

Fra Forsvarets forskningsinstitutt

HISTORIE

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



Ildledning og navigasjon



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 vitnefastede 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

Ildledning og navigasjon



På 1960-tallet ble det ved FFI satt i gang utvikling av ildledningssystemer både for Hæren og Marinen. Både Feltartilleriet, Kobben klasse undervannsbåter og Sjøforsvarets nye missiltorpedobåter fikk moderne og effektive ildledningssystemer. På slutten av 1970-tallet ble det også startet utvikling av et integrert navigasjonssystem for bruk i de kommende kystvaktfartøyer av Nordkappklassen. Tidlig på 1990-tallet startet utviklingen av en ny type hurtigbåtcockpit for de nye MTBer i Skjoldklassen.

ODIN ILDLEDNINGSSYSTEM FOR FELTARTILLERIET

På 1960-tallet var presisjonsskyting med artilleri en omstendelig, operativt vanskelig og dertil særdeles tidkrevende affære. I 1965 ble et amerikansk system for ildledning presentert for det norske feltartilleri. Forsknings sjef Karl Holberg mente at FFI kunne lage et betydelig bedre system med den datakompetanse som instituttet nå rådte over. Feltartilleriet så også muligheten til dramatiske forbedringer ved å ta i bruk ny teknologi. En rekke utviklingsprosjekter ble i tur og orden igangsatt ved FFI med tanke på et nytt ildledningssystem for Feltartilleriet. Samtlige prosjekter resulterte i norske industriprodukter, og på midten av 1980-tallet var det norske feltartilleriet i toppdivisjonen i NATO.

Hovedkomponentene i systemet

Feltregnemaskinen NM 90 ble utviklet 1965-69 av Siffergruppen ved Avdeling for elektronikk (Avd E). Den baserte seg på den generelle datamaskinen SAM 3, med ekstrautstyr tilpasset den nye anvendelsen. De første feltmodeller ble levert til Hæren i 1970 og tatt i bruk i Feltartilleriet i 1972. NM 90 muliggjorde hurtig og presis beregning av skytedata. (Se "Datateknologi" i denne hefteserien.) Skytedata viser kanonrørets elevasjon og retning, og for granater med tidsbrannrør brannrørets innstilling (temperering).

Vo-måleren NM 87 ble utviklet 1970-73 av Mikrobølgegruppen ved Avd E. Denne kunne monteres direkte på skytset og målte granatens utgangshastighet og dermed muliggjorde finkalibrering av skyts, granattype og drivladningslot direkte i felten. Den ble tatt i bruk i Feltartilleriet i 1973.

Laser avstandsmåleren NM 81 ble utviklet 1969-72 av en gruppe som arbeidet med elektrooptikk ved Avd E. Den økte ildlederens og feltmåletroppens hurtighet og presisjon. Den ble tatt i bruk i Feltartilleriet 1974. (Se "Elektrooptikk" i denne hefteserien.)

Værtjenesteutstyret WERA NO/MMQ 10 ble utviklet i samarbeide mellom Avdeling for våpen og materiell (Avd VM) og Mikrobølgegruppen på Avd E 1972-82. Den gjorde det mulig å måle vind, temperatur og fuktighet i de forskjellige høydesoner som granaten passerer på sin veg fra skytset til målområdet. Den ble tatt i bruk i Feltartilleriet i 1986.

Datatransmisjonsutstyret NO/VGG 20, NO/PGC 30 S og NO/VGC 30 SM ble utviklet samtidig med WERA. Utstyret ble tatt i bruk i Feltartilleriet i 1986.

Utvikling av feltregnemaskinen NM 90 (SAM 3)

Olav Landsverk arbeidet i en periode ved Systemgruppen ved FFI der han ledet utviklingen av ODIN-konseptet for Feltartilleriet. Etter at utviklingsprosjektet ble igangsatt ved Avd E ble han jobbleder for utvikling av prototypen for feltregnemaskinen SAM 3, samt for å utvikle de aktuelle grensesnitt som var nødvendige for den aktuelle anvendelsen. Minidatamaskinen SAM 3 var en videreutvikling av SAM 2, som også ble utviklet ved FFI. SAM 2 ble bygget i to eksemplarer og var en videreutvikling av SAM 1, som ble utviklet tidlig på 1960-tallet. En SAM 2-maskin gikk til Chr. Michelsens institutt (CMI) i Bergen og en til Tromsø satellittstasjon. Av SAM 3 ble det bygget to prototyper. Hovedforskjellen på SAM 2 og SAM 3 var at SAM 3 hadde mas-

kinvare med flytende komma-aritmetikk. Tore Lund-Hanssen var sentral i dette arbeidet gjennom flere år.

SAM 3 var en 16 bits maskin. Aritmetikken kunne operere med 16 eller 32 bits heltall og med 48 bits flytende komma, hvor 32 bits var avsatt til mantisse og 16 bits til eksponent. Maksimal hukommelse var 65536 ord á 16 bit (64k ord=128 kbyte), men også mindre hukommelser (32k, 16k og 8k) kunne benyttes. Minimal syklustid for maskinen var 800 nanosekunder, men langsommere hukommelser kunne også benyttes. De enkleste instruksjoner krevde en eller to hukommelsesykluser, mens den mest komplekse instruksjonen, divisjon av to flyttall, kunne kreve fra 25-50 sykluser, avhengig av tallenes størrelse. SAM 3 kunne operere både med direkte og indirekte adressering. (1967, O. Landsverk: E-149 "Outline of the SAM 3 computer.")

Programvareutviklingen for ildledningssystemet ble ledet av en kanadier ved navn Orest Roscoe på utveksling fra FFIs søsterorganisasjon i Ottawa, Canada. Han skulle i

utgangspunktet være ved FFI i et år, men ble her i mer enn to. Andre medarbeidere var Trond Glavin, Rolf Jørgen Olsen og Anton B. Leere, som programmerte SAM 3 maskinkode etter spesifikasjon av Orest Roscoe. Orest's viktigste bidrag i Feltartilleri-konseptet var operatør-maskin grensesnittet som var en nyvinning innenfor ildledningssystemer. Det kan nevnes at ved første presentasjon på Hjerkin brukte vi en soldat som var inne på førstegangstjeneste som "demonstratør". Feltartilleriinspektøren syntes demonstrasjonen var meget overbevisende og spurte soldaten om han var siv.ing. siden han behersket systemet så godt. Da vedkommende svarte at han bare hadde folkeskole, scoret vi stort!

Det var både soldater og andre innom prosjektet som programmerere. De laget rutiner for feltmåling, MMI (Menneske Maskin Interaksjon), værdatabehandling etc. Daværende major i artilleriet, Didrik Cappelen, var også sentral i programvareutviklingen. Han utviklet de nødvendige integrasjonsalgoritmer sammen med Tore Lund-Hanssen. Disse algoritmene var de sentrale program-



NM 90 under øvelse i felten.



Ltn. Knut Arneberg ved tidlig utgave av operasjonspanel. Forsøksskyting vinteren 1968.

mene som beregnet elevasjon og retning for kanonrørene, samt ladningens størrelse for at granaten skulle treffe planlagt sted. Didrik var allerede da en ekspert på ballistikk, og er fremdeles blant de fremste i Norge (2004) innen det fagfeltet.

De som skrev maskinkode for SAM 3 måtte i starten kjøre programmene på gamle SAM 1 hvor Jan Kent hadde laget en SAM 3 simulator, og den eneste muligheten for å laste inn programmer var ved hjelp av papir hullbånd. Også på SAM 3 var hullbånd det eneste innlesningsalternativet, og det medførte at programmererne ble dyktige til å lese hullbånd manuelt, noe som var vesentlig hvis båndene røk og måtte skjøtes.

Det ble flere ekspedisjoner til Hjerkins for å teste feltregnemaskinen med programvare under realistiske forhold. Og feil ble funnet, som for eksempel en fortegnsfeil i dataprogrammet, som medførte at retningen på kanonrøret ble posisjonert 180 grader feil. (Det ble aldri skutt i den retningen!).

Produksjon av SAM 3 til Kongsberg Våpenfabrikk (KV)

Det ble tidlig klart at KV skulle produsere feltregnemaskinen SAM 3, og i årene 1968-70 foregikk en gradvis overføring. KV produserte SAM 3 kommersielt under betegnelsen SM 3 og ga den en militær innpakning tilpasset resten av ildledningssystemet. Etter 1. januar 1970 var så å si alt ansvar for feltregnemaskinen overført fra FFI til KV, bortsett fra

at noe støtte ble gitt til programvare oppdatering. Denne støtten ble gitt av Anton B. Leere, noe som medførte at han også deltok på KV's første egne test med artilleriet på Hjerkins vinteren 1970. Feltregnemaskinen oppførte seg helt etter spesifikasjonene, uten å feile, og da været viste seg fra sin beste side med lite vind og sol fra skyfri himmel, fant Anton ut at han skulle gå på søk inn i skytefeltet til OPen for å se på nedslagene fra granatene. På veien inn til nedslagsfeltet kom en granat hvinende over hans hode, og senere viste det seg at kanonmannskapene hadde ladet med gal ladning, slik at granaten fikk en lavere bane enn hva feltregnemaskinen hadde regnet ut.

"Litt nifst var det nok å høre granaten hvine over hodet", sa Anton, "men farlig var det aldri".

Feltregnemaskinen var i aktiv tjeneste i artilleriet helt fram til slutten av 1990-tallet, da ble maskinens programvare lagt inn på en moderne pc. Dette ble gjort for at data for nye ammunisjonstyper skulle kunne legges inn i systemet. Feltregnemaskinens minne var fullt, og det kunne ikke utvides, mens en moderne pc ikke hadde slike problemer. I tillegg var regnekraften i en pc midt på 1990-tallet betydelig større enn på feltregnemaskinen fra 1970.

Bidragstyttere: Tore Lund-Hanssen, Ove K. Grønnerud, Anton B. Leere.

Utvikling av laser avstandsmåler

20. mars 1967 ble avstandsmålerarbeidet en jobb på FFI, jobb 206-E/134. (Se "Elektrooptikk" i denne hefteserien.) Jobbleder var Tycho Jæger, og målet var å bygge 4 stk eksperimentalmønstre for feltprøver. Laser avstandsmåler ble nå sett på som en svært aktuell komponent i et komplett ildledningssystem for Feltartilleriet. De teknisk svært ambisiøse mål for Odin gjorde at også avstandsmålerjobben fikk et jobbråd med entusiastiske og kunnskapsrike brukerrepresentanter helt fra starten. Spesielt viktige var Haslemoens Didrik Cappelen og Dagfinn Danielsen fra Feltartilleriinspektoratet, begge kapteiner den gang. Deres innsikt og engasjement, dvs. vilje til nytenkning og konstruktiv kritikk var av helt avgjørende betydning for resultatet. Sammen med Tychos knallharde og visjonære krav til utforming.



Laser avstandsmåler NM 81.

Avstandsmåleren ble produsert for Feltartilleriet av Simrad Optronics A/S under betegnelsen NM 81. Avstandsmåleren registrerer avstander mellom 200 og 20000 m. Instrumentet gir også mulighet for måling av horisontale vinkler og høydevinkler. Laser-senderens bølgelengde er $1,06 \mu\text{m}$, utsendt effekt ca. 1,5 MW og pulslengde ca. 30 ns. Utsendt energi er ca. 45 mJ med 12 pulser pr. min. Laserstrålens diameter er 26 mm. Målenøyaktigheten er ± 10 m for enkeltmålinger og ± 5 m for middelværdi av 10 målinger. Avstandsmåleren er utstyrt med 24 V 1Ah oppladbart Ni Cd-batteri.

Bidragster: Terje Lund.

Utvikling av radarsystemer

Utviklingen av tekniske hjelpemidler for Feltartilleriet på 1970-80 tallet omfattet også radarsiden. Dette var et område som til da var bygget på tilgang på tung radorørteknologi. Utviklingen fra slutten av 1960-tallet med små prosessorer som kunne bygges inn, faststoffteknologi som dekket frekvensområdet opp til 100 GHz, ny kretsteknologi for mikrobølgeområdet, og tilgang på nye effektive måleinstrumenter, ga i perioden fra 1970 og utover mulighet for utvikling av

kostnadseffektivt og brukervennlig utstyr for mobilt bruk.

FFI hadde medarbeidere som hentet hjem og bygget opp kompetanse på ny teknologi og var opptatt av de mulighetene som åpnet seg for utvikling av nytt utstyr. Radarvirksomheten som vokste fram var basert på en kombinasjon av innsikt i ny teknologi, evnen til å arbeide effektivt i tverrfaglige grupper, entusiasme og pågangsmot.

I alt fire prosjektområder ble bearbejdet,

- en radar for måling av utgangshastighet til prosjektiler fra kanoner, en viktig parameter for beregning av innstilling,
- en værtjenesteradar for Feltartilleriet, som beregnet vinshastighet ut fra målinger mot en ballongbåret reflektor som drev med vindhastighet, samtidig som den ble trukket opp av ballongen,
- forslag til og analyse av flyttbar overvåkingsradar,
- en 94 GHz doppler radar benyttet for måling av radartverrsnitt og karakteristiske egenskaper ved bevegelige mål.

De to første systemene ble utviklet og utprøvd i samarbeid med Feltartilleriets skole- og øvingsavdeling på Haslemoen og produsert ved NERA i Bergen.

Bakgrunn og problemstillinger

Fornyelsen av Feltartilleriet falt sammen med en teknologisk utvikling, som ga muligheter for enklere løsninger på en del av måleproblemene til ildledningssystemet innen kommunikasjon og avstandsmåling med lys og radar.

FFI var godt rustet til å utnytte ny faststoffteknologi i radarsammenheng. Vi hadde systemkunnskapen og en relativt god innsikt i ny teknologi og dens muligheter. Det var et miljø som oppfattet utviklingstendensene og maktet å sette disse inn i en praktisk sammenheng. Ikke minst, det var et entusiastisk miljø, som gikk inn i nye problemstillinger og fagområder gjennom ukentlige kollokvier, som omfattet mikrobølge faststoffteknologi, moderne signalbehandling og radarteknologi. På systemsiden var Einar Evensen, Hans



Jacob Fossum, Agne Nordbotten, Georg Rosenberg og Terje Thorvaldsen blant de mest aktive. Samtidig hadde miljøet styrke på laboratoriesiden representert spesielt ved Magne Sørensen, Arthur Torkildsen, Arvid Tangerud og senere Oddvar Alsos og Gunnar Skille.

Agne Nordbotten hadde gjennom et studieopphold ved Cornell University fra høsten 1965 deltatt i de første prosjektene der for utvikling av faststoff mikrobølgekomponenter. Dette resulterte i prosjekter hjemme med tanke på utvikling av ny teknologi.

Utvikling av Vo-måler. Doppler radar for måling av utgangshastighet fra kanoner

Måling av utgangshastigheten til prosjektiler fra kanoner var på 1970-tallet relativt komplisert. Det ble benyttet et lite radarsystem montert på en tripod ved siden av kanonen. Målingen ble dermed foretatt litt fra siden, og det måtte korrigeres for pekeretningsforskjell mellom kanonløp og måleretning. Ble denne korreksjonen unøyaktig, ble resultatet tilsvarende dårlig. Omregningen var i prinsipp enkel, men i en stresset situasjon var det betydelig risiko for feil.

Da Feltartilleriet fikk behov for nytt måleutstyr var det viktig å få størst mulig sikkerhet og nøyaktighet i målingene. Det sentrale punktet var da å finne fram til en løsning med radar montert på skytset. Dermed hadde radaren alltid samme pekeretning som skytset, og det var ingen spesielle problemer med innstilling av radaren, noe som også sparte tid. Problemet med eksisterende systemer var at teknologien som ble benyttet (radiator) ikke tålte sjokket fra avfiringen med montasje på skytset. En faststoffkomponent, som Gunn-dioden, hadde ikke de samme mekaniske problemene. Ideen om å benytte denne som signalkilde i en enkel doppler radar ble dermed introdusert, og etter en tids diskusjon i miljøet ble konklusjonen at dette burde være en løsning, som gjorde det mulig å lage et rimeligere og langt bedre system. Gunn-dioden ville helt sikkert tåle påkjenningen under avfiring om alt ble gjort riktig. Problemene var eventuelt knyttet til montasje og feste av faststoffkomponentene. Vibrasjoner i forbindelsestråder ville f.eks. gi mikrofonier.

