fremdriftsseksjon med motor og rorservoer, (f) luftblære, (g) AIHP (Aluminium/hydrogenperoksyd) batteribeholder, (h) multi-stråle ekkolodd transduser, (i) transduser for Doppler hastighetslogg, (j) dropplokk for nødsituasjoner, (k) trykkbeholder for kontrollsystem m.m.

Et av disse kravene var behovet for kontinuerlig neddykket utholdenhet på 36 timer. Eksisterende batteriteknologi kunne ikke levere en slik ytelse innenfor de rammebetingelser som offshorekravene satte. Heller ikke sjøvannsbatteriet ga nok effekt til å kunne drive både nyttelast og fremdriftmotor, dels fordi oksygenkonsentrasjonen i sjøvann er lav, dels fordi ledningsevnen til elektrolytten sjøvann er for dårlig. Ved å bytte ut sjøvann med lut (KOH) øker man ledningsevnen med en faktor 20, og ved å tilsette hydrogenperoksid kontinuerlig til luten, kan man øke oksygenkonsentrasjonen i elektrolytten. Magnesium som benyttes i sjøvannsbatterier passiveres i lut, mens aluminium kan benyttes som anode i lut. FFI hadde tidligere arbeidet med å utvikle aluminium-luft semibrenselceller for Hæren. Fra dette arbeidet benyttet man anodelegering og elektrolyttilsetninger mens kostelektroden utviklet under sjøvannsbatteriprojektene ble videreutviklet av Øistein Hasvold og utgjorde den positive elektroden. Idéen til å kombinere de to batterikonseptene kom på en flyplass da Hasvold og Størkersen var på reise i USA (for øvrig en gjensitt etter US Navy-besøket i forbindelse med AUV Demo). Etter noen raske laboratorietester og beregninger var konseptet klart og Hasvold sendte inn en patentsøknad på AIHP-cellen som ble innvilget. Deretter gjensto "bare" å industrialisere konseptet til et driftsikkert energiforsyningssystem for HUGIN II. Ansvarlig for dette meget vellykkede arbeidet var Kjell Håvard Johansen. FFI ville ikke ha kunnet levere HUGIN med den ytelse og innen den tidsramme som var påkrevet, uten den kunn-

skap som var blitt etablert i tidligere prosjekter, bl.a. med utvikling av brenselceller for Hæren, med utvikling av sjøvannsbatterier og med studier av andre batterisystemer.

I motsetning til i AUV Demo benyttet man seriekobling av fire celler i HUGIN II. Dette forenklet DC/DC omvandlingen betydelig. De sentrale personene i realiseringen av AIHP semibrenselcellen var Kjell Håvard Johansen, Øistein Hasvold, Ole Mollestad, Torleif Lian og Sissel Forseth.

Den tunge batteriutviklingen var en viktig grunn til at det ble utviklet to farkoster. HUGIN I hadde nemlig et mer tradisjonelt nikkel-kadmium (NiCd) batteri som bare ga seks timers utholdenhet mot 36 timer for HUGIN II. På utsiden så de to farkostene identiske ut, og svært mye var også likt på innsiden. HUGIN I gjennomførte de første sjøprøvene i august 1996, etter ca. 18 måneders intens utvikling. Denne farkosten skulle vise seg å bli svært viktig for de fremtidige HUGIN-prosjektene. Farkosten ble nemlig brukt til utvikling og uttesting av ny teknologi, og etter hvert også lånt ut til Sjøforsvaret for utprøving. Mer enn åtte år etter at den dykket første gang har HUGIN I gjennomført mange hundre tokt, og er fremdeles i full aktivitet.

Andre store oppgaver i dette første HUGIN-prosjektet var utviklingen av kontrollsystem, operatørstasjon og utsettings- og opphentingssystem, alt sammen systemer som fortsatt benyttes i HUGIN, om enn i betydelig



Foran de første sjøprøvene med HUGIN I sommeren 1996. Fra venstre Odd Arild Pedersen, Atle Gran, Henrich Henriksen, Henry Borgen, Lars Ove Strat.

videreutviklede utgaver. Bjørn Jalving utviklet kontrollsystemet Control Processor (CP) med noe assistanse fra Morten Solli ved Simrads avdeling i Stjørdal og deres innleide konsulent Inge Witsøe. I løpet av prosjektet ble HUGIN-arbeidene overført fra Stjørdal til Simrads avdeling for undervannsinstrumentering i Horten, under Rolf Arne Klepakers ledelse. Jon Kristensen ble raskt sentral innen programvare. Bjørn Jalving og Jon Kristensen beholdt ansvaret for CP frem til i dag (2004).

Per Espen Hagen utviklet et operatørsystem (HuginOS), først sammen med Helge Graffer, deretter med Henry Borgen. Hagen hadde et sabbatsår ved University of Hawaii 1996-97, men endte opp med å jobbe en god del med HUGIN-relaterte ting. I perioder våren 1997 utviklet Hagen og Borgen programvare døgkontinuerlig – i to tolv timers skift, takket være internett og 12 timers tidsforskjell til Hawaii. Dette var imidlertid en tid da det var svært vanskelig å beholde gode dataingeniører ved FFI, og fra sommeren 1997 hadde Hagen ansvaret for HuginOS alene.

Innen komprimering og visualisering av sonardata arbeidet den unike begavelsen Mor-

ten Kloster, først som sommerstudent fra Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), deretter under militærtjeneste ved FFI, så på engasjement, og til slutt som bijobb mens han studerte ved Princeton.

I denne perioden kom en annen unik medarbeider, Kenneth Gade, til FFI. Under veiledning av Bjørn Jalving utviklet han i en prosjektoppgave og senere som ansatt i AUTOTEK-prosjektet (omtales nedenfor) et banebrytende etterprosesseringsystem for navigasjon av HUGIN I og II som ga farkostene uovertruffen posisjoneringsnøyaktighet. Systemet var basert på tradisjonelle navigasjonssensorer. Farkostene var ikke utstyrt med treghetsnavigasjon før år 2000.

Statoil hadde sterkt fokus på datakvalitet. HUGIN I og II overrasket de fleste i surveymiljøet ved å samle multistrålesonardata med meget god kvalitet. HUGIN var og er en meget stabil farkost som følger havbunnen i konstant høyde og sammenliknet med en ROV har den ingen støyende thrustere. Bjørn Jalving og Kenneth Gade arbeidet i denne tiden også med å kvantifisere hvilken horisontal posisjonsnøyaktighet og dybdenøyaktighet man



opnådde i de ferdige bunnkartene produsert med HUGIN-data. Hele feilkjeden ble analysert, fra overflatefartøy, via AUVen og ned til akustisk signalgang i vannet. Svarene ble verifisert på virkelige data. Det ble publisert flere artikler som fortsatt jevnlig refereres av så vel HUGIN-brukere som konkurrenter.