Det ble etablert et prosjekt for å lage og teste en prototyp. Georg Rosenberg, Magne

Sørensen og Terje Torvaldsen var sentrale i dette prosjektet. Under laboratorieutprøvingen var det mikrofonier forårsaket av sjokket fra kanonen som en særlig måtte konsentrere seg om. Konstruksjoner som reduserte mikrofoniproblemet, slik at nøyaktigheten i dopplermålingen ikke ble ødelagt, ble funnet. Terje Torvaldsen la betydelig innsats i uttesting og utbedring. Utskytingssjokket ble simulert ved at en stor hammer ble hengt opp som en pendel og sluppet fra kontrollert høyde mot mikrobølgeenheten. Utsignalet så ikke spesielt pent ut i startfasen, men tålmodig arbeid resulterte i de nødvendige forbedringer, og det var flere som syntes Terje var meget tålmodig her. Det berget prosjektet og ga resultat som kunne benyttes.

De første prøvene ble gjort iintervær på Hjerkinnskytefelt i nært og godt samarbeid med Feltartilleriet, og de ga etter hvert resultater som overbeviste tvilerne. Det var ikke bare problemfritt å satse på "nye ville veier" når forsvarere av eksisterende løsninger til stadighet trakk frem fiktive problemstillinger. Vi hørte mer enn en gang hint om faststoffgruppa, som absolutt skulle ha inn ny teknologi også der det eksisterte velprøvde løsninger.

Bildet viser hvordan radaren, som ble ganske kompakt, var montert under utprøving. Det gikk utrolig bra med koaksialkabelen hengende rimelig løst mellom radaren og kontrollenheten.

Systemet ble satt i produksjon ved NERA, Bergen, og ble innkjøpt av Forsvaret. Det ble også i en tidlig fase foretatt vellykkede demonstrasjoner i utlandet. Salg av denne typen militært elektronisk utstyr fra Norge var det imidlertid ikke lett å få til. Systemet i seg selv var relativt enkelt, og når det var vist at Gunn-dioden, som den viktigste komponenten i systemet, tålte påkjenningen med montasje på skytset, var det ingen umulighet for andre å følge opp med tilsvarende produkter. Det dukket da også opp konkurrenter.

Muligheten for patentering burde vel vært undersøkt på et tidlig tidspunkt. På det området var vi ikke flinke.

Selv om Vo-radaren som system i seg selv var enkel og liten, var det viktig for vårt hjemlige miljø å få vist at vi ved hjelp av ny teknologi kunne utvikle konkurransedyktige og



Vo-måler montert på skyts. Kontrollenheten innfelt.

funksjonsdyktige produkter også på radarsiden. Det ga ny drivkraft og entusiasme i arbeidet med mer komplekse systemer.

Utvikling av WERA (Weather Radar). System for måling av vindhastighet og andre meteorologiske faktorer

Kjennskap til meteorologiske data som funksjon av høyden er av stor betydning for beregning av nøyaktig prosjektilbane og dermed også for treffsikkerheten. Det ble gjennomført flere studier for å finne fram til en velegnet løsning, og det ble valgt å satse på radarmåling mot ballongbåret reflektor etter at bl.a. måling mot chaff-sky (en sky av radarreflekterende partikler som driver med vinden) var prøvd. Denne metoden som ble forsøkt i nært samarbeid med avdeling VM ville gi vindhastighet, men ikke et komplett værtelegram med temperatur, fuktighet og trykk etc. Det ble derfor valgt å satse på ra-

darmålinger mot ballongbåret reflektor hvor det også var mulig å ha med en sonde.

Tradisjonell ballong med underhengende reflektor har så stor samlet masse og luftmotstand at gassforbruket blir så stort at det utgjør et betydelig logistikkproblem for artilleriet. Etter en ide av John Marius Normann ble det derfor ved Avd VM startet utvikling av et system hvor reflektoren er plassert inne i ballongen. Dette medfører en betydelig reduksjon i vekt og luftmotstand og derved redusert gassforbruk (hydrogen). Sentrale i utviklingsprogrammet var J. M. Normann og Haakon Fykse, og da Normann senere gikk av med pensjon overtok Oddvar Bjordal ledelsen av prosjektet. Arbeidet resulterte i en ballongkonstruksjon som var beskyttet av to internasjonale patenter, og den ble produsert i noen tusen eksemplarer ved Helly Hansen AS.



*En del av mannskapet som utviklet radarsystemene foran WERA.
Fra venstre: Gunnar Skille, Dag Dommersnes, Agne Nordbotten, Tor Dybfest, Hans Jacob Fossum, Oddvar Alsos, Einar Evensen, Georg W. Rosenberg, Ottar Aase.*

Radaren skulle måle avstand til reflektoren som funksjon av tid. Sammen med vinkelinformasjon om pekeretning ga det grunnlag for beregning av vindhastighet som funksjon av høyde. Sondedataene var ikke påkrevd for alle målingene. Disse dataene ble overført til beregningssystemet i radaren via eget telemetrisystem som opererte i 400 MHz området.

Værtjenesteradaren var funksjonsmessig et langt mer komplisert system enn Vo-radaren. Hovedtanken var å lage et integrert system som ga et komplett værtelegram ut. Det skulle være lett flyttbart, enkelt å operere og kunne transporteres og få strømtilførsel fra et mindre kjøretøy, som en Landrover. Det var også krav om lav utsendt effekt, slik at systemet ikke skulle være lett å oppdage.

For radaren kom man fort til at den skulle baseres på moderne faststoff-teknologi i kombinasjon med signalbehandling og puls-kompresjon. Det ga en reduksjon i utgangseffekten på ca. en faktor tusen i forhold til eksisterende systemer (1 W kontra 1 KW). Beregningsdelen/styringsenheten skulle

anvende mikroprosessor som var plassert i selve radarhuset på antennen.

Mikroprosessen var den gang i sin tidlige utvikling og bygget opp av TTL type kretsmoduler. WERA-implementeringen var basert på MIPROC, som var utviklet ved Avd E av Harald Schiøtz. (Se "Datateknologi" i denne hefteserien.) Men radaranvendelsen hadde behov for en del modifikasjoner/tilleggsfunksjoner, som krevde en nyutvikling. Denne ble utført av Informasjonskontroll i Asker, hvor Per B. Bekkevold hadde hovedansvaret. Utlegget som ble benyttet var som sagt basert på TTL logikk og tok i alt åtte doble Europakort. Enheten beregnet værtelegrammet fortløpende under slippet, samtidig som den var sentral i styringen av selve radaren.

Prosjektet var meget tverrfaglig og var ut fra dette delt i ulike faser og underprosjekter.

I systemarbeidet deltok E. Evensen, H. J. Fossum, A. Nordbotten og G. Rosenberg. Arbeidet var fra starten ledet av Georg Rosenberg. Mot slutten av prosjektet og i industrialiseringsfasen overtok Agne Nordbotten. I denne første fasen manglet eksper-



tisen på digitalteknikk. Etter hvert ble den på systemsiden ivaretatt for en stor del av Tor Dybfest og Jacob Kruuse-Meyer, men det var Informasjonskontroll, representert ved Per B. Bekkevold, som sto for utviklingen av prosessorer med programvare og senere underleveranse av denne og operatørenheten. To noe ulike utgaver av radarsystemet ble bygget. Det første var en konisk søkradar med roterende subreflektor i antennen. Denne ga lovende resultat i prøvene, som ble gjennomført i samarbeid med Feltartilleriet i 1974, men dette med bevegelige deler ble sett på som et pålitelighetsproblem, og det ble besluttet å utvikle en monopolstype radar. Skriftlig går dokumentasjonen her tilbake til 1975 med notatet FFI-TN-E-679, 1975. "Teknisk beskrivelse og spesifikasjon av manuelt kontrollert radar forfølging av ballonger" var et sentralt dokument i diskusjonen. Det var resultat av grundige og til dels langvarige diskusjoner med aktiv deltakelse av forskningssjefene Dag Gjessing og Karl Holberg. Dette med manuell styring var et gjennomgående tema som ble holdt fram som et krav fra brukersiden da det reduserte kompleksitet, energiforbruk og kostnad. Fra utviklingssiden var vi litt motvillige her. Vi mente nok at automatisk styring var rimelig kurant å implementere, og Einar Evensen hadde løsningen klar gjennom mesteparten av prosjektet.

Nøyaktighetskravene som en monopolradar stilte på kretssiden med hensyn til amplitude og fase i de tre kanalene i monopolssystemet var litt skremmende, men FFI hadde da anskaffet sin første nettverksanalysator fra Hewlett Packard, og med den mente vi, advarsler til tross, at å måle/kalibrere koaksialkabler med en grads nøyaktighet ved 9,5 GHz, det måtte da være mulig. Modulen for monopolssystemet ble utviklet i 1975 og den nye utgaven var ute i felten til utprøving i 1976. Det ga lovende resultat, og det ble besluttet at Forsvaret skulle gå til anskaffelse av systemet. Det ble monopolutgaven som ble satt i produksjon ved NERA i Bergen. I forbindelse med industrialiseringen ble det utarbeidet utførlig dokumentasjon.

Mikrobølgedelen ble bygget opp av Oddvar Alsos i nært samarbeid med Agne Nordbotten. Det var på mange måter en ildprøve for bruk av mikrostripeteknologi og moderne nettverksanalyse. Mikrostripeteknologien

ble etablert tidlig på 1970-tallet gjennom et prosjekt støttet av Industridepartementet. Elektronikklaboratoriet ved NTH (ELAB) deltok i utvikling av monopolnettverket. Her var det tre separate signaler på mottakssiden, et som representerte det totale signalet tilbake, og to som representerte pekefeil i elevasjon og azimuth, de såkalte feilsignale. Andre enheter, som blanderenheten med tre blandere for de ulike kanalene med lokaloscillator nettverk, svitsjesystemet, Gunn-diode basert lokaloscillator og Impatt-type refleksjonsforsterker (de siste i bølgelederutførelse) ble utviklet ved FFI. Målemessig og håndverksmessig var det avanserte oppgaver, og mange av modulene som ble utviklet er fortsatt meget funksjonsdyktige (2001).

Mellomfrekvensdel og analog signalbehandling ble ivaretatt av Hans Jacob Fossum i nært samarbeid med Arthur Torkildsen. I monopolssystemet var kravene også til mellomfrekvensdelen vesentlig strengere enn i det enklere koniske søkesystemet, da det også her var tre kanaler på mottakersiden. Signalene for feil i pekeretning ble benyttet til å gi informasjon til operatøren på et 20x20 punkts lysdiodedisplay foran operatøren på toppen av elektronikkboksen. Styreenheten var en av altmuligmann Magne Sørensens oppgaver. Mellomfrekvensdelen representerte sammen med SHF-delen en omfattende satsing på ny teknologi, hvor samvirket med digitalenheten representerte en del utfordringer. Hans Jacob Fossum fikk beklageligvis ikke anledning til å delta i slutføringen av prosjektet han hadde ytt så mye for. Han fikk mot slutten av utviklingsperioden påvist svulst i hjernen og døde etter et år. I et kompakt miljø som vårt var det en tyngre påkjenning enn de tekniske utfordringene.

Mekanisk konstruksjon av radar og transportvogn hadde Einar Evensen, sammen med Gunnar Skille og Fellesverkstedet (Fv) ansvaret for. Fv var også underleverandør av mekaniske enheter for selve leveransen. Transportvognen hadde også plass til fire gassflasker for ballongfylling, aggregat med drivstoff, forbruksutstyr som sonder, ballonger og reflektorer, en del nødvendige operative hjelpemidler og selve operatørenheten, som også var presentasjonsenhet for værtelegram.



Utstyr for fylling av gass og slipp, registrering av bakkeidata og telemetriutstyr (sonder) for måling av temperatur, ble tatt hånd om av Magne Sørensen. Magne Sørensen var også prosjektpoet. En rekke limericks ble forfattet; ofte i perioder med et visst behov for galgenhumor for å få opp farten.

I utprøvingen av systemet var de fleste involvert, i tillegg til en viktig deltagelse av personell fra Haslemoen. Figuren viser systemet lastet opp på henger for transport. Det var i alt med fire flasker hydrogen.

Utprøvingen av systemet var særdeles grundig. Alle endringer ble testet underveis. Ved demonstrasjoner for besøkende var Einar Evensen etter hvert fast operatør. Han hadde en egen avslappet og overbevisende måte å gjennomføre dette på. Kombinasjonen med en hånd for styringen, en middels stor sigar og avslappet konversasjon med de tilstedeværende, ga et overbevisende inntrykk. På en måte ble det slik at han som

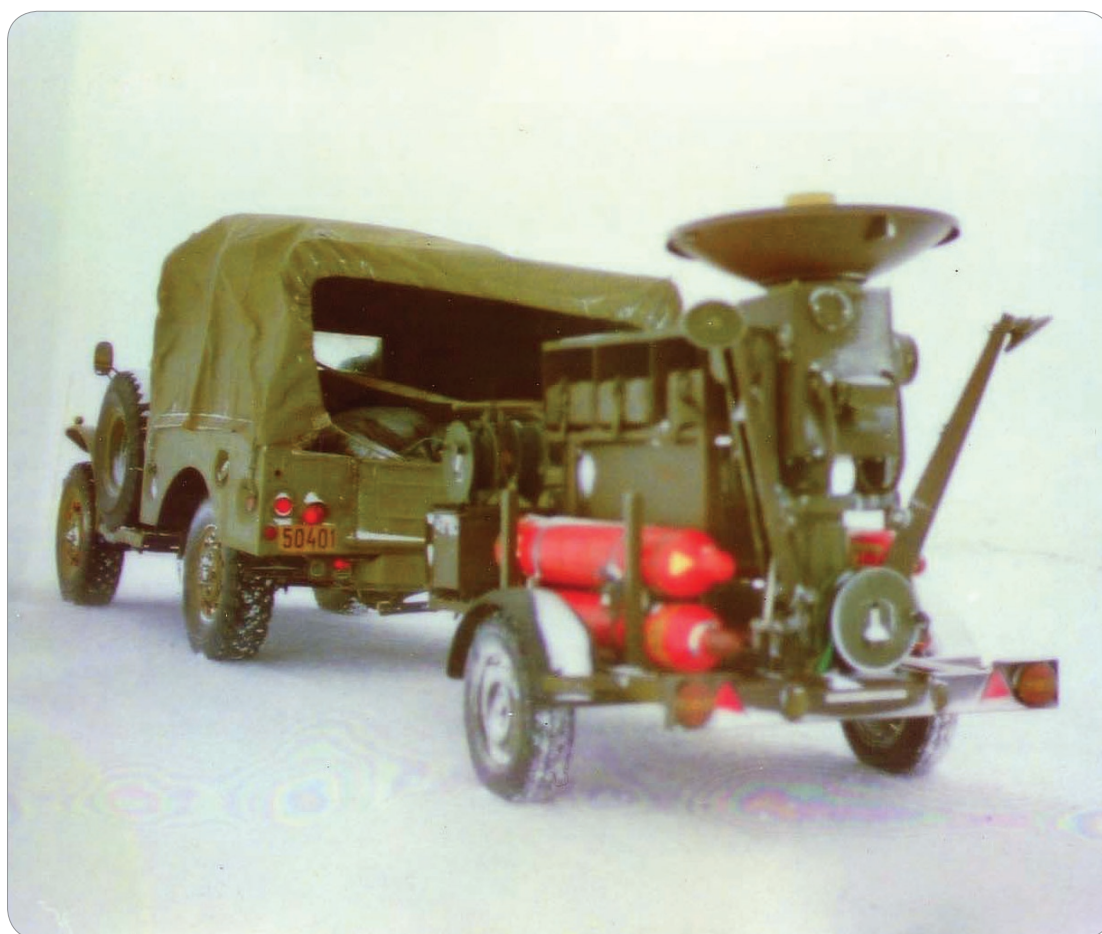
tilhenger av automatisk styring, var den som best overbeviste om at et manuelt system var greit.

For øvrig var det et krav at alle skulle kunne operere systemet.

Utprøvingen ble i hovedsak foretatt på FFIs område på Kjeller og ved Meteorologisk institutts stasjon på Gardermoen, hvor det ble foretatt ballongslipp to ganger i døgnet. Det var også en rekke turer til Haslemoen, til skytefeltet på Hjerkinns og til og med en båttur til Kystartilleriets fort på Bolærne i Oslofjorden.

Alle slipp måtte klareres med kontrolltårnet ved nærmeste flyplass. Episodene i forbindelse med utprøvingen ble etter hvert mange. Det innløp også en del forespørsler om mystiske gjenstander som hadde falt ned.

Sigmund Hoel, som bodde på Eidsvoll, oppdaget en morgen at biltrafikken stoppet opp



Værtjenesteradar med nødvendig tilbehør opplastet på henger.



Forsøk på Hjerkinnskytefelt.

pga. en merkelig ting som hadde falt ned i veikanten. Han stoppet bilen, gikk rolig ut og brettet reflektoren sammen slik det skulle gjøres, la den i bilen og kjørte videre til FFI.

Etter en større serie med slipp (15-20) fra Kjeller en ettermiddag for bl.a. å teste regulariteten, ringte en ivrig ansatt ved tårnet på Fornebu i 20-tiden. De fulgte med på flyradaren og rapporterte at ballongene drev østover som perler på en snor i 25-30 km høyde og ville passere ut over Østersjøen like nord for Stockholm i løpet av kvelden.

Interessen for systemet var opplagt til stede hos flere. Etter en tur til Gardermoen oppdaget Gunnar Skille, som kjørte, at det var en bil som holdt seg like bak selv om det var ledig i det andre feltet. Vi fulgte med i noen minutter, satte så farten ned med 10 km/t. Følget var av det trofaste slaget. Etter ytterligere noen fartsreduksjoner ned til 5 km/t, kjørte vi inn på skulderen på bakketoppen nord for Skedsmokorset og stanset. Da ble vi kvitt påhenget.

Industrialiseringen var en del av prosjektet. Vi var spent på hvordan de teknologiske løsningene til NERA ville forløpe, og det gikk

vel egentlig rimelig bra. Oversendelsen av dokumentasjonen til NERA fikk med en av Magne Sørensens humørfylte limericks:

*I årevis slet vi med WERA
og feil ble det flere og flere av.
Og så helt til slutt
da alt var kaputt,
sendte vi a over til NERA.*

Etter mange år i drift med en mikroprosessor på åtte kort, ble systemet funnet verdig til en oppdatering, og det ble tilført en moderne prosessor, automatisk styring og noe øket rekkevidde, men hovedprinsippene i systemløsningen er beholdt. Oppdateringen ble utført av Informasjonskontroll A/S.

Sluttkommentar

De to radarsystemene som er omtalt representerte for de involverte en teknologisk utfordring som på mange måter ga mer smak. Arbeidet på radarsiden ble ført videre gjennom forslag til en overvåkingsradar basert på mye av de samme prinsippene som værtjenesteradaren, men den ble vel bl.a. oppfattet som litt for fremtidsrettet.



Det ble også i den samme perioden arbeidet med radarteknologi i 90 GHz-området, og i den forbindelse ble det laget en doppler-modul som ble benyttet i en del målinger fra 1982 og utover. Etter hvert gikk imidlertid det nokså kompakte utviklingsmiljøet i oppløsning. Det tålte ikke å miste mange nøkkelpersoner.

Miljøet som sto for utviklingsarbeidet representerte oppdatert teknisk innsikt på en rekke sentrale nøkkelområder. Det var en av betingelsene for å lykkes. Man så mulighetene på et tidlig tidspunkt.

Sammenfallet av teknologisk fornyelse med nyanskaffelser til Feltartilleriet var avgjørende for en realisering, og det konstruktive samarbeidet med Feltartilleriet var en god drivkraft i gjennomføringen av prosjektet.

Forprosjektfasen med grundige diskusjoner som involverte lokale ledere og brukersiden var utrolig nyttig i arbeidet med et konsept som skulle presse teknologien litt og samtidig gi funksjonsdyktige produkter.

Det som huskes best er nok entusiasmen og innsatsen til de som deltok i arbeidet. Det er prosjekter mange ser tilbake på med glede.

Bidragster: Agnar Nordbotten.

Utvikling av datatransmisjonsutstyr

Rundt 1970 var produksjonen av feltregnemaskinen NM 90 i gang hos KV, laser avstandsmåleren i produktutvikling hos SIMRAD og Vo-måleren under utvikling ved FFI. På dette tidspunkt var det klart at for å utnytte feltregnemaskinens evne til lynraskt å regne ut skytedataene for alle seks skytsene i et artilleri-batteri, var det nødvendig å bli kvitt den tidkrevende og upålitelige taleoverføringen; først av måldata fra ildleder til feltregnemaskinen, dernest av beregnede skytedata fra feltregnemaskinen til skyts. Isteden ville man nå satse på å overføre målkoordinater og annen informasjon om mål og skyting som en datamelding direkte fra ildleder til feltregnemaskinen og laste dataene inn i feltregnemaskinen uten tasteoperasjoner. Videre skulle beregnede skytedata overføres direkte fra feltregnemaskinen til en liten dataskjerm på hvert skyts, som viste

granattype, drivladning og hvordan kanonrøret skulle innstilles i retning og elevasjon. Den geografiske deployering av enhetene i et artilleri-batteri var på denne tiden typisk som følger: Ildleder nær målet og typisk 5-15 km foran batteriets kommandoplass, og skytsene plassert i spredte to'er-grupper, typisk 100 m unna batteri-ko. Sambandet fra ildleder til batteri-ko gikk alternativt på HF-radio, VHF-radio eller feltkabel. Sambandet fra batteri-ko til skytsene gikk alltid på feltkabel.

Feltartilleriets Skole- og Øvingsavdeling (FASØ) på Haslemoen utga sin første taktisk, teknisk, økonomiske kravformulering (TTØK) for Feltartilleriets Datatransmisjonsutstyr i 1970. Ambisjonen var – vha. datakommunikasjon – å binde sammen feltartilleri-bataljonens tre batterier, hvert med seks skyts, til en enhet med evne til å avgi hurtig og koordinert ildkraft. I 1972 ble et utviklingsprosjekt startet ved FFI under Rolf Hedemarks ledelse. Prosjektet inneholdt tre delprosjekter:

- Skytedatasett (dataoverføring fra batteri feltregnemaskin til skyts),
- dataoverføringssett (dataoverføring fra ildleder til btt-ko (batteri-ko), internt mellom btt-ko'er og mellom btt-ko'er og bn-ko (bataljon-ko)) og
- spektralfordelt datakanal. FFIs spredt-spektrum-arbeider startet under dette prosjektet, og her ble kimen til Multi Rolle Radio (MRR) lagt. MRR ble senere et tungt utviklingsprosjekt ved FFI, etterfulgt av omfattende norsk industrisatsing. (Se "Kommunikasjon. Utvikling av sambandsutstyr" i denne hefteserien).

Ansvarlig for Skytedatasettet var en fersk forsker fra Horten, Sverre Christoffersen, som etter prosjektet forsvant til Televerket. Arbeidet med Dataoverføringssettet ble styrt av Nils A. Sæthermoen, og Dagfinn Brodtkorb ledet spredt spektrum-arbeidene. Han var en markant og pågående forsker som ledet flere spredt spektrum-aktiviteter ved FFI, inntil han sluttet og ble en av grunnleggerne og daglig leder for firmaet Miro, som var etablert med basis i en idé av tidligere forskningssjef ved FFI, Dag Gjessing, om å utnytte spredtspektrum-teknikk til bølgeomåling for oljebransjen. Under årene ved FFI ble Brodtkorbs idéer omsatt i praksis av en



Skytedatasettet består av "Skytedatafordeler", nederst og "Skytedataindikator". "Skytedata fordeler" står i batteri-ko og fordeler skytedata til de enkelte skyts i batteriet. "Skytedataindikator" er montert på skytset og presenterer skytedata for skytsbetjeningen. FFI-versjon.

dyktig og resultatorientert ingeniør, Hans Ringvold, som dessverre døde altfor tidlig, i 1997.

FFIs utviklingsarbeid i datatransmisjonsprosjektet førte fram til såkalte A-modeller, som var "grønmalte bokser" med robusthet og miljøegenskaper som tillot bruk i felt. Elektronikken besto av modemer og logikk. Logikken ble bygd med TTL-kretser, som ble tyntfilmhybridisert ved AME (Aksjeselskapet Mikroelektronikk). Under den senere industrialisering ble TTL-teknologien erstattet med CMOS. Skytedatasettet (NO/VGG 20) inneholdt to typer bokser, "Skytedatafordeler" i btt-ko og "Skytedataindikator" i skyts, og ble i 1974 overført til KV for industrialisering. Dataoverføringssettet inneholdt også to typer bokser, "Datasender" (NO/PGC 30 S) for ildleder og "Datasender/mottaker" (NO/VGC 30 SM) for btt- og bn-ko, og ble i 1976 overført til Siemens Norge for industrialisering.

På denne tiden var NATO-standardisering av meldingsformater tatt i bruk, og det ble vurdert å følge en foreslått NATO-standard. Aktuell standard var imidlertid så omstendelig og ineffektiv at FFI anbefalte å gå rett på sak og utarbeide et eget, supereffektivt hexadecimalt meldingsformat, som senere med hell ble benyttet i industriversjonen. Under en demonstrasjon av Skytedatasettet i Tyskland og Frankrike i 1974 uttalte en fransk general med begeistring: " Dette er enkelt. Og det virker! "

Utviklingen av datatransmisjonsutstyret fant sted samtidig som mikroprosessoren så smått begynte å få innpass, og FFI vurderte å konvertere Dataoverføringssettet, som var logisk og systemmessig komplekst, til den nye teknologien. Den raske konklusjon var at dette ikke ville være kosteffektivt. Da Siemens overtok Dataoverføringssettet, jobbet bedriften i ett år med å konvertere til mikroprosessorteknologi, men ombestemte seg og kopierte FFIs løsning. Dette var for øvrig den eneste "feil" bedriften



"Datsender." Meldingsgenerator med modem tilpasset ordinære feltradiostasjoner for bruk i DP. FFI-versjon.

gjorde, enda det var Siemens Norge's første utviklingsprosjekt med militære miljøkrav.

Produksjon og tilpasning

Sett i ettertid gikk industrialisering og innføring i forsvarsorganisasjonen glatt og smertefritt, men to forhold kan likevel være verdt å nevne. Det ene var at de to industribedrifter KV og Siemens mekaniserte sine respektive jordingssystemer på en slik måte at når KV- og Siemens-boksene ble koblet sammen, skjedde de underligste ting. Det andre var at en enkel komponent (kombinert høyttaler/mikrofon) i Skytedatasettet forårsaket funksjonsproblemer etter at en ny underleverandør ble valgt for serieproduksjonen. Ellers var dataoverføring via HF-radio en gjenganger på prosjektrådsmøtene, med stadig nye forslag til interessante løsninger. Her sørget prosjektrådets feltartilleri-representant Roar Hornnes for at marginale "kjekt å ha"-løsninger kontant ble avvist, og at datatransmissionsutstyret ble produsert og levert mens det enda var teknisk og operativt moderne.

Samarbeid og problemløsning

Men FFI fikk ikke alltid sin vilje. Ett eksempel er datsenderens menysystem, som var en formatbeskrivelse av de 11 forskjellige fast formaterte meldinger som kunne sendes med datsenderen. Meldingene var organisert slik at målkoordinater, måltype, målets



Datsender/mottaker, plassert sammen med "Skytedata-fordeler og "Feltregnemaskin" i "kommando-vogn." Administrerer ildledning i FA-batteri og FA-bataljon. FFI-versjon.

oppførsel, foreslått granattype, virkningsresultat, værddata etc. skulle kodes som gitte karakterkombinasjoner på riktig sted i forskjellige meldingstyper. Dette for å gjøre meldingen kort, lett forståelig og datamaskinlesbar. FFIs idé var et mekanisk "display" hvor kodeforklaringer var trykt på en lang "matpapirull" som kunne rulles frem og tilbake på to sylindere inne i datsenderboksen og hvor formatinformasjon for ett meldingsord til enhver tid var synlig i et vindu på fronten av datsenderen. 11 meldinger à 10 ord var kveilet opp på sylindrene, og en fremtrekksknott synkronisert med ordoppsetningen i meldingene sørget for at operatøren kunne skru seg fram ord for ord i meldingene og taste inn korrekt infokode på rett sted i rett melding. En sinnrik klikkhusmekanisme, båndstrammeanordning og pinnehjul for fremtrekk sørget for at formatinformasjonen lot seg presentere sentrert i tekstvinduet, uansett hvor på tekstrullen man arbeidet. Tekstmeknikken skulle tjene som erstatning for elektronisk display og displaylager, som den gang ikke lot seg realisere innenfor aktuell vekt, volum, effektforbruk og robusthet. Gerhard Berg, som ledet Avd Es mekaniske verksted, la ned mye kreativ virksomhet for å sikre tilfredsstillende virkemåte, og mekanikerne produserte en rekke mer eller mindre vellykkede modeller. Enden på visa var at Didrik Cappelen og Roar Hornnes ved FASØ skar igjennom og sa at: "Nei, dette tør vi ikke satse på." I stedet tok Siemens fram en billig, enkel plastarkløsning lagt inn i lokket på datsenderen, hvor operatøren kunne bla seg fram til riktig kodebeskrivelse.



Problemløserne med godt humør

Selv om datatransmisjonsutstyret var enkelt å bruke, inneholdt spesielt dataoverføringssettet en rekke komplekse automatfunksjoner og i tillegg relativt omfattende betjeningstastaturer. Per Brevik, som ble tilsatt midtveis i prosjektet, hadde visse problemer med å komme i inngrep med innmatens logikk mysterier og monterte, ikke uten sarkasme, et skilt på en av boksene med inskripsjonen "Trykk, og vær glad!" Brevik gjorde en god jobb, markerte seg i labmiljøet og på FFI, men sluttet etter få år for å bosette seg i hjemkommunen Skjeberg.

En annen gledesspreder på lab'en var lett handikappede Larsen fra Vestfold. Han hadde en "feilkonstruert" hånd som han anvendte med stor oppfinnsomhet og som han selvironisk omtalte som "kloa".

Egenproduksjon av trykte kretskort

På begynnelsen av 1970-tallet produserte FFI sine trykte kretskort selv, tolags med gjennompletting. (Se: "Trykt kretskort teknologi" i denne hefteserien.) Datatransmisjonsboksene inneholdt et stort antall kretskort med forskjellig utleggsmonster. Alt foregikk manuelt. Kortutlegg krevde konsentrasjon og flid. Soldat Tubås tilbrakte førstegangstjenesten med kortutlegg, og genererte ingen feil i løpet av ett år, med god produktivitet. Men prosjektets mest kompliserte kortutlegg utførte Arne Slåstad som sommerstudent under sin videreutdanning til siv.ing.

Den mest komplekse av datatransmisjonsboksene, Datasender/mottaker, fungerte som styringssentral i KO og inneholdt 38 trykte kretskort, 5 tilkoblingspluggen à 41 pinner, 14 mindre pluggen og linjeklemmer, 10 mattskiveprosjektorer (små lysbildeapparater) for valgbare ledetekster, 6 vendere, tastatur med 28 taster, 10 stk 4 karakterers datavinduer og 10 indikatorlamper. FFI bygde tre slike bokser, men kablingen var så omfattende at arbeidet ble satt bort til et lite elektronikkfirma, Datacom. Datacom arbeidet raskt og rimelig og med godt resultat.