Launch and recovery (L&R), utsetting og opphenting, av HUGIN-farkostene var et tema som ble debattert heftig. Utsetting er i og for seg ikke vanskelig, men en utfordring som alle i AUV-bransjen har følt, er hvordan man skal få fysisk tak i farkosten etter tokt og få den sikkert opp på dekk i dårlig vær. I høy sjø, med en farkost som kanskje har hatt et problem slik at den f.eks. ikke kan manøvrere, og helst uten å sette ut folk i en lettboat. Odd Arild Pedersen kom frem til en innovativ løsning som i starten vakte en del undring, men som etter hvert har blitt kopiert av flere konkurrenter: Ved avslutning av toktet skilles neseseksjonen fra resten av farkosten; de to delene er sammenkoblet med noen meter tau. Mannskap på moderfartøyet skyter med et redningsgevær ut en krok festet til en line over dette tauet, og trekker så farkosten inn mot rampen på akterdekket. L&R-systemet ble bygget inn i en standard container som gjorde det relativt enkelt å mobilisere på forskjellige offshorefartøyer. Pedersen og Pål Halvorsen var de sentrale personene i dette arbeidet og hele systemet ble bygget på Fellesverkstedet.

En betydelig del av utviklingsarbeidet ble også gjort av Kongsberg Simrad. De hadde ansvaret for all elektronikk, kabling, powersystemer, akustisk posisjonering, kommunikasjon og sensorer, samt stadig større deler av programvaren. Kongsberg Simrad brakte inn til HUGIN-teamet en kultur for sunne arbeidsprosedyrer, gjennomført kvalitet i alle ledd av arbeidsprosessen, sammen med et sterkt resultatfokus. HUGIN-systemet kunne benytte en rekke av Simrads standard produkter (bl.a. akustiske linker, multistråle ekkolodd, HPR/HiPAP posisjoneringssystem) og HUGIN-aktiviteten ga også grunnlag for videreutvikling av disse produktene. En betydelig egeninnsats/finansiering fra Simrads side (og senere Kongsberg Simrad og Kongsberg Maritime) ble lagt inn i virksomheten. Etter hvert ble det også etablert et kommersielt apparat rundt HUGIN som produktområde i Kongsberg-systemet.

HUGIN-prosjektet demonstrerte hvor godt det er mulig å samarbeide på tvers av avdelingsgrenser og til og med mellom ulike bedrifter hvis forholdene legges til rette for det og alle har en felles målsetning. Selv om tyngdepunktet til HUGIN-miljøet på FFI lå på Avd VM, var det helt sentrale medarbeidere ved Avd E og Fellesverkstedet. I tillegg hadde man fått til et nærmest sømløst samarbeid mellom FFI og Simrad.

I motsetning til en del andre FFI-prosjekter, der kompetansen overføres og FFI gradvis fases ut etter hvert som man går over i industrialiserings- og produksjonsfasen, har instituttet fortsatt betydelige direkte leveranser til HUGIN-systemene. Dette stiller store krav til kvalitetssikring og gir til tider svært hardt arbeidspress på nøkkelpersoner. Gevinsten for de involverte ved at man får et sterkt eierskapsforhold og ser sine idéer og løsninger bli satt ut i livet og tatt i bruk med stor suksess ute i den store verden, gjør likevel at knapt noen av de sentrale HUGIN-medarbeiderne på FFI har sluttet. Dette har også vært med å gi en enestående kontinuitet og dermed effektivitet.

Effektivitetskonkurranse

Statoil gjennomførte sammen med FFI en effektivitetskonkurranse mellom den kabelstyrte farkosten Solo og HUGIN på 300-350 m dyp i juni 1997 i Boknafjorden. Solo var en veletablert ROV med et godt trent team, mens en ikke helt ferdigutviklet HUGIN ble operert av forskere og ingeniører som til og med ikke var sjøvante. Analysen ble utført av en nøytral tredjepart, Stolt Comex Seaways fra deres fartøy Seaway Commander, og HUGIN kom ut med tre til fire ganger bedre effektivitet enn ROV-løsningen. Dette var vesentlig bedre enn systemanalysens resultat, og viste at hvis ikke de tekniske parametre er godt nok etablert, kan resultatet av analyser bli helt feil.

I tillegg til denne analysens store innvirkning på sivil sektor, hadde den også konsekvenser for militære anvendelser. Med dette var det nemlig påvist at en HUGIN-type farkost også rent effektivitetsmessig kunne konkurrere for Forsvarets formål.

I sammenheng med selve "benchmarkingen" mot ROV, ble det også gjennomført en serie



HUGIN I i launch- og recovery-systemet ombord på M/V Seaway Commander i juni 1997.

med demonstrasjoner for inviterte gjester fra Seaway Commander utenfor Stavanger. Etter fem dager kunne HUGIN prosjektet fra FFI og Simrad mønstre av. De fleste hadde ikke sovet mer enn fire timer per døgn.

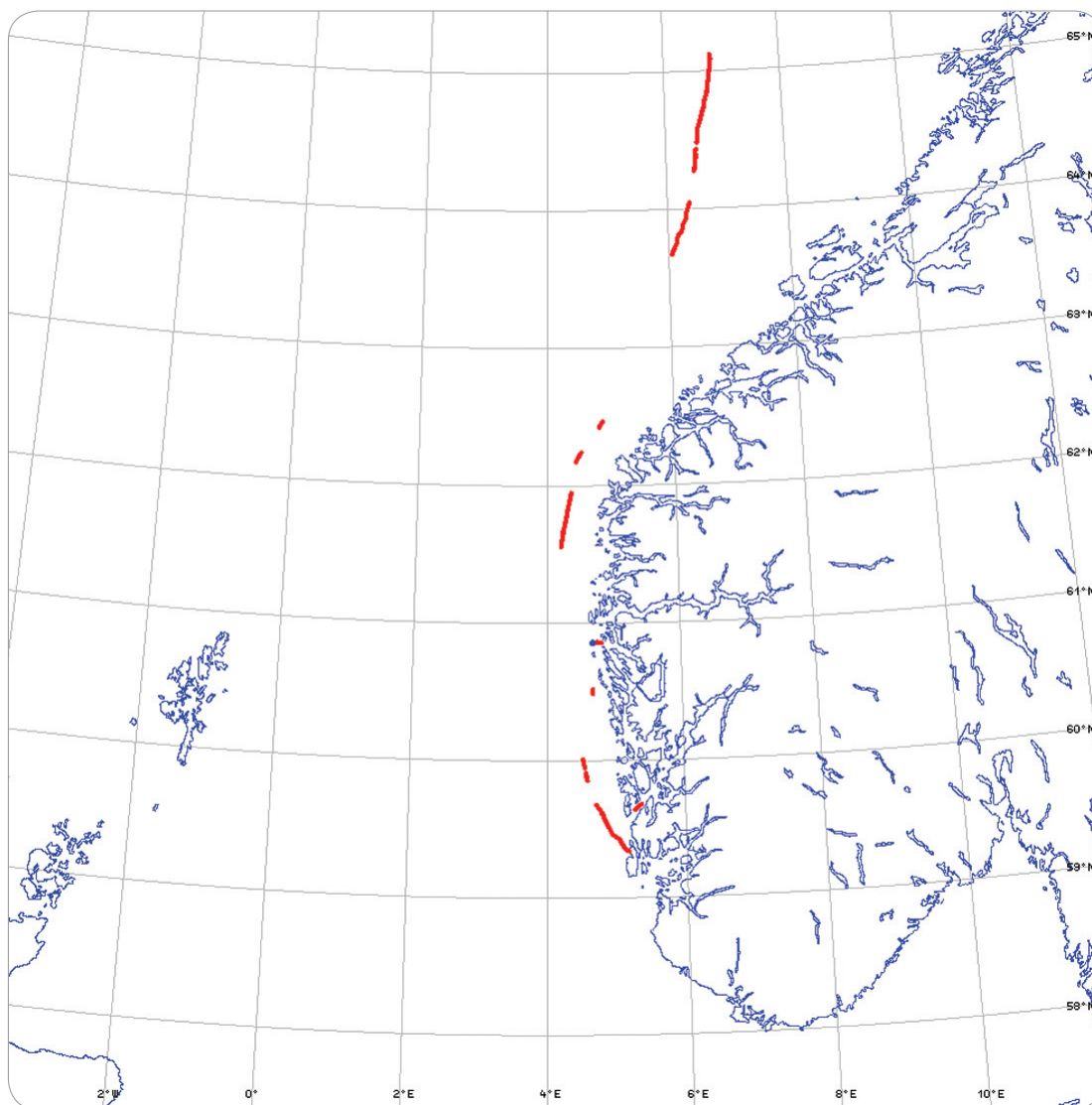
Verdens første kommersielle AUV-operasjon