Tilpasningsjobb

NM 90 var bygd for å motta data via tastatur og presentere beregningsresultater i et datavindu. Maskinen hadde flere 41-pins ser vicepluggen, og data kunne skrives inn via en

av pluggene ved å late som om dataene kom fra tastaturet. Tilsvarende kunne data leses ut gjennom en annen plugg ved å late som om pluggen var et datavindu. Disse funksjonene ble hardware/software-implementert av faglærer Blomberg på Jørstadmoen, slik at Skytedatasett og Dataoverføringssett kunne kommunisere med NM 90.

Værradaren WERA produserte "væritelegram", som skulle brukes av NM 90 ved beregning av granatbanen, og man fant etter hvert ut at væritelegrammet skulle overføres til NM 90 gjennom Dataoverføringssettet. Dette på grunn av at WERA ofte kunne være plassert langt unna nærmeste NM 90. Ønsket om fjernlastning av væritelegram ble lansert etter at Dataoverføringssettet var utviklet, og oppgaven ble løst ved å la Datasenderen kabeltilkobles til WERA og spise data fra WERA istedenfor fra eget tastatur.

Viktige samarbeidspartnere

De tre artilleri-teknikere Cappelen, Hornnes og Tøndel er verd en spesiell omtale. Disse forsto, ikke bare den taktiske bruk av artilleri, men også de tekniske og naturlovrelaterte mekanismer som er så viktige for å oppnå treff og virkning, og de har gjennom hele sitt offisersvirke vært engasjert i artilleriteknikk. Både Cappelen og Hornnes, og i en kortere periode også Tøndel, var tilbeordret FFI under utviklingen av NM 90 på slutten av 1960-tallet. Etter nådd pensjonsalder opprettet Hornnes og Tøndel "Sagerud konsulentfirma" med spesialitet å kode nødvendige programvare-modifikasjoner i NM 90. NM 90 var nemlig programmert i maskinkode, og ved slutten av feltregne maskinens levetid var det kun Sagerud konsulentfirma som hadde den nødvendige programmeringskompetanse.

Didrik Cappelen dobbeltkjørte, med både operativ og teknisk militærkarriere. I sin FFI-beordring under NM 90-utviklingen ble unge Cappelen gitt ansvaret for de kompliserte ballistikkalgoritmene. Selv med militært teknisk utdanning fra Danmark og realfagstudier ved Universitetet i Oslo (UiO) stanget han hodet mot veggen og gikk til Karl Holberg og bekjente at han ikke kunne nok moderne ballistikk. "Så lær deg det, da!" svarte Holberg, og sendte Cappelen til USA for å lære. Cappelen lærte seg moderne ballistikk, som omfattet en ny baneberegningssmåte, den



"Modifiserte Massepunkt-Modell (MPM), og resultatet av lærdommen ble at NM90 var den første feltregnemaskinen som nyttet MPM.

Datatrasmisjonsutstyret er fortsatt i bruk i Feltartilleriet (år 2004), men feltregnemaskinen NM 90 er erstattet med PC. Kobling mellom Datatrasmisjonsutstyr og PC besørjes av en interface-boks levert av firmaet Eidsvoll Electronics (Eidel), som ble startet av Erik Olsson, en tidligere medarbeider ved FFI. Interface-boksen ble utviklet ved FFI under artilleriprojektet FA 2000 ca. 1993. Innføring av nytt ledelsessystem ODIN 2 for Feltartilleriet vil overflødiggjøre datatrasmisjonsutstyret.

Et vellykket prosjekt

Ildledningssystemet ble en stor suksess både for FFI, Forsvaret og KV. En viktig forutsetning for at systemet ble så vellykket, var at Feltartilleriet bidro med kompetanse på anvendelsen. I tillegg til major Cappelen som er nevnt ovenfor, var også daværende løytnant Hornæss og kaptein Tøndel en integrert del av programmeringsteamet. Ingen av de to hadde noen formell datautdannelse, men begge ble opplært i maskinkode programmering. De fortsatte som programvareeksperter på Haslemoen så lenge feltregnemaskinen var i drift.

Bidragstere: Nils Sæthermoen, Didrik Cappelen.

ILDLEDNINGSSYSTEMER FOR UNDERVANSBÅTER

MSI 70U ildledningssystem for Kobben-klasse undervannsbåt

Bakgrunn

Systemgruppen gjennomførte fra midt på 1960-tallet evaluering av Kobben-klasse UVB som opprinnelig var utstyrt med HOSA M8 ildledningsanlegg fra Nederland. Kobben-klassen besto av 15 båter, bygget i Tyskland i første halvdel av 1960-årene med betydelig amerikansk pengestøtte under Flåteplanen. Før evalueringen tok til var det klart at det var problemer med målfølgingsystemet i M8, det anviste enkelte ganger andre himmelretninger til målet enn den virkelige, og avstandsberegningen var ikke bedre. Evalueringresultatene bekreftet problemene, men hvor lå årsaken og løsningen? Det skulle vise seg krevende å klarlegge dette, men da forholdene endelig ble forstått forsto man samtidig at det ikke var mulig å "fikse" systemet, det krevdes et bedre matematisk metodegrunnlag. Forskjellige relativt enkle alternativer for bestemmelse av målets avstand, kurs og fart på grunnlag av bare peilinger fra undervannsåten ble vurdert, herunder en opprinnelig geometrisk løsningsmetode foreslått før datamaskinenes tid av den eminente matematikeren Jan Garwick. Resultatene gjorde det klart at problemet var meget krevende på grunn av unøyaktigheten i peilingene, og krevde en bredere anlagt undersøkelse.

Et prosjekt for framtidig ildledning i Sjøforsvaret ble startet ved Systemgruppen med Nils Holme som jobbleder og Sverre Braathen som den teoretiske kraft. En simuleringsmodell for målfølgning ble utviklet i FORTRAN, der ulike forslag til algoritmer ble utprøvd på KIRAs (Kjellerinstituttens regnearbeid) CDC datamaskinanlegg. Et av kravene til fremtidig målfølgning var å kunne integrere flere ulike sensorer, som kunne samarbeide om å finne en løsning, der hovedvekten skulle ligge på bruk av passive sensorer. Det gikk tregt til å begynne med, løste man ett problem så oppsto straks et annet. Gjennombruddet kom da Sverre en dag hadde hørt på en gjesteforelesning og kom meget bestemt tilbake: "Nå legger vi dette til side. Det er et Kalman-filter som er løsningen for oss". Han visste det ikke da, men med den beslutningen innledet han en ny æra på FFI ved å sette den kursen som ga grunnlaget for suksess i marineildledning.

Internasjonalt var det referert til en metode basert på dynamiske systemer og estimeringsteori utviklet av R. E. Kalman og R. S. Bucy, det såkalte Kalman-filteret. Denne filtreringsmetoden kunne vektlegge de forskjellige sensordata i forhold til deres erfarte statistiske egenskaper og finne en integrert optimal lokalisering-løsning. Til sammen kunne følgende sensorer på Kobben-klasse UVB integreres ved hjelp av Kalman-filteret:



- Passiv sonar (hydrofon, hovedsensor)
- Aktiv sonar (sekundær sensor)
- Passiv akustisk lokalisator (PAL, passiv avstand/peiling vha. tre hydrofoner på skroget)
- Periskop
- Radar (sekundær sensor)
- Fartøygyro
- Fartøylog

Simuleringsmodellen for målfølgning ble derfor basert på Kalman-filter algoritmen og med sensor feilmodeller for Kobben-klasse UVB skjønsmessig anslått.

En mer manuell metode ble også utviklet (Peileavviksmetoden), som kunne benyttes som kontroll mot den automatiske målfølgingslogikken basert på Kalman-filteret.

Ut fra disse ideene ble det laget et forslag til et nytt multisensor ildledningssystem MSI 70U for Kobben-klasse UVB, der FFI i samarbeid med KV og Informasjonskontroll A/S skulle utvikle og installere et norsk system, som eventuell konkurrent til Philips PTAB og en minimalt forbedret utgave av det tidligere HOSA-systemet. I en innledende fase i FFIs lansering av konseptet overfor Sjøforsvaret var prosjektet omtalt som "System K". Det ble antatt å være en lett maskering for KV, noe vi lot passere for å skjule den egentlige konkurransehemmelighet: Kalman-filteret.

Systemet skulle kunne detektere to mål og styre en eller flere torpedoer mot målene samtidig. Torpedo styringsalgoritmer for trådstyrt og heimende torpedo ble også utviklet. Sjefen skulle ha oversikt vha. et taktisk situasjonsbilde på en skjerm og med et tilleggsbilde for torpedostyring og andre data på en annen skjerm. En sifferdata-maskin, SM 3 fra KV, med bare 64 bytes hukommelse og programmert i assembly/maskinkode måtte utføre alle beregninger i MSI 70U. Ulike programversjoner til maskinen var på hullkort.

Etter en meget hektisk utviklings- og testperiode på FFI, inkludert rigging av en fullskala fysisk modell i tre av UVBs operasjonsrom på et av Avd Es laboratorier for å sjekke plassproblemer, var man klar for utprøving av et prototyp-anlegg høsten 1970.

Utviklingsprosjektet

Utviklingsprosjektet for MSI 70U innebar meget tett samarbeid mellom Systemgruppen og avdeling E, samt med KV, Informasjonskontroll A/S, og ikke minst med Undervannsbåtinspeksjonen (UVBI) og Sjøforsvarets forsyningskommando (SFK). Prosjektet ble ledet av Nils Holme for funksjonsspesifikasjon av MSI 70U, og av Tore Lund-Hanssen for utvikling og installering av et prototyp-anlegg på Kobben-klasse UVB KNM Stord. Fra KV ga Øderud og engelskmannen Surman viktige bidrag til at prototyp-anlegg ble tilført nødvendig industriell ekspertise for senere seriemodeller.

Andre medarbeidere fra KV var Østern og Engebretsen. Utfordringene i utvikling av prototyp-anlegget for MSI 70U var omfattende. Det var nødvendig å lage et sanntids operativsystem for datamaskinen SM 3, samt oversette og utprøve alle algoritmer i assembly-språk. Alle sensorer skulle tilpasses og avleses med ulike krav til signalfORMAT, presisjon og samplingstid i et elektrisk miljø med en uendelighet av komplikasjoner. Jan Kent utviklet en ny assembler for SM 3, som bla. muliggjorde en oppdeling av et program i flere taperuller (senere hullkortbunker), og som gjorde bruk av subrutine biblioteker mer fleksibel. Informasjonskontroll A/S utviklet et sanntids operativsystem som kunne håndtere ca. 70 asynkrone prosesser hver med sine egne krav til prioritering og restarting av subprosesser. Monitorprogrammet var på 78 maskin instruksjoner. MSI monitoren ble benyttet av KV også i påfølgende utviklingsprosjekter.

Presentasjon av informasjon var sentralt og skulle utformes med menneske-maskin grensesnitt for taktisk situasjonsbilde, der så vel målløsninger som deres estimerte usikkerhet ble vist i sann tid som bidrag til sjefens beslutningsgrunnlag. Usikkerhetsestimaten var noe nytt som var mulig ut fra løpende beregninger i Kalman-filteret. For torpedostyring og kontroll ble tilsvarende informasjonsoversikter vist på eget display



og med estimert treffpunkt også angitt på taktisk display. Lydforplantningskurver og sonardata-informasjon ble også vist på egne grafiske oversikter vha. funksjonsbrytere på MSI 70U konsoll.

Til sammen måtte alle funksjonene innpasse innenfor totalt 64k minne. Martin Vånar (tidligere forsker ved Avd E) var sentral i utviklingen av MSI 70U programsystemet. Thorstein Haugland ved Avd E arbeidet med programmering, integrasjon og uttesting. Å tre inn alle programfunksjonene i SM 3 på et såvidt begrenset minne krevde mange testversjoner og god fingerferdighet på punchtastaturet. Forbruket av papirbåndruller som ble lest og korrigert i løpet av utviklingsprosjektet (og senere under sjøprøvene) kan vel måles i dekar skog, ryddet.

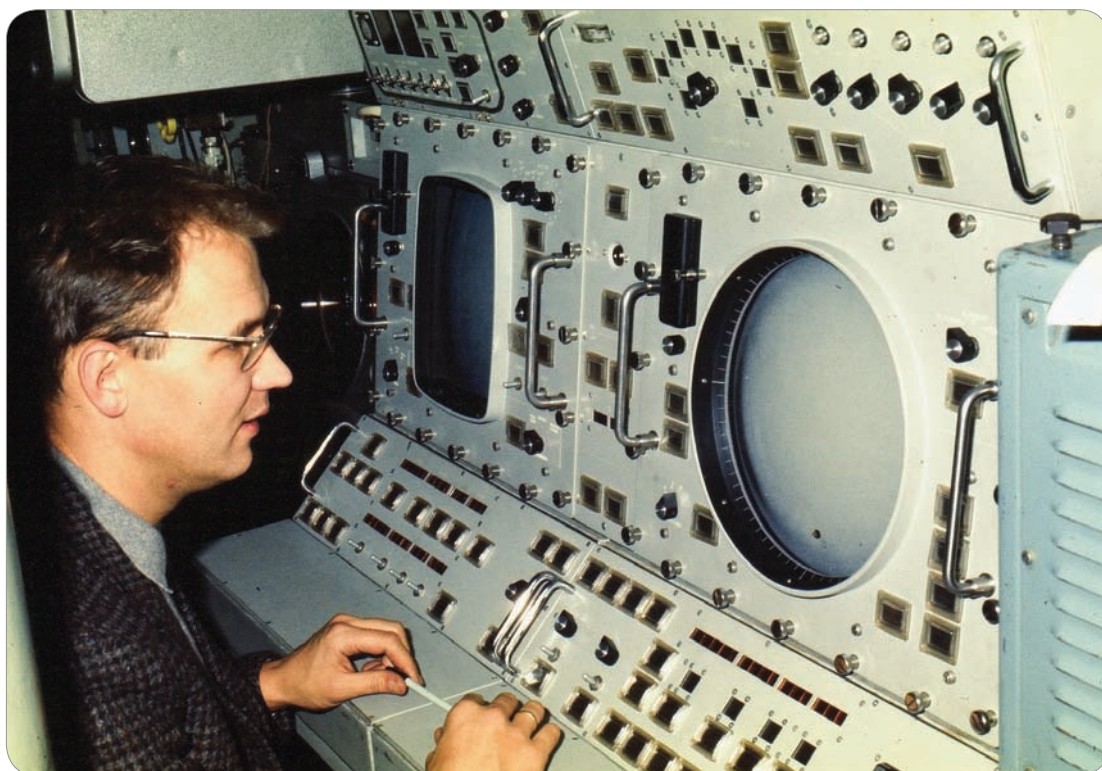
For de enkelte funksjonene i MSI 70U bidro Asbjørn Fægri (senere KV), Finn Bryhn og Sverre Braathen innen automatisk målfølgning, Sigurd Rannem med manuell målfølgning basert på peileawiksmetoden og Erling Wessel innen torpedostyringsalgoritmer. Sensorintegrasjonen var som nevnt en både omfattende og krevende aktivitet, der bl.a. Vidar Wien-Andresen bidro til de

løsninger som ble valgt. Displayene var av aller siste type teknologi og ble laget spesielt for vår anvendelse. De ble personlig hentet fra USA av Tore Lund-Hanssen for å holde tidsfristen for prototypen. Her var det ekstra dramatik. Vi hadde presset tidsfristene og fikk til straff atskillig trøbbel. Lavmålet var allikevel da leverandøren i California ble rammet av jordskjelv og gjorde gjeldende de ansvarsfraskrivende forbeholdene med liten skrift i kontrakten. Derfor prosjektlederens opptreden på stedet.

Torpedokontrollen ble utviklet av Harald Røros. I tillegg til utvikling av flere kretskort for torpedostyringen ble mye av den opprinnelige hardwaren byttet ut. Den opprinnelige store torpedo-reléboksen ble helt rensket for innhold og kablet opp på nytt.