De gode resultatene førte til at interessen for HUGIN spredte seg i Statoil. I løpet av kort tid kom det spørsmål fra Statoil om FFI, Simrad og NUI hadde mulighet for å stille med HUGIN I til en større kartleggingsjobb i forbindelse med Åsgard-utbyggingen. HUGIN I var med sin korte utholdenhet langt fra optimal for denne typen operasjon, og det gjensto fortsatt en del utvikling. På den annen side så man klart hvilken markeds-effekt dette ville ha, og det ble besluttet å gjennomføre operasjonen.

I to perioder i september-november 1997 kartla HUGIN I 460 linjekilometer av den planlagte traseen for gassrørledningen fra Åsgard-feltet til ilandføringsterminalen på Kalstø. Mange store og små praktiske pro-



Spente utviklere foran dataskjermene under effektivitetskonkurransen i juni 1997. Forfra: Morten Kloster; Bjørn Jalving og Jon Kristensen; Nils Størkersen stående i bakgrunnen.



Andel av Åsgard Transport-traseen kartlagt av HUGIN i høsten 1997 (i rødt).

blemer ble oppdaget og rettet underveis. Til tross for dette demonstrerte HUGIN, denne gang i en reell kommersiell operasjon, en effektivitet mange ganger høyere enn det som ble oppnådd med en ROV (som ble tatt i bruk så snart HUGIN var på dekk for lading eller vedlikehold). Åsgard-kartleggingen var slik sett en stor suksess. Risikoen man løp ved å ta HUGIN i kommersiell bruk på et så tidlig stadium viste seg å gi god avkastning både for utviklerne og for Statoil. Dette markerte begynnelsen på HUGIN-farkostenes store dominans på denne type surveyoperasjoner. Man kom tidlig inn i en god sirkel ved at den operative erfaringen bidro til mer robuste og pålitelige løsninger, som styrket HUGINs markedsposisjon og førte til nye oppdrag.

Denne første kartleggingen skjedde også fra M/V Seaway Commander. Fartøyet var utstyrt med ROV og fullt ROV-mannskap. Mannskapet hadde i utgangspunktet liten tro på HUGINs evner. De klaget over at HUGIN opptok dekkplass og HUGIN-prosjektet ble plassert i skipets minst attraktive lugarer i "thruster valley". Det var ikke fritt for at HUGIN fra tid til annen fikk problemer og måtte til overflaten. Da manøvrerte fartøyet med full kraft, og nettopp innsavnede FFI-forskere kjente på kroppen at de måtte mønstre, selv før noen kom og banket på døra til tomannslugarene. I det hele tatt var disse toktene nok en kraftanstrengelse. Per Espen Hagen, Jon Kristensen og Bjørn Jalving oppdaterte jevnlig programvaresystemene, etter som nye praktiske erfaringer ble gjort.



Sistnevnte var også opptatt med å etterprosessere navigasjonsdata mellom toktene. Odd Arild Pedersen og Geir Øyen fra Simrad måtte stadig skru på farkosten, enten for å vedlikeholde, eller fordi Jon Kristensen trengte fysisk tilgang til kontrollprosessen. Det var på denne tiden skillene mellom hardware og software nådde et høydepunkt. Blant "hardwaregutta" ble "softwareminutter" et legendarisk begrep. Blant softwaregutta var det oppgitthet over at hardware antok at enhver feil skyldtes programvaren, men dårlig skjult skadefryd når stolte mekanikere og elektronikere måtte krype til korset.

Vellykket FoU-prosjekt

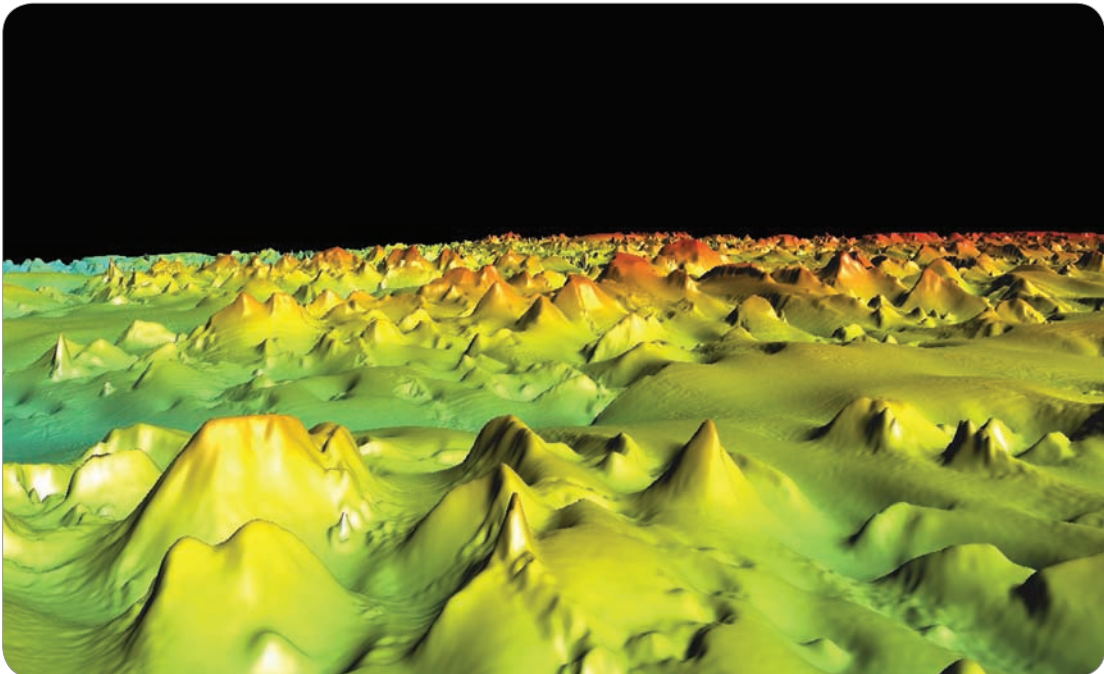
Martin Sigmundstad og Kjøl Egeland i Statoils avdeling for industrialisering og kommersialisering karakteriserte prosjektet som ett av de mest vellykkede FoU-prosjekter de hadde gjennomført da HUGIN II ble overlevert til NUI og døpt til NUI Explorer i 1999.

Uheldigvis inntraff NUI Explorers inntreden på surveymarkedet samtidig med et dramatisk fall i oljeprisene. Dette førte til massive sparetiltak hos oljeselskapene, inkludert store innskrenkninger i lete- og utbyggingsaktivitetene. Selv etter at oljeprisen tok seg opp igjen etter et par år, tok det lang tid før

aktivitetene kom opp i nærheten av gammelt nivå. Konkurransen hardnet også til ved at ROV-baserte kartleggingstilbydere kuttet kostnader og priser i forsøk på å få oppdrag. Likevel fikk NUI Explorer stort sett det som var av denne typen arbeid på norsk sokkel, men det var langt fra nok til å holde den fullt sysselsatt.

HUGIN demonstreres for Sjøforsvaret og for US Navy

HUGIN-prosjektet fokuserte i 1995-2000 på detaljert sjøbunnskartlegging for oljeindustrien, men FFI søkte kontinuerlig å bruke dette prosjektet for å øke interessen hos Forsvaret. Allerede i november 1996 arrangerte FFI en demonstrasjon med HUGIN I for Sjøforsvaret. Demonstrasjonen foregikk ved Breidangen utenfor Horten. Deltakelsen besto i hovedsak av representanter fra Sjøforsvaret med kontreadmiral Rino Paus i spissen. Arrangementet markerte slutten på en særdeles hektisk periode for HUGIN-prosjektet. Dagen for demonstrasjonen opprant med øsende regnvær og sterk vind. Moderskipet denne gang var M/K Simrad. Vel ute på Breidangen hadde været lettet litt og undervannsfarkosten ble klargjort. Den ble programmert til å gjennomføre et kartleggingsoppdrag, dvs. å "fly" over havbunnen i



Havbunnen på Ormen Lange-feltet kartlagt av NUI Explorer sommeren 2000. Toppene er 30-50 m høye (gjengitt med tillatelse fra Norsk Hydro A/S).



konstant høyde og i et symmetrisk mønster og akustisk "avbilde" topografien på havbunnen. Posisjonering av farkosten skjedde ved hjelp av differensiell GPS satellittnavigasjon og Simrads nye akustiske posisjonerings-system HiPAP (High-Precision Acoustic Positioning). Meldinger fra farkosten til overflatefartøyet og styringskommandoer ned til farkosten ble oversendt via akustiske linker, også utviklet av Simrad. Farkosten dykket ned til 120 meters dyp for deretter å gå over på høydestyring, 50 m over havbunnen. Avbildning av topografien på havbunnen ble vist i nær sann tid etter hvert som farkosten avanserte i søkemønsteret. HUGIN gikk ca. en nautisk mil nordover for så å snu 90 grader to ganger og deretter følge en parallell kurs tilbake igjen. Demonstrasjonen ble betegnet som meget vellykket, og de sjømilitære representantene var opptatt av hvordan dette teknologiområdet kunne gi bidrag til egne sjømilitære operasjoner.

23. juni 1997, umiddelbart etter demobiliseringen fra toktet med Seaway Commander i Boknafjorden, gjennomførte FFI en HUGIN-demonstrasjon for US Navy. Sjefen for Naval Meteorology and Oceanography Command, kontreadmiral Paul G. Gaffney var på offisielt besøk i Norge og HUGIN skulle være "rosinen i pølsen" under besøket i Horten. En prominent forsamling med forsvarsminister Jørgen Kosmo i spissen var invitert om bord på USNS Pathfinder for turnering av høye glass og store ord. HUGIN-teamet hadde fått et par timer for å vise frem HUGINs fortrefelighet. Da det ikke ble gitt tillatelse til å kjøre HUGIN fra Pathfinder, måtte vi bruke Simrads forskningsfartøy til dette. Å stue gjestene om bord i Simrad-båten var utelukket, så vi bestemte oss for å overføre informasjonen fra HUGIN i sann tid til Pathfinder over en mobiltelefonlink. En slik GSM-link ble utviklet på rekordtid, men var nesten ikke testet ut da tiden for demonstrasjonen kom. Under generalprøven dagen før viste det seg at mobildekningen på Breidangen utenfor Horten var skral (noe som har fortsatt å skape problemer hver gang noe går galt på sjøprøve og en forsker prøver å ringe opp en annen). Men med kompetente FFI-forskere i begge ender av linken regnet vi med at vi skulle kunne holde kontakten mellom HUGINs operatørstasjon og Pathfinder oppe såpass at vi kunne berge stumpene. Ikke minst fordi HUGIN-kommunikasjonen er laget for å være

robust og tåle bortfall, som er vanlig over akustiske linker. Som Størkersen uttrykte det i innledningen av demonstrasjonen: "I pray to God and to the national telephone company...". I tillegg kom en alarmerende melding fra Simrad-båten en times tid før demoen skulle starte om at HiPAP-modulen i HUGIN var død, en melding som diskret ble formidlet til direktør Holme som lettere nervøst forsøkte å tone ned forventningene. Odd Arild Pedersen skrudde som besatt og skiftet HiPAP-modul tidsnok til at HUGIN ble satt ut etter tidsplanen. Demoen gikk perfekt. HUGIN-data og sjøbunnsinformasjon fra ekkoloddet om bord ble sendt på akustisk link til Simrad-båten, derfra over GSM-link til en HUGIN operatørstasjon på Pathfinder, hvor dataene fra sjøbunnen på Breidangen ble vist på storskjerm i sann tid. Dette må nok karakteriseres som et litt halsbrekkende stunt, men i retrospekt var dette antakelig også en av de første demonstrasjonene av "over-the-horizon rapid environmental assessment".

Program for større autonomi

De fleste militære anvendelser krever større autonomi enn hva HUGIN hadde på dette tidspunkt. For å få en virkelig autonom farkost var det klart at det måtte utføres en omfattende teknologiutvikling. Nå var situasjonen at det var utviklingsprosjekt i gang med en bevisst kunde som ville ha en kabelfri farkost, og markedsføringen mot Forsvaret så ut til å lykkes. Da var tiden inne for å utvikle teknologien for neste generasjon. En autonom farkost har behov for å vite hvor den er, hvor den skal og hva den skal gjøre. Det var derfor nødvendig å utvikle bedre navigasjonssystemer, bedre sensorer og algoritmer for å analysere og handle ut fra sensordata. Prosjekt AUTOTEK ble igangsatt høsten 1996 med Nils Størkersen som prosjektleder, dette ble etterfulgt av flere andre teknologiutviklingsprosjekter.

På navigasjonssiden kunne det trekkes på erfaring og kunnskaper på Avd E, der Bjørn Jalving arbeidet med navigasjonssystemer både for NSM (Nytt Sjømålsmissil; senere Naval Strike Missile) og AUV. I løpet av få år rekrutterte han først Kenneth Gade og deretter Magne Mandt, og bygget opp en meget sterk gruppe innen undervannsnavigasjon. De utviklet et integrert treghetsnavigasjonssystem for en rekke undervannsbehov. Etter



hvert ble navigasjonsarbeidene forankret i Kongsberg Simrad som et eget produktområde i tillegg til AUV-virksomheten. Magne Mandt brakte etter 2001 HUGIN-teknologien videre inn i undervannsbåtprosjektene på FFI. AUV- og undervannsbåtprosjektene høstet som et resultat av dette gjensidig synergi.