Trangt om plassen

En stor utfordring var å lage en prototyp som mekanisk skulle gå inn på den avsatte plass, som var den plass det gamle HOSA-systemet hadde. Konsollet måtte kunne deles opp i deler som ikke var større enn at de kunne bringes ned gjennom luken i ubåten, som var rektangulær med avrundete hjørner. Løsningen ble en "legoløsning" på



Martin Vånar ved operasjonspanelet i Kobbenklasse UVB, KNM Stord.



syv moduler. En konsulent på mekanikk bistod oss i dette arbeidet. Det var C. O. Lund fra Danmark. Med seg hadde han Jack Due Sørensen som var maskiningeniør. Lund reiste frem og tilbake til København flere ganger i uken, og det ble sagt at han hadde fått ordnet seg med klippekort på flyet. Soldat Tor Gjertsen hadde ansvaret for alt som hadde med kabling å gjøre. Lund fant ut at en garnbøtestikke var et ideelt redskap til å sy kabelmatter med. En spesiell voksinnsett, flat tråd ble benyttet til dette formål. Gjertsen ble senere forsker ved FFI.

Prototypen hadde to hukommelsesmoduler à 16k ord (32 kbyte). Dette medførte at det ble så mye ledninger og så trangt, at når rammen med SM 3, hukommelse og annen elektronikk skulle skyves inn i foten av konsollet, måtte man sette seg på dørken med ryggen mot periskopet og ta spenntak for å få den på plass.

Per Bøe Bækkevold hadde ansvaret for datamaskinen og dens inn/ut system. Bækkevold begynte senere i Informasjonskontroll A/S.

Vidar Wien-Andresen og Ove Grønnerud sto for utvikling av kretskort og annet praktisk

arbeid. Alle kortene var tosidige med gjennomletteringer. Alle design ble først trafikk-løst, så tapet opp på plastark i målestokk 4:1 og til slutt avfotografert. Negative filmer i 1:1 ble så brukt til selve kretskortproduksjonen. Wien-Andresen laget kort for synkrotil-digital omformere etc., mens Grønnerud var involvert i datamaskinens generelle inn/ut-enheter og torpedostyringen. Kåre Trøim deltok også i konstruksjonen av hardware.

Under installasjonen og uttestingen bodde alt FFI-personell på befalsmessa på Haa-konsvern. For at den menige soldaten fra FFI skulle få være sammen med de andre i prosjektet, måtte han kle seg i sivilt antrekk for at ikke husordensreglene skulle bli utfordret.

Torpedo på ville veier

Under prøvene med styring av torpedo var det en øvelsestorpedo som fikk en kurs som var 120 grader feil. Påfølgende analyser viste at to faser var byttet i torpedorommet slik at servoene fikk feil signaler. For programmererne i utviklingsprosjektet ble derfor prøveskytingen innkassert som en seier. Torpedoen satte kursen mot stranda i stedet for mot målfartøyet. For full fart gikk torpedoen opp på land og over veien på stranda



Interiør fra KNM STORD med operasjonspanelet på plass.



like foran en lastebil. Lastebilsjåføren fikk seg nok litt av en overraskelse.

Mye reising

Installasjonen om bord på KNM Stord medførte en del reisevirksomhet til Bergen på en tid av året hvor regulariteten på flyene ikke bestandig var den beste. Mange ganger ble det så mye forsinkelse at SAS måtte spandere et gratis måltid. En medarbeider ble så lei dette at han bestemte seg for å ta natttoget i stedet. Akkurat den gangen skulle han oppleve at Bergensbanen ble stengt oppe på fjellet på grunn av ras, og han ankom Haakonssvern langt ut på dagen.

Sjøprøver

Et prototyp-anlegg for MSI 70U kunne leveres og installeres på KNM Stord i begynnelsen av desember 1970 i henhold til prosjektplanen, klar for evaluering med sjøprøver i Bjørnafjorden og Andfjorden. Målfartøy med sjøprøvene var forsyningsfartøyet KNM Valkyrien, som også hadde mulighet for forlegning ombord. Sjøprøvene med prototypen var et eget delprosjekt som ble ledet av Nils Holme. Det ble planlagt og gjennomført som Øvelse "Epsilon" med en fase 1 i Bjørnafjorden utenfor Haakonssvern i desember 1970 - januar 1971 og fase 2 i Andfjorden fra februar - mars 1971. Dette delprosjektet omfattet detaljert planlegging av serien med testløp med MSI 70U, samt utplassering av registreringsutstyret Decca Seafix med tre landbaserte sendere og en mottager ombord på hhv. UVB og målfartøy, som ga en nøyaktighet i registrerte posisjoner på ca. 3 m. Både utplassering og bruk av Decca registreringsutstyr i Bjørnafjorden og senere i Andfjorden skjedde ved forhandling mellom Richard Sinding-Larsen og Olav M. Sandberg fra FFI og de ulike grunneiere vha. diplomati og forespeiling om utstyrets mulige bidrag til forbedret fremtidig navigasjon langs kysten.

Et program for datareduksjon ble samtidig utviklet for å få skrevet ut og plottet så vel MSI 70U beregnede data som de virkelige fartøysbevegelser fra Seafix-registreringene i nesten sann øvelsestid. Alle data fra MSI 70U ble lagret på magnetbånd hvert 6. sek., mens Seafix-registreringene ble skrevet på papirtape. Etter et antall døgnprøver ble alle data fløyet med kurer fra Bergen til Kjeller og behandlet på KIRAs dataanlegg umiddelbart av en databehandlingsgruppe

med bl.a. Bjørn Tvedten fra KIRA og Sverre Zachariassen fra FFI. I løpet av kort tid kunne man dermed få tilbakemelding under sjøprøvene om status og ytelse av MSI 70U prototyp.

Installasjon av MSI 70U ombord på KNM Stord var i seg selv komplisert nok, men behovet for Decca Seafix mottager og diverse ekstrautstyr som papirbåndleser og VHF-radio for øvelsesledelsen, medførte at UVB-sjefen måtte avgi deler av sin lugar til bruk som lager og kontor. Gjentatt innlesing av modifiserte programversjoner på papirbånd med påfølgende spoling på 1 m² plass inntil flere ganger pr. time pga. diverse avbrudd i krafttilførsel eller manglende Seafix-signaler fra registreringen, er relativt klare minner fra sjøprøvene. Det gjaldt ikke å trække på papirbåndhaugene som hadde en tendens til å vikle seg om føttene før spoling var ferdig (skjøteutstyr for papirbånd var selvfølgelig standard).

Begynnerflaks er alltid til hjelp. Første øvelsesdag skulle det skytes en trådstyrt, målsøkende torpedo Mk-37. Nerver på høykant. Målfølgning med største flid, og så "fyr". Et par sekunder senere lyser lampen som indikerer at styretråden til torpedoen er brutt. Matt stemning. Men så kommer målfartøyet opp på radioen og melder "treff", dvs. at torpedoen med markeringslys var sett å passere under målet. ?? Ah! Det var jo en demo av en av våre finesser: Vi visste at trådbrudd var et problem, og hadde lagt inn i systemet at torpedoen ble forvinklet på siste tilgjengelige kurs til målet, i håpet om at torpedoens målsøker kunne gjøre resten av jobben. Det hadde virket, og ga oss det vi trengte: Signal fra KNM STORD til Sjøforsvarets ledelse: "En torpedo fyrt med MSI 70U. Treff". Bortsett fra noen problemer med Seafix gikk sjøprøvene i fase 1 i Bjørnafjorden stort sett som planlagt. Det var gode sjøforhold og dataregistreringene kunne flyfraktes og resultater produseres på Kjeller uten store forsinkelser, selv om det også ble en ufrivillig omvei via Gøteborg pga. tåke, med overnatting (og bevokning av data) på sentralbanestasjonen der før retur med tog til Oslo neste morgen. Noen tekniske endringer av MSI 70U ble foretatt som resultat av disse prøvene før starten av neste fase. I fase 2 i Andfjorden var forholdene atskillig mer krevende. Her fikk særlig FFI-personellet merke at Norske



havet ikke var langt unna. En UVB i overflatestilling ruller omtrent som en sylinder når dønningene treffer, og papirer og papirbånd hadde en tendens til å samle seg i krokene i sjefens lugar når man minst ønsket det. Fiskefartøy i konstant trafikk nær øvelsesområdet satte også store krav til sonaroperatøren ombord. En av fordelene med UVB ble klart demonstrert når sjøforholdene av og til var slike at øvelsen måtte avbrytes, og man bare dykket til under 30 m dyp hvor alt igjen var stille og behagelig.

Prøvene i Fase 2 gikk likevel omtrent som planlagt med kun to større avbrudd. Decca Seafix mottager ombord måtte byttes en gang pga. elektronikkfeil. Det var antagelig noen beboere som undret seg når en UVB i skumringen plutselig dukket opp i fjæresteinene og begynte å laste inn utstyr fra en person på land (vår mann på en av Decca slavestasjonene). Displayet på MSI 70U måtte også skiftes fordi det ofte "svartnet" slik at MSI 70U operasjon ble vanskelig. Displayet måtte repareres hos produsenten i USA. Igjen var det Tore Lund-Hanssen som dro av gårde. Han tok displayet med seg i flyet som overvektig bagasje. Displayet ble sjekket inn og ut av flyenes lasterom underveis. Ved ankomst var kassen med displayet likevel forsvunnet! Etter et par nervøse timer kom sendingen til rette.

Vel tilbake på FFI ble det godt emballert og pakket i en solid finérkasse. Sammen med noen andre kasser med utstyr dro flere av oss med fly fra Fornebu til Bodø. På Fornebu fikk vi følge displaykassen helt inn til flyets lasterom for å se at den ble forsvarlig festet. I Bodø ble vi imidlertid nektet å følge bagasjen fra flyet. En flyplassfunksjonær sa at den saken klarte de best selv. Det skulle imidlertid vise seg at kassen med displayet datt av bagasjetrallen og rullet bortover asfalten. Styrepinnene på displayet stakk ut gjennom kryssfinéren! Nils Holme, som var med ved denne hendelsen, var ikke spesielt blid. Men det viste seg at displayet fungerte fint da vi kom frem til Harstad. Ansvarlige for displayene var hovedsakelig Øystein Sletvold og delvis Terje Bølstad.

Det var en spesiell opplevelse å være med KNM Stord i overflatestilling i indre lei (heldigvis!) fra Andfjorden til Olavsvern og tilbake bl.a. gjennom Rystraumen med 10-15 knop

motstrøm skummende rundt båten, som virkelig måtte ta i for å passere.

Gjennom de realistiske sjøprøvene i Andfjorden fikk man utfra resultatene av Seafix og MSI 70U dataregistreringene bl.a. beregnet empiriske feilmodeller for sensorene. Det ble også foreslått endringer i både målfølgning og torpedostyring som grunnlag for spesifisering av MSI 70U seriemodell senere på KV. Serieleveransen omfattet anlegg til alle Kobben-klasse UVB, samt et avansert treningsanlegg ved UVBI med et identisk MSI 70U anlegg der innspilte data fra tokt kunne gi grunnlag for realistisk opplæring og analyse.

Den første versjonen av MSI 70U hadde begrensninger som krevde utbedringer, men ga likevel et forsprang i forhold til konkurrentene og dannet begynnelsen på en aktivitet innen ildledningssystemer som har fortsatt med nye versjoner helt frem til i dag (2000). Således ble det allerede under utviklingen av MSI 70U startet arbeid med en versjon for overflatefartøy MSI 80S, som deretter har fortsatt med versjoner i 90-serien.

Som kuriositet kan nevnes at gjennomsnittsalderen for deltagerne i prosjektet var 27 år, prosjektleder inkludert. Utviklingsprosjektet ble gjennomført på 12 mnd. Det var et rått kjøp, og det hersket enighet blant deltakerne om at dersom prosjektet med årene skulle få et rosenrødt skjær, ville det være bevis på deltakernes fremskridende hukommelsesvikt.

MSI 90U ildledningssystem for ULA-klassen undervannsbåt

Bakgrunn

I tiden fra 1974 arbeidet Tyskland og Norge med å planlegge en felles UVB-klasse. Ambisjonene var store. Etter planene skulle det bygges 20 båter for Tyskland og 12 for Norge. Det ble opprettet et tysk/norsk UVB-prosjekt (U210) med et norsk liasonkontor i Kiel. Ingenieurkontor Lübeck (i Lübeck) fikk konstruksjonsansvaret og KV skulle være underleverandør for ildledningssystemet med sin bakgrunn fra MSI 70U og MSI 80S. I dette lå en betydelig anerkjennelse fra den tyske marine. Man hadde ennå en "levende tradisjon" med meget betydelig kompetanse fra byggingen av henimot 1000 undervannsbåter under Den annen verdenskrig. Det var heller ikke fritt for fremstøt fra tysk



industri for å få jekket ut nybegynnerne fra Norge. Det skulle bli flere omkamper i løpet av prosjektet. Det er neppe feil å si at det som begynte med en politisk beslutning om samarbeid til slutt ble gjennomført fordi vi kunne sannsynliggjøre høye ytelse, spesielt i målfølgingsystemet. Men dette foregriper hendelsene.

Det ble i 1975-77 gjennomført et antall studier i Tyskland og i Norge for å kunne bestemme kravene til båt og bevæpning. Tyskland trakk seg imidlertid fra samarbeidet om å bygge U210 i 1977. Norge fortsatte arbeidet med U210-prosjektet alene til 1980, da Tyskland igjen ble interessert i et samarbeid, antagelig mest for å sikre leveranse av båter til Norge. Det ble undertegnet en samarbeidsavtale der Norge skulle utvikle "Basic CWCS" (Command and Weapon Control System), en felles kjerne i ildledningssystemene for tyske (U206/U211) og norske båter. Tyskland skulle levere de norske båtene og flere av systemene om bord (blant annet torpedoer og periskoper). Tyskland opprettet nå en liasonstab på Haakonsværn for å følge arbeidet i Norge.

Utviklingen av Basic CWCS startet i desember 1982 og Demonstration of Operability (DoO) ble planlagt til april 1987. Etter betydelige tekniske problemer og uenigheter mellom KV og Sjøforsvaret ble DoO gjennomført i desember 1990. En tre års teknisk og operativ evaluering ble gjennomført i perioden 1991-94. I 1995 fikk Kongsberg Defence & Aerospace kontrakt på levering av ildledningssystem til den tyske U 212-klassen, og i 1998 undertegnet de kontrakt på levering av to ildledningssystemer og ett øvingsanlegg til Italia. Vi kunne fastslå at Norge nå var blitt leverandør av komplette systemer for taktisk ledelse og våpenkontroll til to av Europas ledende nasjoner innenfor konvensjonelle undervannsbåter.

MSI 90U-prosjektene på FFI

Fra 1980 til 1985 hadde FFI to påfølgende prosjekter for å bistå Sjøforsvaret i utvikling av krav og spesifikasjoner for våpensystemet til båtene og forhandle med tyske myndigheter og industribedrifter. Prosjektleder var Johan Aas. På grunn av samarbeidet med Tyskland og ønsket om å ha støtte som var uavhengig av leverandøren, satte Sjøforsvaret som krav at FFI ikke direkte skulle delta i KV's utvikling av Basic CWCS.

Med ULA-klassen UVB ønsket Sjøforsvaret en våpenplattform med mer robust og bedre målfølgning, og langt større angrepskapasitet enn Kobben-klassen. Helt fra utviklingen av MSI 70U har FFI arbeidet med målfølgning (beregne avstand, kurs og fart til et overflatefartøy) ut fra peilingene til lyden fra et mål med passiv sonar. Dette er et matematisk og måleteknisk problem hvor resultatet (nøyaktighet og tid) er helt avgjørende for UVBens kampytelse. I perioden 1980 til 1982, da utviklingen av Basic CWCS startet, foregikk det mye arbeid med målfølgealgoritmer for å få til ytelse som var bedre enn det Tyskland kunne få til, og det var tallrike turer til IABG (Industri Anlagen Betrieb Gäsellschaft) i Munchen og BWB (Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung) i Koblenz og Hamburg for å diskutere målfølgingsresultater. På denne tiden var det Arnstein Borstad som arbeidet med målfølgning og Johan Aas var prosjektleder. Ellers var mange på Styrehuset involvert i forskjellige spørsmål i tilknytning til målfølgningen. Nils Holme var på den tiden forskningssjef på avd E og var ofte på reise i Tyskland sammen med noen fra prosjektet i diskusjoner om den tysk/norske samarbeidsavtalen og da spesielt spesifikasjonsgrunnlaget. Holme tok til og med et intensivkurs i tysk for å kunne forhandle med tyske myndigheter på deres eget språk. Dette imponerte flere, bl.a. den tyske forhandlingslederen i BWB.