På sensorsiden ble det tatt utgangspunkt i Simrads kunnskaper om sonar og FFIs kompetanse på billeddannende sensorer. Stein Grinaker var prosjektleder for en stor gruppe som arbeidet med billedbehandling. Arbeidet var riktignok fokusert på visuelle bilder, men Thoresen og Grinaker kom til at det å bevege seg inn i sonarbilder var både mulig og gunstig. Per Espen Hagen fikk etter hvert med seg Øivind Midtgaard, Geir Linløkken og Petter Lågstad i et team som bl.a. utviklet systemer for automatisk deteksjon og klassifisering av miner fra sonardata. Også disse arbeidene fikk en spin-off ved at man utviklet tilsvarende systemer for tradisjonelle skrogmonterte minejaktsonarer.

I tillegg ble det startet en utvikling i skjæringspunktet mellom navigasjon og sonardataanalyse. Eilert Heyerdahl og Per Espen Hagen hadde tidlig på 1990-tallet utviklet en nyskapende navigasjonsmetode for luftfarkoster (missiler, fly, UAVer osv.), basert på billedbehandling. Det ble utviklet under FFI-prosjektet "BASIS", som var en del av et IEPG-program for utvikling av teknologi for fremtidens styrte missiler. Dessverre brøt det internasjonale samarbeidet etter hvert sammen, og Norge fullførte prosjektet alene. Til tross for gode resultater var det vanskelig å se for seg en videreføring. Derimot mente Thoresen at det kanskje kunne brukes under vann med bruk av sonar i stedet for videokamera. I kollokvier sammen med Hagen og Heyerdahl ble det klart at selv om prinsippet ikke direkte lot seg overføre, var det mulig å lage et lignende system med en sonar. Heyerdahl og Hagen utviklet en filosofi for et slikt navigasjonssystem, og sammen med Morten Kloster ble det laget et system som ble demonstrert i etterprosessering. Systemet kunne ikke bare navigere der hvor det forelå kartunderlag, men det lot seg gjøre å navigere også i ukjent terreng – og samtidig bygge opp et kart.

Omtrent samtidig hadde Oddbjørn Bergem ved Avd U laget et navigasjonssystem som

benyttet samme type sensorer, men var basert på en svært ulik teknisk løsning. Det var en viss rivalisering mellom miljøene i Horten og på Kjeller på dette området, og i et beryktet møte med forskningssjefene Per Thoresen og Tor Knudsen, samt Størkersen, Bergem, Heyerdahl og Hagen, toppet dette seg med en del særdeles udiplomatiske utspill og sterke utsagn. Kort tid etter fikk imidlertid Bergem en stilling ved SACLANTCEN, NATOs senter for undervannsforskning, og navigasjonsaktivitetene ved Avd U døde deretter bort. Det kan nevnes at Ove Kent Hagen i 2003 implementerte en variant av metoden til Bergem, nå integrert med treghetsnavigasjon. I HUGIN-miljøet arbeides det i dag med tre ulike metoder for terrengnavigasjon og man ønsker å utnytte de sterke sidene til alle metodene.

Det ble også tatt kontakt med flere forskningssentra der det foregikk utvikling av sensorer for å få til samarbeide. Det lyktes å få det til med SACLANTCEN. Senteret lå rundt århundreskiftet i fremste rekke internasjonalt innen utvikling av syntetisk apertur sonar (SAS), et svært spennende sonar-konsept som var perfekt tilpasset AUVer. Optimal utnyttelse av SAS krever imidlertid god kjennskap til navigasjon, og her manglet SACLANTCEN kompetanse. I et smart trekk tilbød derfor FFI sin navigasjonsekspertise mot å få tilgang til senterets SAS-kompetanse. I 2000 startet FFI på dette grunnlag prosjektet SENSOTEK for utvikling av et SAS-system for HUGIN. Dette ble gjennomført i samarbeid med Kongsberg Simrad AS, hvor teknologien søktes utnyttet både sivilt og militært. Per Espen Hagen var prosjektleder, og man bygget opp et meget sterkt fagmiljø innen SAS med Roy Edgar Hansen i spissen. SAS har store fellestrekk med syntetisk apertur radar (SAR), der FFI har vært aktive i mange år, og dette var av stor nytte for det nye SAS-miljøet. På navigasjonssiden var Bjørn Jalving delprosjektleder, men Kenneth Gade var den utførende. NavLab ble utviklet av Kenneth Gade. NavLab er en generell programpakke for utvikling av integrerte treghetsnavigasjonssystemer, analyse av nøyaktighet til navigasjonssystemer og etterprosessering av lagrede navigasjonsdata. SACLANTCEN ble den første brukeren av NavLab utenfor FFI.



Batteriutviklingen, som egentlig var utgangspunktet for hele prosjektporteføljen, måtte også etter Thoresens mening videreføres. Begrensningen med sjøvannsbatteriet var som nevnt at sjøvann inneholder lite oksygen, som gjorde at man fikk lav effekt (men over desto lengre tid, ettersom energiinnholdet var meget høyt). Øistein Hasvold hadde tanker om en kombinasjon av sjøvannsbatteri og pumpejet fremdriftssystem som virket lovende. Idéen var enkelt forklart at ved å pumpe vann gjennom batteriet kunne man ikke bare øke tilgangen til oksygen, men denne jetstrømmen kunne også benyttes til fremdrift. Frankrike hadde stor kompetanse på pumpejet. Både for å kunne utnytte deres kompetanse og for å få en kjøpekraftig samarbeidspartner, ble det tatt kontakt med de franske forskerne, og det kom i gang et felles utviklingsprosjekt kalt "CLIPPER". Sjøvannsbatteriet til en farkost med en rekkevidde over 1600 nautiske mil (og 2-3 ukers utholdenhet) ble demonstrert.

For sjøforsvarsformål anså man at AIHP semibrenselcellen ikke ville være egnet på grunn av logistikkaspektet ved å etterforsyne farkostene med kalilut og hydrogenperoksid. Man utførte derfor en evaluering av elektrisk ladbare systemer med høy energitetthet,

god brukersikkerhet og lang levetid. I 1999 ble NiCd-batteriet i HUGIN I byttet ut med et litium ion-batteri med noe større kapasitet og halve størrelsen. Det frigjorte volumet ble benyttet til nyttelast. Høy energitetthet og høy brukersikkerhet krever redundante kontroll- og overvåkningssystemer og en utvikling av lade- og kontrollektronikk ble utført i samarbeid med Kongsberg Simrad.

Spesifikk energi, spesifikk effekt, kostnad og levetid er vesentlige egenskaper ved energiforsyningssystemet til en AUV, og valg av energiforsyningssystem avgjør vesentlige farkostegenskaper som rekkevidde, driftssikkerhet og driftsutgifter. Spesielt for høyenergetiske batterier og brenselceller kommer også personell- og plattformssikkerhet inn. Disse forhold har FFI vektlagt i flere studier.