Torpedokonseptet

Den andre hovedaktiviteten i perioden 1980-82 var torpedokonseptet, og spesielt torpedo-styringen. Karsten Bråthen på Styrehuset arbeidet først med målfølgning, men ble så ansvarlig for torpedostudiene. I forbindelse med at Tyskland skulle gi Norge tilbud på utstyr og elektronikk for tilkobling av den tyske torpedoen i de norske båtene kom FFI og KV, i forståelse med Sjøforsvaret, med et utspill som sparte Norge for ca. 16 mill NOK. Situasjonen var som følger: AEG, som produserte torpedoene, så seg selv som eneste mulige leverandør av utstyret og kom med tilbud på utvikling av dette som var urimelig høyt. Med erfaring fra tilsvarende arbeid for Kobben, som bl.a. Harald Røros hadde, tilbød FFI seg å gjøre dette arbeidet sammen med KV for en mye lavere pris. Dette resulterte i at AEG reduserte sitt tilbud med ca. 4 mill DM, og sjef SFK uttrykte stor tilfredshet med dette utspillet.



Ildledningssentralen MSI 90 U ble produsert på Kongsberg.

Da utviklingen av Basic CWCS startet i 1982 kom Sjøforsvaret og FFI til at det ville være hensiktsmessig å starte en studieaktivitet ved FFI for å komme frem til Sjøforsvarets ønsker om hvordan operatørfunksjoner, arbeidsfordeling mellom offiserene i operasjonsrommet og MMI (Menneske-Maskin-Interaksjon) burde være for at et lite mannskap med så mange oppgaver skulle bli så effektivt som mulig. Det var på denne tiden en gikk bort fra store vektorskjermer til rasterskjermene. MMilen var langt fra moden for denne type operatørgrensesnitt, men pionerarbeidene ved Xerox Star (vinduer, menyer, objektorientering) var utført og Apple Lisa var den kommersielle datamaskinen som på det tidspunktet var mest avansert og benyttet de "nye" operatørprinsippene som i dag finnes i alle moderne vindusbaserte datamaskiner. FFI grep derfor dypt i prosjektkassa og kjøpte en av de første Lisa-maskinene i Norge for å studere MMilen og kunne tilpasse en del av de samme prinsippene i UVB-systemet (Lisa-maskinen fantes fortsatt på FFI i år 2000).

Et betydelig arbeid på FFI var utviklingen og byggingen av en UVB laboriemodell for å prøve ut løsninger for målfølgings- og torpedo-

konsollet og operatørens arbeid med konsollene. Mange var involvert i arbeidet med laboriemodellen, som varte over flere år. Det var Johan Aas, Erik Nordø, Karsten Bråthen, Arnstein Borstad, Pål Kristiansen, Jon Buer, Stig Lødøen, Ole Ørpen, Stig Stenberg, Jan Sigurd Røtnes og Rune Bergås. En digital VAX-maskin og BARCO-skjermer ble innkjøpt. Plasma funksjonspaneler fikk FFI låne av KV, og arbeidet med definering av funksjoner og utvikling av MMI startet. Det fantes svært lite programvare for utvikling av grensesnitt på den tiden, og det var et omstendelig arbeid å lage grafikk, noe som vi i dag ser på som helt trivielt. Laboriemodellen ble etter hvert ferdig, og UVB-offiserer prøvde ut løsningene. Modellen ble ganske omfattende og besto av et sanntids programvaresystem på rundt 60 000 linjer når den sto ferdig. Det ble gjennomført tester hvor UVB-offiserer prøvde ut løsningene og hvor testene ble dokumentert, bl.a. ved videoopptak som i etterkant ble analysert. Også tyske UVB-offiserer deltok på disse testene. Laboriemodellen ble også brukt til demonstrasjon ved mange besøk og til UVB sjefskurs.

FFIs laboriemodell omfattet bare to av de tre konsollene som ildledningssentralen



skulle bestå av. Planen var at KV skulle foreta en tilsvarende studie for det tredje konsollet (sjefskonsollet), men av flere grunner ble dessverre ikke denne studien gjennomført, og helheten ble derfor noe skadelidende.

I de to årene 1987-88, etter at utviklingen av laboratorieprototypen ble avsluttet, var arbeidet konsentrert om å få overført resultatene til NFTs (Norsk Forsvarsteknologi, (tidligere KV)) programvareutviklere og gi støtte til Sjøforsvaret til forarbeidet med uttesting av det første MSI 90U. Prosjektleder i denne perioden var Karsten Bråthen. Overføring av resultater fra FFIs arbeider til NFT var et møysommelig arbeid, med skriving av egne rapporter og mange møter med NFTs folk. Erfaringene fra denne perioden var at det var nødvendig med en tett oppfølging for at de løsningene FFI foreslo virkelig skulle bli tatt hensyn til. NFT bygde en såkalt Factory Test Stand (FTS) av MSI-en hvor det lot seg gjøre å teste det som var blitt implementert.

Sjøprøver

Sjøgodkjenningstester (Sea Acceptance Test-SAT) for Ula startet i 1989 samtidig som MSI 90U ble testet og ferdigstilt i et landbasert testanlegg på Kongsberg. Første versjon av MSI 90U ble offisielt avsluttet etter funksjonsdemonstrasjonen i desember 1990. Allerede på dette tidspunkt var det imidlertid diskusjon om en felles tysk-norsk videreutvikling, basert på omforente krav fra de to marinere. Dette skyldes erfaringene både fra utprøving på Kongsberg og etter det første året med sjøprøver som

begge klart viste at det var nødvendig med forbedringer og tilpasninger. Videre var det klart at det var behov for en vesentlig mer omfattende og detaljert utprøving av kampsystemet enn opprinnelig planlagt.

Et testprogram for torpedoen, DM2A3, i regi av norsk og tysk marine startet desember 1990. Norsk teknisk og operativ utprøving ("tekeval/opeval") startet høsten 1991 og varte fram til 1994. FFI hadde i perioden 1989-95 en rekke prosjekter, også noen som delvis overlappet i tid. Evaluering av våpensystemet i ULA klassen (jan. 89 - feb. 91) med Erik Nordø som prosjektleder, vektla fortsatt slutføring, videreutvikling og utprøving av MSI 90U på land, mens arbeidet med å planlegge sjøtester i forbindelse med teknisk/operativ evaluering ble startet opp.

De opprinnelige planene mht. dataregistrering og analyse var beskjedne. Under SAT, i regi av verftet, ble det klart at Sjøforsvaret ønsket vesentlig mer omfattende dataregistrering fra UVB, torpedo og testmål. Dette resulterte i at det ble startet opp et eget prosjekt for utvikling av et egnet system for evaluering av ULA UVB. Systemet ble kalt DACULA (Data Acquisition ULA) og ble utviklet i 1989-90 med Arne Sjøvik som prosjektleder. Dette prosjektet ble ledet og gjennomført av personell med lang erfaring fra teknisk utprøving av Penguin, og målsettingen var raskest mulig å utvikle et prototypsystem. Kravene til DACULA endret seg imidlertid hyppig og økte vesentlig i omfang etter hvert som testprogrammet ble definert



Norsk/tysk øvelse i Marvika. Evaluering av ULA-kl., KNSM UTSTEIN.



og gjennomført. Videreutviklingen av DACULA og analyser av sjødata var derfor hovedaktivitet i prosjektene "Evaluering Ula våpensystem" (mars 91 - juni 93) med Erik Nordø som prosjektleder og "Videre evaluering ULA" (juni 93 - mars 95), med Erik Nordø og Børge Hilden som prosjektledere. Andre viktige problemstillinger i disse prosjektene var utvikling av mer avansert simuleringsverktøy sammen med KV og analyse/tilpasning av algoritmer for målfølgning og torpedostyring.

Mye av SAT i regi av Thyssen var enkle tester som demonstrerte hvorvidt systemer fungerte sammen og leverte "rimelig" fornuftige data. Man gikk i liten grad inn på kvaliteten i de data som en sensor leverte og hvordan disse ble brukt senere i den funksjonelle kjede, dvs. målfølgning, engasjementsanalyse og torpedostyring. Under tekeval/opeval ble de viktigste sensorene, spesielt sonarene, testet under mer dynamiske forhold med bedre instrumentering. Testene viste feil i sensorene som leverandørene ikke visste om. Like viktig var kartleggingen av ytelsen til sensorene og deres egenskaper under ulike forhold. Tilsvarende ble det funnet feil i grensesnittet mellom sensorene og MSI 90U, i MSI 90U og i torpedoen. Et gjennomgående problem under tekeval/opeval var tidsynkronisering og generelt nøyaktighet knyttet til måling av sensorytelser. Blant annet viste det seg at kvalitet i så vel registrerte data som referansedata førte til at det etablerte målefelt ved Stavanger ga helt misvisende resultater. Det totale omfang av FFI-bistand relatert til tekeval/opeval for ULA var omkring 50 årsverk.

Gjennomføring av et testprogram for en så komplisert våpenplattform som for ULA var en ny problemstilling for alle de involverte partene: SFK, UVBI, FFI og NFT / Kongsberggruppen, og det er nok riktig å si at "veien ble til etter hvert som man gikk". Det var både en lærings- og modningsprosess for de involverte partene. I ettertid kan det nok stilles spørsmål til deler av både planverk og utført arbeid. Men det fantes altså ikke på norsk side en fasit på hvordan dette skulle gjøres. Problemene omkring ULA og innføringen av denne våpenplattformen i Sjøforsvaret må ses i lys av den høye risikoprofilen som ble lagt: ny plattform, ny torpedo, nytt kommando- og våpenkontrollsystem, inklusive egenutviklet maskinvare og sanntids

distribuert operativsystem, nye sonarer, nytt periskop, og nytt avansert treningsanlegg for simulering etc. På tross av risiko og problemer oppnådde ULA på midten av 1990-tallet langt på vei de operative målsettingene. ULA sine sensorer og dets våpen representerte noe helt nytt i forhold til Kobben og krevde nødvendigvis en revurdering av angrepstaktikk for fullt å utnytte den økte kapasiteten. UVB-våpenet innførte etter tekeval/opeval rutiner som sikret vesentlig mer systematisk evaluering av forsøk og øvelser enn tidligere. Den første versjonen av DACULA ble installert på Haakonsværn i januar 1992. Fra 1994 tok NFT over ansvaret for vedlikehold og videreutvikling av DACULA, i tett samarbeid med FFI.

Tekeval/opeval støttet av DACULA og andre typer verktøy ga altså et godt grunnlag for utviklingen av ny angrepstaktikk, til videreutvikling av MSI 90U og opparbeidelse av nødvendig systemkunnskap hos så vel operativ myndighet og prosjektpersonell ved SFK.

Utprøvingen av ULA tok lang tid med stor personellinnsats og kostet mye. Allikevel, sett i forhold til utviklingskostnadene kan man langt på vei si at denne fasen var kosteffektiv og vellykket. Uten denne innsatsen er det usikkert i hvilken grad Kongsberg hadde fått den suksessen som de senere fikk med leveranser av MSI 90U, inklusive treningsanlegg til Tyskland og Italia.

Hvordan var så hverdagen for medarbeiderne på FFI-prosjektene i denne utprøvningsfasen? Anta gitt et scenario bestående av to målfartøyer og to torpedoen. Det er blitt regnet ut at det for et slikt scenario kan registreres data fra i alt 23 samtidig aktive "delsystemer" og at fem ulike tidssystemer og fem ulike referansesystemer er i bruk. Antall variable er i området 1500 og antallet datasamples i løpet av en times test kan være opptil 100.000. Tallene indikerer kompleksiteten i en analyse av dette kampsystemet. I tillegg kommer kompleksiteten av lydforholdene i vannet og problematikk omkring referansedata for neddykkede objekter som UVBen og torpedoen.

Omkring 300 tester ble utført i løpet av første fase i teknisk/operativ utprøving. Selvfølgelig er det nærmest umulig å analysere alle disse dataene fullstendig. Oppgaven ble der-



for delt mellom halvautomatisert generering av standardrapporter, som ga oversikt og den viktigste informasjonen og mer detaljerte typer analyser av spesielle data. Utviklingen av programvaren for analyse på FFI var ingen enkel oppgave. Nesten hvert forsøk ga nye overraskelser og resulterte i nye brukerkrav til DACULA. Tidspresset var stort, programvaren skulle nesten være ferdig før den ble spesifisert! Dette var selvsagt umulig, og det kunne nok ta en del tid før dataene var analysert. Men enkelte nøkkelmedarbeidere ble etter hvert eksperter på raskt å snekre sammen noen programlinjer som løste et uventet problem. Sammenstilling av data på alle mulige formater var ofte arbeidskrevende og nok ikke alltid like faglig interessante. I noen grad måtte personell fra FFI også utføre feltarbeid, bla. i forbindelse med bruk av differensiell GPS på UVB og målfartøyer og landbasert referansestasjon på Haakonvern. Videre deltok personell fra FFI ofte som observatører i undervannsbåten i de mer kompliserte testene, slik at en fikk best mulig forståelse og oversikt over det som skjedde i hvert forsøk. Den tålmodigheten og arbeidsinnsatsen som FFIs medarbeidere innen dette området viste i disse årene må framheves. Det var bla. Erik Ahlsen, Jon Buer, Ronnie Dyvå og Stig Lødden. Vi skal heller ikke glemme UVB-mannskapet som etter beste evne fulgte (noen ganger nesten umulige) anvisninger fra evalueringsteamet så godt de kunne. Dette kunne bety at de skulle kjøre i "perfekte" sirkler nesten en hel dag!

Som tidligere nevnt ble det gjennomført et testprogram av DM2A3-torpedoen i samarbeid med Tyskland. Disse testene hadde Marvika ved Kristiansand som base, og begge nasjoner stilte opp med testmål og evalueringsutstyr. Som litt ferske innen UVB/torpedotesting hadde en fra FFI med god grunn stor respekt for det tyske analysepersonellet. Men det viste seg fort at DACULA var et mer moderne og fleksibelt verktøy enn det tyskerne hadde. Et par-tre FFI forskere/ingeniører hadde derfor ingen problemer med å markere seg overfor en ganske så "tung" tysk delegasjon. DACULA inngår nå (år 2000) som en del av det tyske innkjøpet av MSI 90U til 212-klassen undervannsbåter.