HUGIN 3000 til USA

AUV-området var i 1998-99 kommet i en situasjon der utvikling av prototyper, utvikling av ny teknologi for neste generasjon produkter og markedsføring for disse produkter kunne gå i parallell. Statoil fortsatte å tenke innen kartlegging og ville utvikle en farkost som kunne operere ned til 2000 m. I 1998 startet et nytt utviklingsprosjekt for å få frem



HUGIN 3000 under utprøvningsfasen i Horten sommeren 2000.



en neste generasjons HUGIN-farkost, som kunne dekke et bredere sivilt marked og som kunne gå ned til 2000 m dyp. Etter å ha fullfinansiert prosjektet det første året, trakk Statoil seg noe tilbake, og Kongsberg Simrad overtok hovedansvaret for finansieringen av den videre utviklingen. I 1999 lyktes Kongsberg Simrad i å vinne en kontrakt for salg av en HUGIN-farkost til det amerikanske surveyselskapet C&C Technologies Inc., i skarp konkurranse med amerikanske, kanadiske og andre AUV-produsenter.

De to viktigste fortrinnene HUGIN hadde, var semibrencelcellen som på dette tidspunkt allerede var veletablert i HUGIN II/NUI Explorer, og FFIs store kompetanse innen treghetsnavigasjon. HUGINs unike posisjon med to års reell operativ erfaring innen offshore kartlegging, launch- og recovery-systemet, et velutviklet operatørgrensesnitt og Kongsberg Simrads gode merkenavn innen bl.a. hydrografi var andre viktige momenter bak C&Cs nokså oppsiktsvekkende beslutning om å kjøpe sin første AUV fra det lille høykostlandet Norge. Amerikanske myndigheter hadde allerede på dette tidspunkt satset atskillige hundre millioner dollar på nasjonal utvikling, og C&C hadde et nært og godt forhold til US Navy.

Dette representerte den første kommersielle leveransen av et slikt system i det profesjonelle surveymarkedet, og posisjonerte norsk teknologi helt i tet på dette området. De sentrale personene hos Kongsberg Simrad i denne prosessen var Rolf Arne Klepaker og Karstein Vestgård. HUGIN 3000, som farkosten ble kalt, ble overlevert til C&C Technologies i juli 2000 etter en meget hektisk oppkjøringsperiode i Horten.

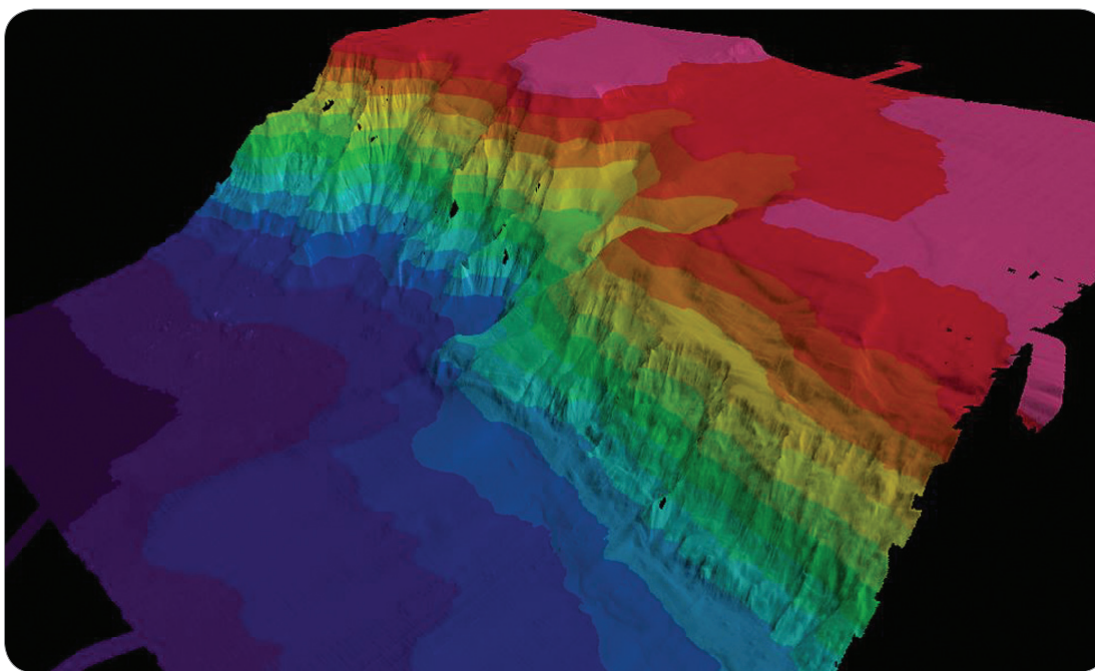
C&C var en krevende og teknisk svært dyktig kunde, og det omfattende utviklingsarbeidet ble gjennomført i et tett samarbeid mellom Kongsberg Simrad, C&C og FFI. De mest sentrale fagpersonene fra FFIs side i denne fasen var Bjørn Jalving, Magne Mandt, Kenneth Gade, Per Espen Hagen, Kjell Håvard Johansen, Odd Arild Pedersen, Olav Nilsen og Bjørn Bergersen. Roar Hansen var prosjektleder i Kongsberg Simrad, godt fulgt opp av produksjef Karstein Vestgård. Bjørn Jalving samordnet softwareutviklingen og planla og ledet alle sjøprøvene fra kontraktsinngåelsen i august 1999 til leveransen i

juli 2000. Semi-brenselcellen ble utvidet fra fire til seks celler og en kapasitet på hele 40 kWh, dybderatingen ble økt til 3000 m, og det var satt av rikelig plass i farkosten til et nyttelastsystem utviklet av C&C. Farkosten ble også den første med det integrerte navigasjonssystemet som Kenneth Gade utformet i "AUTOTEK"-prosjektet, i en sanntidsversjon utviklet av Mandt og Jalving.

På programvaresiden representerte HUGIN 3000 en enorm omveltning og videreutvikling, med objektorientert design og modellering i UML, nytt sanntids operativsystem (PharLap ETS), nytt programmeringsspråk (C++), TCP/IP og CORBA, streng bruk av versjonskontroll i tillegg til en rekke nye farkostfunksjoner som GPS, radiolink, bane-punktstyring, antikollisjonsensor osv. Med dette prosjektet, der praktisk talt all utvikling var betalt av kunden, gikk HUGIN fra å være en pålitelig og funksjonsdyktig, men på mange måter enkel AUV, til også å være blant de mest avanserte farkostene i verden.

Fra august 2000 gjennomførte HUGIN 3000 offshore kvalifisering og akseptansetestester i Mexico-gulven. Dypvannskvalifiseringen ble til dels gjort som en del av kartleggingen av tre gassfelt som BP Amoco skulle bygge ut, "Holstein", "Crazy Horse" og "Mad Dog", som ligger på henholdsvis 1300, 1900 og 2300 meters dyp. Dette ble en krevende periode med mange USA-turer. Akseptansetestene kom samtidig med "hurricane season", og ofte måtte tokt avbrytes eller utsettes på grunn av dårlig vær. Det var også en del utfordringer innen nyttelastsystemet og generell farkostrobusthet som måtte overvinnes. Fra FFIs side deltok Bjørn Jalving, Magne Mandt, Kjell Håvard Johansen, Odd Arild Pedersen og Kenneth Gade i disse aktivitetene i USA.

For HUGIN-personellet var det interessant å observere at det også i C&C utviklet seg kulturforskjeller mellom software- og hardwaremiljøene. På surveybåten var det en røff men god humor. Softwaregutta ble kalt "lab rats" mens personellet som arbeidet med mekanisk vedlikehold, batteri og klargjøring av HUGIN 3000 før tokt gikk under betegnelsen "container trash". Kjell Håvard Johansen var viktig både for batteriet og arbeidsmiljøet og fikk hedersbetegnelsen "Batman".