En episode fra disse årene fortjener å nevnes: Det var det "tysk-norske" målfølgingsmesterskapet! MSI 90U var som nevnt

en tysk-norsk utvikling og Tyskland hadde "forpliktet" seg til å anskaffe dette for sine UVBer, selvfølgelig under forutsetning av at kravene ble oppfylt. Tysk industri som hadde tapt kontrakten hadde som nevnt innledningsvis ikke gitt helt opp. En del resultater fra tidlig SAT var som nevnt ikke veldig gode, og det ble fra tysk side en del usikkerhet knyttet til hvorvidt de skulle videreutvikle og anskaffe MSI 90U. Det ble spesielt fokusert på målfølgning, og det ble i 1992 bestemt at den norske målfølgingsalgoritmen skulle måles mot en eksisterende tysk algoritme. Så vel syntetiske målinger (kunstig genererte målinger fra sonar) og virkelige sjødata fra den tyske UVB-klassen 206A skulle brukes, og sistnevnte hadde selvfølgelig sine særegenheter. FFI fikk som del av dette arbeidet de tyske resultatene i form av en stor bunke med dårlig lesbare tall på papir, i alt ca. 20 000 tall. Det var ikke mulig å fremskaffe disse elektronisk. Etter forgjeves å ha prøvd å scanne disse inn tok Else Kurland jobben. På utrolig kort tid hadde hun skrevet inn alle tallene, og vi brukte soldater til å kvalitetssikre, slik at det ble helt riktig. Deretter kunne vi plote ut og beregne ytelsesmål og sammenligne både tyske og norske resultater mot kravene. Det viste seg senere at dette ble svært viktig i en situasjon hvor man tok frem millimetermålet! En del resultater var ikke kjent på forhånd og det var en rimeleg spent forsamling som en dag møttes på FFI for å kåre mesteren. Det ble nervepirrende, fordi de tyske resultatene var best i de første scenariene, og FFI-medarbeiderne, inklusive ansvarlig forskningssjef H. K. Johansen, var nok på et tidspunkt litt nervøse. Heldigvis jevnet det seg ut etter hvert. Det er nok ulike tolkninger av det endelige resultatet, men hovedsaken var at MSI 90U i hvert fall ikke var dårligere mht. målfølgning, og at dette ikke lenger kunne vanskeliggjøre forhandlingene med Tyskland om videreutvikling og anskaffelse av MSI 90U. De som utførte denne målfølggestudien var Børre Sørensen og Erik Nordø fra FFI og Andreas Pedersen fra Kongsberg.

Bidragstere: Sverre Braathen, Johan H. Aas, Ove K. Grønnerud, Tore Lund-Hanssen, Nils Holme.



ILDLEDNINGSSYSTEMET MSI 80S

Omkring 1969 var FFI i full gang med å utvikle et nytt ildledningssystem for Sjøforsvarets nye ubåter av Kobben-klassen. Systemet ble kalt MSI 70U som skulle bety noe sånt som "MultiSensor Integration for the 70s, Under water". Systemet skulle ved hjelp av databehandling i nye norskbygde digitale datamaskiner (opprinnelig utviklet ved FFI) og dyktige operatører bestemme torpedomålets posisjon, fart og kurs, samt muliggjøre kontroll av trådstyrte torpedoer.

MSI 70U-prosjektet lå klart forut for sin tid, spesielt i metodene som ble benyttet for bestemmelsen av måldata. FFI foreslo et påfølgende og lignende prosjekt for utvikling av et norsk, moderne datamaskinbasert ildledningssystem for Sjøforsvarets planlagte nye hurtige, små overflatefartøyer, missiltorpedobåter av Hauk-klassen. Hauk skulle være operativ omkring 1980 og produseres i et antall av minst 15. Dette systemet var det da naturlig å kalle MSI 80S (MultiSensor Integration for the 80s, small Surface vessels).

MSI 80S

Missiltorpedobåtene av Hauk-klassen skulle få en våpenbestykning bestående av seks Penguin-missiler, to torpedoer samt en 40 millimeter kanon. Dette var meget effektive våpen som fordret et moderne og godt ildledningssystem. Det komplette ildledningssystemet ville bestå av siktemidler, system for informasjonsbehandling og operatørpaneler. FFI foreslo at siktemidlene skulle omfatte lavlys-TV-kamera (LLTV), infrarødt-kamera (IR) og laser-avstandsmåler (LAM), foruten en god våpenradar. Informasjonen fra disse siktemidlene skulle da sammen med data fra båtens kompass og logg (hastighetsmåler) brukes i digitale datamaskiner for å frembringe så nøyaktige data som mulig om målets posisjon, kurs og fart. Informasjonen om mål, målområdet og situasjonen generelt skulle videre presenteres på en utfyllende og lettfattelig måte for operatøren ombord. Alt dette til sammen skulle utgjøre det nye ildledningssystemet MSI 80S.

MSI 80S-prosjektet hadde en treg start. Det skyldtes uenigheter på høyt plan mellom FFI, Sjøforsvaret og Kongsberg Våpenfabrikk (KV). Sterkt forenklet kan man si at FFI

ønsket å utvikle hele systemet (i samarbeid med Sjøforsvaret) og så overlevere det for produksjon i norsk industri, dvs. KV. Sterke krefter i Sjøforsvaret ønsket "å spille safe" og få levert ildledningssystemet ferdigutviklet av utenlandsk industri. Den svenske Philips-bedriften PTAB var her sterkt i bildet. KV ønsket å få mest mulig av både utviklingsprosjektet og produksjonen. Uenighetene førte til at gjensidig motarbeidende avgjørelser bølget frem og tilbake i en årrekke. Men i 1973 ble norsk utvikling av MSI 80S endelig formelt startet, og KV kunne begynne produksjon av systemene i 1978.

Arbeidene ved FFI

Mens "krangelen" gikk sin gang på høyt plan, lå FFI slett ikke bare i venteposisjon med hensyn til MSI 80S. I årene 1969-73 ble det utført systemkonseptarbeider og -analyser, og tidlig prototyp utvikling av deler av systemet var friskt i gang ved Avd E. Det ble eksempelvis laget en eksperimentmodell av et elektronisk plottebord, men den største utviklingsinnsatsen var på to delsystemer:

- Radarekstraktor for optimal karakterisering av de ekko som våpenradaren detekterer. Det gjaldt her å "ekstrahere" overflatemåls posisjon fra radarsignalet, og beregne fart og kurs så nøyaktig som mulig.
- Stabil plattform for stabilisert montasje og styring av de optiske siktemidlene LLTV, IR og LAM med ekstrem vinkelnøyaktighet. Disse tre siktemidlene utgjorde en optisk pakke som kunne ha en maksimal vekt på 100 kg. Denne plattformen var dermed ikke noe småtteri, verken i fysisk størrelse eller mht. ytelse.

Karl Holberg var primus motor på forskningssjefsplan og var sterkt engasjert i ovennevnte "krangel"-prosess. Arne Solesvik var prosjektleder. Bjørn Verndal ledet først utviklingen av radarekstraktoren, men etter hvert overtok Godtfred Nymark, og Henry Kjell Johansen ledet utviklingen av den stabile plattformen.

Som nevnt ønsket FFI å ha hånd i hanke med utviklingen av alle sider ved ildledningssystemet. Særlig var ambisjonene høye når det gjaldt de optiske siktemidlene. Dette hadde



sin bakgrunn i det sterke miljøet som var bygget opp på dette fagområdet ved FFI gjennom Penguin-prosjektet. Men det gikk ikke helt som FFI ønsket. Hovedønsket ble dog oppfylt: Det ble norsk utvikling og produksjon. KV fikk oppgaven både å utvikle og produsere MSI 80S med FFI som underleverandør når det gjaldt utviklingen av prototyper av radar-ekstraktor og stabil plattform for siktemidler. Siktemidlene ble innkjøpt fra utlandet.

Radar-ekstraktoren

Utviklingen av radar-ekstraktoren (REX) for MSI 80S startet i 1972 og ble slutført i 1976.

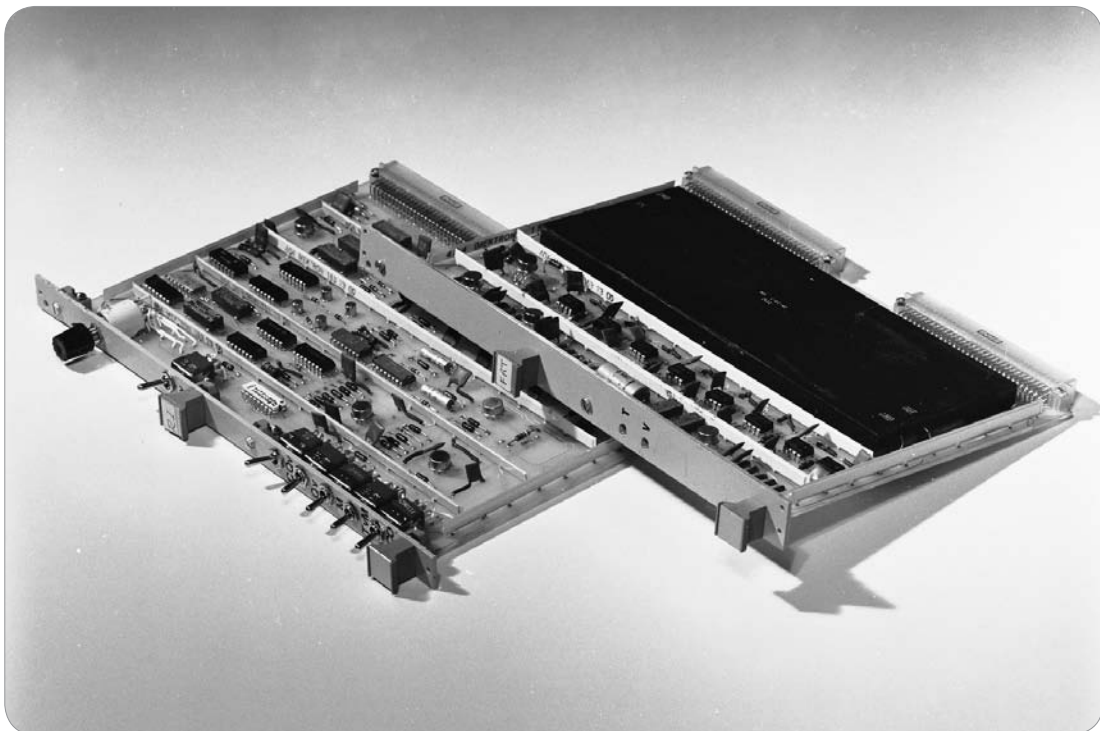
Radarekstraktorens oppgave var å trekke ut en digital versjon av radarbildet fra en sivil, analog navigasjonsradar for å bruke det til målfølgning. En vesentlig del av oppgaven var å filtrere ut støy (clutter) slik at man satt igjen med reelle mål. Til dette brukte vi en analog forsinkelseslinje for å generere en terskel som så inngikk i signaldeteksjonskretsen.

For signaldeteksjon og måldatabehandling ble det brukt en egenutviklet prosessor. Den ble kalt Peripheral Equipment Processor (PEP) og var konstruert av Arne Solesvik. For prø-

ver og uttesting av REX ble det også implementert et målfølgingsprogram i PEP.

For å teste ut REX med mest mulig realistiske data ble det kjørt et måleprogram på Korsnes ved Bergen. Radaren ble plassert på et stativ i samme høyde over havet som den ville være på MTBene, og radarsignalene fra trafikken i Korsfjorden ble spilt inn på en modifisert videospiller. Måleprogrammet ble avsluttet med en serie tester hvor to MTBer kjørte i forhåndsdefinerte mønstre i Korsfjorden. Hensikten var blant annet å måle radarekstraktorens målseparasjonsevne.

For denne siste testen hadde vi leid et Sea King helikopter som fløy i lav høyde fra Korsnes og ut Korsfjorden forbi Marstein fyr, og også på tvers av siktelinjen, for å teste evnen til å følge hurtige mål. Denne delen av testen hadde krevd mye forberedelser og mange mellommenn for å få til, så vi var ganske spent. Da vi satt klare med alt vårt utstyr og det var fem minutter til helikopteret skulle ta av fra Flesland, så forsvant nettspenningen! Vi var plassert i ei lita bu langt fra vakta på Korsnes, men kastet oss i bilen og raste i full fart opp til vaktbua og klarte å få spenningen tilbake bare to minutter før



Kretskortet til venstre mottok radarsignaler og kortet til høyre var terskelgeneratoren. Hele systemet fylte en elektronikkhylle.



helikopteret var over oss. Svetten rant etter denne episoden!

Prosjektet ble etter hvert et samarbeid med KV som industrialiserte REX. FFI deltok langt i den prosessen og laget produksjonsprototyper og produksjonsunderlag i henhold til KVs standard. Prosjektet ble avsluttet med at vi holdt kurs for KV og Sjøforsvaret.

REX ble en meget vellykket del av MSI 80S og ble også brukt i en versjon som KV laget for Kystvakten (NAVKIS).

Fra en tidlig utprøving av ideer for signalbehandling og tidlig eksperimentering med konstruksjon av mikroprosessorer ble prosjektet et produktutviklingsprosjekt der FFI fulgte med helt til industrialiseringen var ferdig.

Den stabile plattformen

Den 4. mai 1970 innkalte H. K. Johansen til møte hvor han for første gang skisserte et formelt prosjekt der FFI skulle utvikle en prototyp til en stabil plattform for optiske siktemidler i ildledningssystem for de fremtidige missiltorpedobåtene (MTB) av Hauk-klasse. Utviklingen skulle gjøres i det samme fagmiljø som nettopp hadde lagt siste hånd på utvikling og kvalifisering av navigasjons- og styresystemet til sjømålmissilet Penguin Mk1. I fagmiljøet foregikk det også en videreutvikling av navigasjonssystem for missiler, og det lå an for en god synergieffekt mellom dette arbeidet og utviklingen av MSI 80S-plattformen. Fagmiljøet var i hovedsak samlet i en separat bygning populært kalt Styrehuset. Miljøet her gikk under navnet Styregruppen.

Deler av Styregruppen gikk i løpet av 1970 friskt i gang med utviklingen av den stabile plattformen. Johansen selv ledet det teoretiske arbeidet som skulle til for å oppnå den ekstreme vinkelnøyaktigheten som skulle til for de optiske siktemidlene. Når MTBen fosset og svingte av gårde på sin aktive måte i godt og dårlig vær, skulle plattformen stabilisere den opp til 100 kg tunge pakken med optiske siktemidler med en vinkelnøyaktighet på ca. 1/100 grad referert til horisontalplanet og nord-retningen. Det gjorde ikke saken enklere at plattformen skulle monteres høyt oppe på fartøyet i mastekonstruksjonen. Johansen satte etter hvert i gang en reguleringssteoretisk skarpskodd gruppe bestående bl.a. av Nils Christophersen, Johan Aas, Ole

Ørpen, Kjell Rose og Truls Lange Nielsen. Disse utviklet etter hvert ved hjelp av simulering med matematiske modeller det programsystem som styrer plattformen slik at nøyaktigheten blir oppnådd. Programsystemet er koblet opp mot de sentrale sensorer i en slik stabilisert plattform, nemlig gyroskoper og akselerometre. Programsystemet tar inn signalene fra akselerometrene (som her brukes som et avansert "water") og regner ut hvordan gyroskopene skal korrigeres for at plattformens vinkelstabilitet skal opprettholdes. For å støtte prosessen tas også signalet fra fartøyets logg (fartsmåler) inn i programsystemets beregninger.

Det viste seg snart at den vinkelnøyaktighet som ble krevd resulterte i at den stabile plattformen også ble et fullgodt treghetsnavigasjonssystem, som løpende viste fartøyets posisjon og hastighet i geografiske koordinater. Derfor var det naturlig at arbeidstitelen på den stabile plattformen ble Precision Reference Inertial Navigation System (PRINS).

Emil Brodersen fikk ansvaret for den fysiske frembringelse av den første eksperimentprototyp, PT1, (Prototyp 1) av PRINS, med tilhørende elektronikk og operatørpaneler. Med i dette arbeidet var i største grad Fellesverkstedet (Fv) ved FFI med Gudmund Aanesland i spissen for konstruksjons- og tegningsarbeidet. PRINS var en stor finmekanisk utfordring både konstruksjons- og produksjonsmessig. Her mobiliserte Fv all den erfaring og ekspertise som var opparbeidet gjennom prosjekter som Terne og Penguin m.fl. For å få utviklet all den avanserte elektronikk som krevdes, hadde Brodersen med seg bl.a. Leif Grindstad, Jostein Lavik, Bjarne Rolland og Erland Nitteberg. Turid Antonsen sørget for at elektronikk-kort, komponenter (gyroskoper, akselerometre, motorer, resolvere, varmeelementer osv.), paneler, kabler og plugger ble fagmessig elektrisk koblet og loddet.