3D-visualisering av bunndata fra Sigsbee Escarpment i Mexico-gulven. Havdyp fra 1200 til 2300 m. Vist område ca. 10x10 km. HUGIN 3000 har demonstrert terrengfølging i terreng opptil 45 grader helling. (Gjengitt med tillatelse fra C&C Technologies og BP.)

Det bør også nevnes at C&Cs største konkurrent, det internasjonale surveyselskapet Fugro, inngikk en avtale med Boeing og Oceaneering International om utvikling av en AUV omtrent samtidig. Mens HUGIN ble levert til avtalt tid sommeren 2000, var Boeings farkost, kalt Echo Ranger, ikke klar til bruk før i 2003, og da kun kort tid, før den forsvant tilbake til fabrikken for omfattende reparasjoner etter et "uhell". Fordi Echo Ranger benytter tradisjonell batteriteknologi er denne farkosten forøvrig omtrent dobbelt så stor som HUGIN 3000 – med samme utholdenhet. (Høsten 2004 inngikk Fugro kontrakt med Kongsberg Maritime om kjøp av en HUGIN 3000-farkost.)

På denne måten fortsatte HUGIN-farkostene å dominere surveymarkedet.

Markedsledende posisjon

En rekke markedsanalytikere og oljeselskaper har spådd AUV-teknologien en lys fremtid, i første rekke innen sjøbunnskartlegging, men også innen en rekke andre sektorer. Gjennom HUGIN-aktivitetene har FFI medvirket til at norsk industri har inntatt en markedsledende posisjon på dette området.

Våren 2001 ble NUI Explorer oppgradert med mye av teknologien fra HUGIN 3000, bl.a. det nye kontroll- og navigasjonssystemet, samt et nytvirket nyttelastsystem (C&Cs HUGIN 3000 hadde jo C&Cs egen løsning på dette punktet). Nyttelastsystemet (Payload Processor, PP) var basert på et svært fleksibelt "plug and play" design der man kunne kombinere vilkårlige nyttelastsystemer ved hjelp av egne drivere eller "plugins". Systemet omfattet også et transparent kommunikasjonssystem der et operatørprogram på overflateskipet kunne kommunisere med "sin" nyttelast. Arkitekter bak dette systemet var Jon Kristensen og Per Espen Hagen, men utviklingen omfattet også Geir Lasse Kaldestad fra NUI og Ruben Patel fra Havforskningsinstituttet. NUIs HUGIN-virksomhet har de siste årene vært ledet av Terje Vedeler.

I desember samme år halte Kongsberg Simrad i land kontrakt på en ny HUGIN 3000-farkost, denne gang til det norske surveyselskapet AS Geoconsult. Farkosten ble levert bare et drøyt halvår etter bestilling. Med dette var tre HUGIN-farkoster i kommersiell virksomhet – og med den revolusjonerende effektivitetsøkningen slike farkoster ga, spesielt på dypt vann, viste dette seg å være tilstrekkelig



HUGIN 3000-GC slippes fra Geoconsults surveyskip S/V GeoBay i 2002.

for å dekke den globale etterspørselen for slike oppgaver. C&Cs farkost fullførte f.eks. tre års prosjektert arbeid i Mexico-gulven på bare åtte måneder. HUGIN ble dermed sin egen verste fiende – den var simpelthen for effektiv. På sikt antok man at de reduserte kostnadene ville senke terskelen for oljeselskapene til å bestille kartleggingsoppdrag, men på kortere sikt ble det derfor mer og mer viktig, ikke minst for Kongsberg Simrad, å se på andre markeder.

HUGIN for mineleting

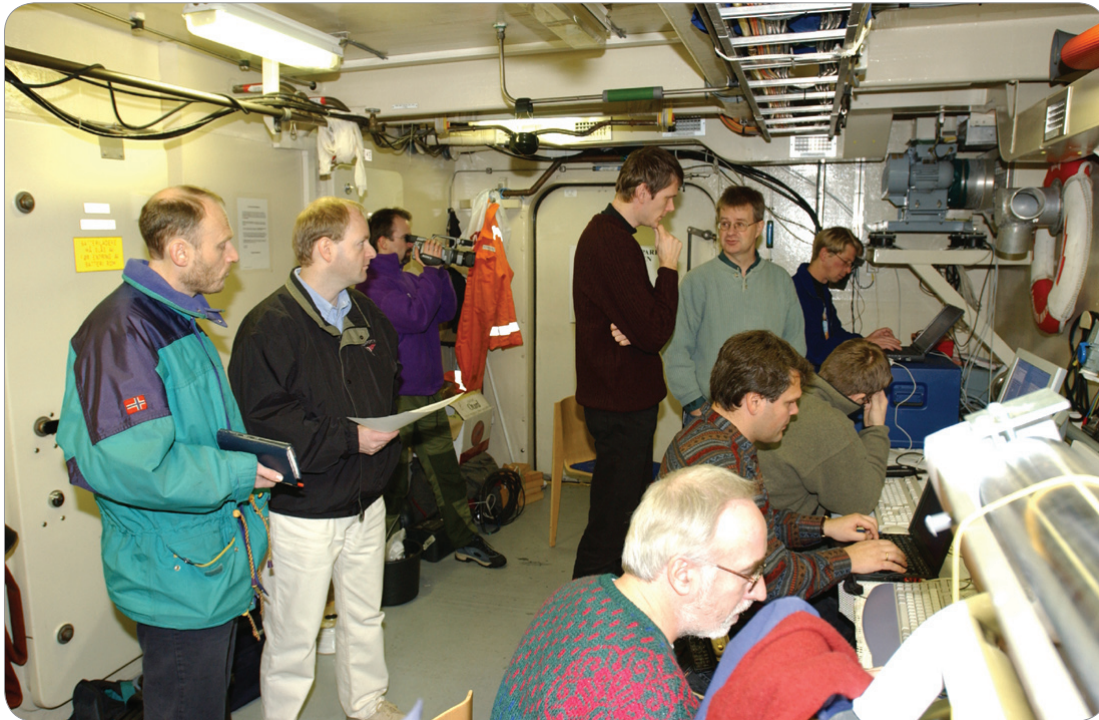
Parallelt med de sivile anvendelsene arbeidet FFI som nevnt målrettet for å utnytte AUV-teknologien også på militær sektor. Hele utviklingen var basert på en "dual use"-filosofi. Resultatene fra den sivile virksomheten ble søkt utnyttet maksimalt for Forsvarets formål, og kunnskapen om de fremtidige militære behov var hele tiden til stede i bakhodet når man utviklet sivile systemer. Sjøforsvaret kom etter hvert inn med et betydelig prosjekt innen minerydding, basert på at en eller flere HUGIN-farkoster kunne operere mer eller mindre autonomt under letefasen og overlate kart over minenes posisjon til mineryddings-

fartøyet, som på en kontrollert og effektiv måte etterpå kunne rydde området. Flere nasjoner arbeider med liknende konsepter, og NATO har identifisert AUV-teknologien som en av de viktigste innen minemottiltak. Som et resultat av de tunge sivile aktivitetene og den operasjonelle erfaringsbasis som denne virksomheten akkumulerte rundt om i verden, kunne FFI etablere troverdige tekniske løsninger også for mine mottiltaksområdet, som plasserte oss i tet i europeisk sammenheng.

Da Thoresen gikk av som forskningssjef i 1999, overtok Størkersen ansvaret for FFIs aktivitet innen AUVer og minemottiltak på den nyopprettede Avdeling for beskyttelse og materiell (Avd BM). Hagen tok over som prosjektleder, og til tross for de organisatoriske omkalfatringene ble HUGIN-aktivitetene videreført uten endringer av betydning.

Sjøforsvarsprosjektet, kalt MINEKART, skulle avsluttes med operative demonstrasjoner av HUGIN i ulike militære roller i 2001. Hagen ivret for at disse demonstrasjonene måtte gjennomføres fra et av Sjøforsvarets minejaktfartøyer av Oksøy-klassen, og man lyktes til slutt i å tilpasse KNM Karmøy for HUGIN-operasjon på en forholdsvis primitiv måte – ved å låne launch- og recoverysystemet fra Simrad Echo, rote frem en mast for akustiske linker og posisjonering fra et lager på Haakonvern, samt raske sammen noen arbeidsstasjoner fra FFI og plassere dem i fartøyets ROV-hangar. Installasjonen hadde klare begrensninger – launcheren hadde en litt for kort rampe, slik at fartøyet måtte senkes maksimalt ved opphenting av HUGIN, og masten for akustiske linker tålte ikke at skipet seilte raskere enn ca. fem knop. For å få tilgang til skipets navigasjonsdata kom Per Espen Hagen og Øivind Midtgaard sammen med Geir Solvang fra KDA frem til en løsning som involverte fjerning av et par sikringer og noen høyst utradisjonelle omkoblinger i sonarrommet. Selve installasjonen og mobiliseringen ble gjennomført på noen få hektiske dager.

Det var satt av tre dager til kjøring – en dag med generalprøve, en dag med demonstrasjon for utenlandske gjester (fra Storbritannia, USA, Sverige og Finland), og til slutt en dag med demonstrasjon for Sjøforsvaret. Under generalprøven ble det klart at den



Full aktivitet i ROV-hangaren på KNM Karmøy dagen før dagen. Fra venstre: Nils Størkersen, Per Espen Hagen, Jan Olav Langseth, Bjørn Hugsted (foran), Øivind Midtgaard, Petter Lågstad, Jon Kristensen, Magne Mandt, Bjørn Jalving.

nitidig planlagte toktplanen ikke var gjennomførbar pga. begrensninger ved installasjonen på Karmøy, og planen måtte endres drastisk før en vellykket generalprøve ble gjennomført utpå kvelden.

Selve demonstrasjonene forløp prikkfritt. HUGIN ble klargjort og sluppet fra Karmøy og gjennomførte et områdesøk med akustisk kontroll. Gjestene så akustisk overførte data bli vist på storskjerm i offisersmessen i nær sann tid. Dette var på mange måter bare en gjentakelse av den første demonstrasjonen for Sjøforsvaret fem år tidligere. Men så stoppet Karmøy opp, og HUGIN fortsatte alene frem til et annet område der man på forhånd hadde lagt ut fire mineattrapper. Gjestene spiste lunsj mens HUGIN, nå helt uten kontakt med moderskipet, gjennomførte et søk i svært lav høyde over havbunnen, før den kom tilbake og ble hentet opp. Dataene ble lastet ned fra farkosten, minene detektert automatisk og snurret rundt i et 3D-verktøy utviklet av Bjørn Hugsted. Gjestene var imponert, og diskusjonen kom fort inn på når man kunne få dette systemet virkelig operativt på minejaktfartøyet – jo før jo heller, var den generelle stemningen.

Igjen hadde en noe risikabel satsning vist seg å gi solid avkastning. Få måneder etter demonstrasjonene var en fullverdig oppgradering av KNM Karmøy for HUGIN-kjøringer besluttet, og et nytt prosjekt for utvikling av en HUGIN-variant tilpasset minejakt igangsatt. Dette konseptet, kalt HUGIN MRS (Mine Reconnaissance System), skulle inneholde resultatene av de årelange teknologiutviklingsarbeidene ved FFI: Syntetisk apertur sonar, høypresis autonom navigasjon, utvidet autonomi i toktgjennomføring, automatisk deteksjon og klassifikasjon av objekter, terrengnavigasjon, effektive og sikre batterisystemer osv.

På samme tid innberettet Sjøforsvaret HUGIN som en fremtidig norsk kapasitet innen minemottiltak til NATO, og fullskala anskaffelse av AUVer kom med i Forsvarets langtidsplaner. Man kan undres over at Forsvaret var villig til å gå til et slikt skritt i den ekstremt anstrengte budsjettssituasjonen de var i på dette tidspunktet, men årsaken er jo at HUGIN gir en formidabel styrkemultiplikatoreffekt, og bidrar til å gjøre minejakt mer effektivt og dermed på sikt rimeligere – i tillegg til at det kan gjennomføres med langt større sikkerhet for egne styrker. Disse



HUGIN I umiddelbart etter slipp fra KNM Karmøy under demonstrasjon for Sjøforsvaret 6. desember 2001.

argumentene har blitt framført med styrke fra fagmiljøene i Marinen som gjennom dette har etablert nødvendig forankring for et AUV-element i forsvarsstrukturen. Sentrale personer i den sammenheng har vært KOM Geir Flage og KK Per Kartvedt i Minekrigsflotiljen og OK Geir Sten i FLO/M.

Bidragstere: Per Thoresen, Nils Størkersen, Per Espen Hagen, Øistein Hasvold, Bjørn Jalving.

I retrospekt

I retrospekt kan det sies at i Forsvaret var det FO/E som viste mest fremsynthet. Dog må dette ses i lys av datidens militære og økonomiske situasjon. Industrien var i utgangspunktet generelt lite risikovillig, men Kongsberg Maritime har kommet godt tilbake og viser stor innsatsvilje. Statoils I&K viste stor fremsynthet, men ut over de første brukerne i Statoil (kartleggingsmiljøet) har ikke de norske oljeselskapene til nå maktet å utnytte de mulighetene som HUGIN-teknologien har lagt til rette for. Dog synes resultatene fra FFIs arbeider å være det beste middel for å markedsføre ny teknologi, og nye brukergrupper i inn- og utland vil etter hvert utnytte mulighetene som ligger i AUV-teknologien. Likevel er det viktig at FFI fortsatt leder an, tør å stole på egen innsikt og ta den risiko som er nødvendig for å utløse det potensialet som ligger i ny og fremtidsrettet teknologi.



Tidligere utgitt i denne serien

1. Om FFIs etablering på Kjeller og utviklingen fram til 1996
2. Terne – et anti ubåtvåpen
3. Datateknologi
4. Radiolinjer
5. Virkninger av kjernevåpen
6. Spredning av stridsgasser
Kamuflasje
7. Ildledning og navigasjon
8. Luftvern og sårbarhet av flystasjoner
Olje, gass og norsk sikkerhet
9. Bildebehandling og mønstergjenkjenning
10. Noen spesielle teknologiområder
11. Elektrooptikk
12. Nærhetsbrannrør for 81 mm bombekastergranat