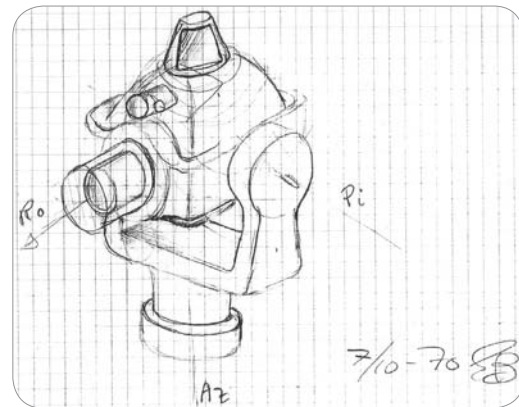
Arbeidet med valg, utprøving og integrering av de sentrale sensorene gyroskoper og akselerometer ble ledet av Johansen i samarbeid med bl.a. Thor Holmsen, Dag Frydenlund og Geir Garpe. Disse hadde da lang erfaring med lignende systemer etter Penguin-arbeidene, men PRINS-sensorene representerte en meget større nøyaktighet, som utgjorde en ny og stor utfordring i dette arbeidet.



I løpet av 1971 ble det arbeidet med å studere markedet og velge de spesialkomponentene som det var naturlig å kjøpe i utlandet for å realisere PT1. De viktigste av disse var gyroskoper, akselerometre, vinkelmålere (resolvere), sleperinger (for å overføre elektriske signaler gjennom roterende akslinger) og elektriske momentgivere (momentmotorer som holder plattformen stabil "med makt"). Det viste seg at det var i USA man fikk de beste tilbudene på alle disse komponentene. I februar 1972 dro Johansen og Brodersen på en reise til USAs østkyst hvor en rekke interessante komponentleverandører ble besøkt. Her fikk FFI-forskerne verdifull nærkontakt med de utviklings- og produksjonsmiljøene som skulle levere komponentene, som til dels var bestilt. På 10 dager besøkte Johansen og Brodersen fem firmaer lokalisert fra Virginia til Connecticut. Et av de mest interessante besøkene var nok hos Singer Kearfott i New York, der både gyroskopene og akselerometrene til PRINS ble laget. For eksempel fikk de se hvordan spinnhullet i gyroskopet "Gyroflex" ble automatisk avbalansert ved at en kraftig laser "skjød" vekk små biter av hjulet på akkurat de rette steder. Dette var blant de mest avanserte metoder på denne tiden. Men sterkt inntrykk ga også de kalde (minus flere grader C) stormgufsene med sandstøv i gatene mellom skyskraperne. Overnattingene i 30. etasje i skyskraperen fra 1924 med klaprende utette vinduer i februarstormen blir også husket. Sterkest inntrykk ga kanskje forestillingen "Hair" på FFI-forskerne, der de ble plassert på 1. benk rett foran scenen. Det var Kearfotts markeds mann som spanderte og som hadde bestilt billetter. Denne tidlige 1970-tallsmusikalen med sitt typiske aggressive og provoserende lyd- og bildeuttrykk, gjorde et uutslettelig inntrykk på Johansen og Brodersen fra Skedsmokorset. Brodersen forteller at under det første kvarteret på 1. benk var alt han tenkte på hvordan han skulle komme seg ut av salen i en fart.

Det tok sin tid før PRINS PT1 tok fysisk form. Først måtte man enes om hovedkonfigurasjonen. De stabiliserte siktemidlene skulle ha mekanisk frihet til å stå vinkelmessig i ro (stabilisert) når fartøyet i sjøgang gynget frem og tilbake opptil flere titalls grader i tung sjø. Dette måtte realiseres med en slags kardang-oppheng (motordrevne "bøyer" som kan dreie seg utenpå hverandre om pre-

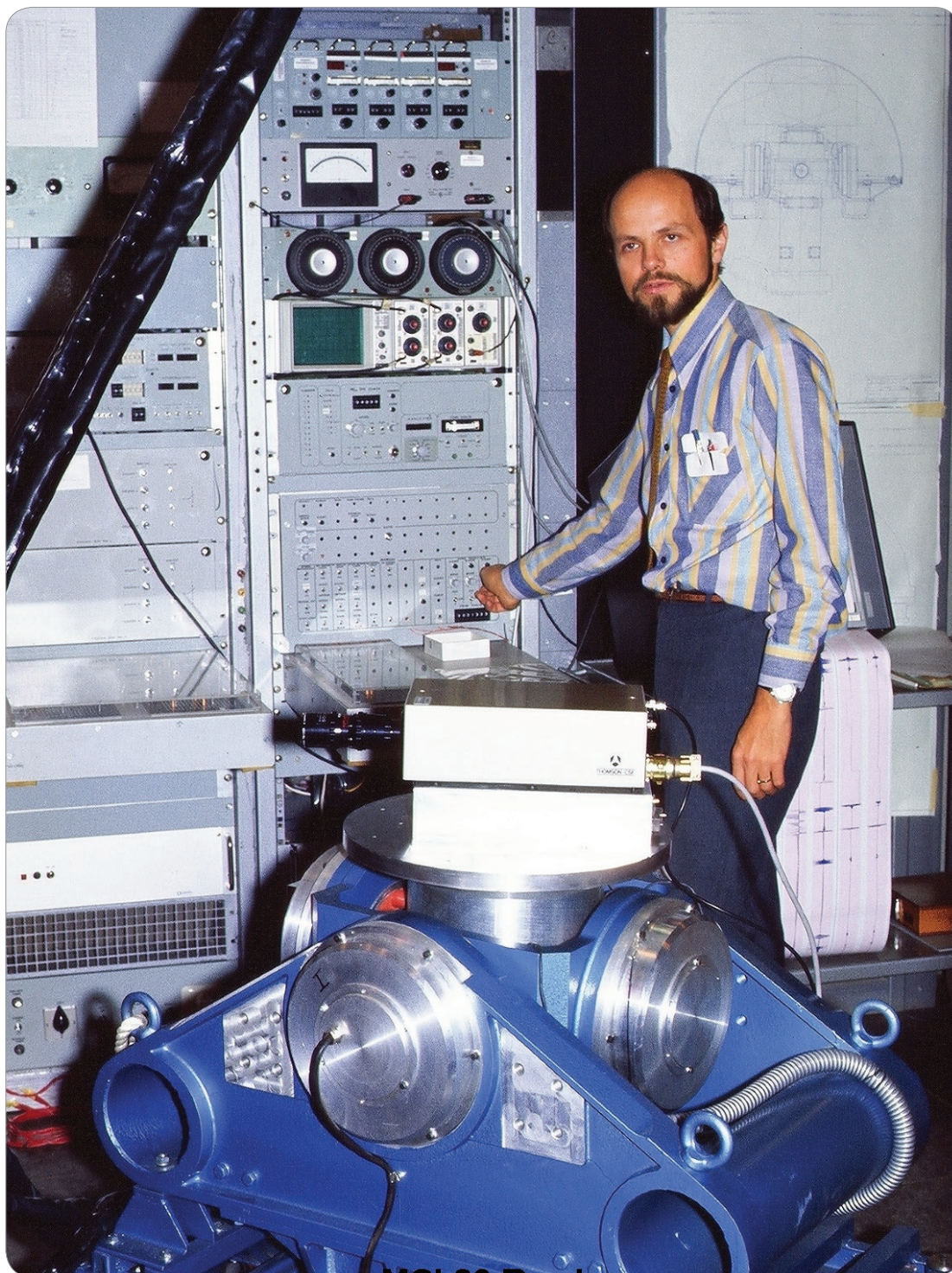
sise akslinger), for å frikoble siktemidlene fra fartøyet rull-, stamp- og girbevegelse. Det finnes flere måter å gjøre dette på med hver sine fordeler og ulemper. Mange løsninger ble skissert og diskutert. Her vises eksempelvis en av Brodersens mange skisser fra høsten 1970. Denne hovedkonfigurasjonen ble livlig diskutert, men ble ikke valgt av forskjellige grunner.



En av Emil Brodersens mange skisser fra 1970.

Monteringshallen i Styrehuset var utstyrt med en kran i taket og en stor port mot nord. Den gang var det fri sikt ut denne porten oppover Riis-lia mot Skedsmo kirke. Kirketårnets geografiske koordinater ble oppmålt og beregnet med stor nøyaktighet. Dermed kunne tårnet brukes som et kjent referansepunkt ved bruk av et videokamera med telelinse montert på PT1. PT1 ble opphengt i krana med kameraet styrt til å peke mot kirketårnet. Ved å gynge plattformen kraftig frem og tilbake og om alle akser i opphenget mens kameraets trådkors hele tiden skulle ligge på kirkespiret, fikk man en god test på plattformens stabiliseringskvalitet. Oppe i Riis-lia nedenfor kirken lå det et stort drivhus på ca. 1 km hold. Vinduene i drivhuset utgjorde 0,05 grader vinkel sett fra plattformen i monteringshallen. Dette vindusmønsteret ble under utprøvingen lenge benyttet som en vinkelskala under utprøving av vinkelstabiliteten ved hjelp av videokameraet.

Et annet eksempel på at en tregheitsplattform har helt spesielle egenskaper, er dens evne til å kunne holde stabil vinkelstilling i forhold til stjernene. Dette så vi tydelig under utprøvingen når plattformen ble stående på uten korreksjoner for jordrotasjonen. Resultatet var at



Emil Brodersen med PT1 slik den sto ferdig satt sammen i monteringshallen i Styrehuset, våren 1973.

videokameraet dreide seg bort fra utgangsstillingen etter hvert som jorden roterte. For de "uinnvidde" så dette ganske rart ut.

PRINS var jo utviklet for å bære og stabilisere en pakke med optiske siktemidler.

Under utprøvingen av PT1 var denne pakken simulert med en jernplate påmontert et videokamera som man ser på bildene. Et viktig spørsmål var hvor store krefter som ble påført plattformen når fartøyet seilte for full fart i sterk motvind. Hvor store momenter



MSI 80 4

Vindmomenter på denne plattform-modellen ble målt med høy fart på Gardermoen tidlig 1973.

måtte momentmotorene i plattformaksene motstå pga. motvinden? For å støtte de beregningene som ble gjort, ble det laget en fullskala modell av plattformen med påmontert modell av en tenkt pakke med optiske siktemidler. Plattform-modellen ble utstyrt med momentfølere i alle aksene for å få målt de vindmomenter som kunne oppstå. Modellen ble så plassert på taket til en innleiet ganske sprek bil, en Mazda med 136 hk Wankelmotor. Så kjørte Erland Nitteberg med spesiell tillatelse til høy fart på Gardermoen og målte vindmomenter.

Resultatene viste at det kunne bli for store momenter pga. vindbelastningen. Dermed ble det bestemt at det skulle utvikles en halvkuleformet vindskjerm, som dekket instrumentpakken og som automatisk alltid skulle snu åpningen i den retningen som de optiske siktemidlene skulle se. Dette var tidlig på året 1973, og vindskjermen ble realisert på

neste prototyp, PT2, som var klar til utprøving i 1974-75.

I hele 1973/74 var PT1 under utvikling og utprøving, delvis i parallell med oppbyggingen av PT2. Eksempelvis ble det utført forsøk der plattformen ble utsatt for en temperatur på -40°C . Siden FFI ikke hadde stort nok klimaskap til å kunne utføre slike prøver ble det leid inn en kjølebil fra en iskremprodusent. Dette virket fint og prøvene kunne foregå nær laboratoriet, slik at eventuelle problemer raskt kunne rettes opp. Men prøvene gikk uten problemer.

Bestandigheten av den nye vindskjermen ble prøvd ut i prøvehallen for flymotorer på Luftforsvarets forsyningskommando (LFK) på Kjeller (her var det riktignok ikke PT1 som ble benyttet men deler av en tidlig versjon av PT2). Plattformen ble plassert et par meter bak motoren på et Orion-fly. Med full gass



på motoren tilsvarte dette en kanonbåt i full fart i motvind av orkans styrke. Resultatet var fullt ut tilfredsstillende og denne type vindskjerm ble benyttet i det videre arbeidet med PT2.

Ut på høsten 1973 kom Ørnulf Kandola med i ledelsen av arbeidet sammen med Brodersen. Brodersen dro ved nyttår 1974 på ett års studieopphold i USA, og Kandola tok da over ledelsen av utprøvingen av PT1 og oppbyggingen av PT2.

Det var en stor fordel å ha en funksjonsmodell som PRINS tilgjengelig. Den representerte "virkelighetens verden" der vi kunne prøve ut egenskaper som til dels bare var kartlagte i en "modellert verden", altså i form av simuleringer. Det resulterte i at den vesle datamaskinen PICO, som var utviklet av Arne Sjøvik, stadig måtte tilføres nye programversjoner ved å dra en hullbåndstrimmel gjennom en egenprodusert hullbåndleser. Minnestørrelsen var på beskjedne 5 kbytes, men rommet, utrolig nok sett med dagens øyne, et omfattende program som kontrollerte en trinnsvis oppstartingsprosedyre og utførte alle navigasjonsberegninger. Heri inngikk et Kalmanfilter for å beregne og kompensere for unøyaktigheter i gyroer/aksellerometre og styre hele systemet på en optimal måte under drift. Så vidt det vites var dette en av de aller første, muligens den første, anvendelse av Kalmanfilter i Norge innen navigasjon.

PT1 ble ofte vist fram til representanter for Forsvaret og til andre besøkende, eksempelvis skoleklasser.

Produksjonsprototypen PT2

Arbeidet med PT2 tok til rundt årsskiftet 1973/74. PT2 ble kalt produksjonsprototyp, siden hovedtanken var at det som her ble utviklet på FFI direkte skulle kunne reproduseres uten etterfølgende og fordyrende produksjonstilpasning.

Dette innebar et svært nært samarbeid med produsenten, KV, og som innebar at vi måtte tilpasse oss KVs måte å arbeide på. Dette gjaldt eksempelvis komponentvalg, reproduserbarhet, utførelse og ikke minst en omfattende dokumentasjon. Det var mange og store frustrasjoner blant medarbeiderne på FFI på grunn av dette.

PT2 var en fullstendig omkonstruksjon, men de grunnleggende prinsipper og tanker fra PT1 ble beholdt. Utviklingen var et samspill mellom ulike fagområder, så som systemkonstruksjon, programutvikling, digitalelektronikk, analogelektronikk, mekanikk og godt håndverk.

På system/simuleringssiden var Ole Ørpen sentral. Kjell Rose foresto utviklingen av programmene i PICO, Bjarne Rolland sto for digitalelektronikk og Fv hadde ansvaret for mekanikkdelen, både for konstruksjon og for produksjon. Her var Olav Fosshaug sentral. Andre medarbeidere var bl.a. Geir Garpe, Thor Holmsen, Jon Buer, Arne Rygh, Dag Songdalen og Idar Stafne. Ørnulf Kandola foresto analogelektronikkdelen og med ansvar for systemoppbyggingen.

PT2 besto av to hovedenheter, en treghetsplattform og et vannkjølt elektronikkskap koplet sammen vha. et sett av solide kabler. Vannkjølingen var nødvendig på grunn av stor varmeutvikling i skapet.

Treghetsplattformen besto av et stort antall mekaniske deler framstilt med til dels svært strenge krav til presisjon. Den høye kompetansen ved FV berømmes og var uvurderlig i denne sammenheng, både i konstruksjonsfasen og ved framstilling. Olav Wangen og Gerhard Berg bidro til at delene ble produsert til fastsatt tid. Gunnar Granlund på målelaboratoriet foresto meget nøyaktig kontrollmåling etter hvert som deler ble produsert. Dette var svært viktig for å sikre at den etterfølgende sammenstilling skulle gå uten problemer.

En sentral problemstilling ved mekaniske servosystemer er å unngå mekaniske resonanser i strukturen. Det var viktig å utforme mekanikkdelene som kunne gi problemer på en slik måte at det ikke oppsto servoproblemer. Fv ved Herbjørn Stenberg og Knut B. Årseth utførte styrkeberegninger i den forbindelse. Det viste seg umulig helt å unngå resonanser, men dette ble løst ved å sette inn nålefilter i servosløyfene.

I arbeidet med å settes sammen delene til større enheter var det nødvendig å beskrive disse til dels kompliserte prosessene nøyere overfor KV, blant annet ved hjelp av stillbilder og detaljerte trinn-for-trinn prosedyrer. Det

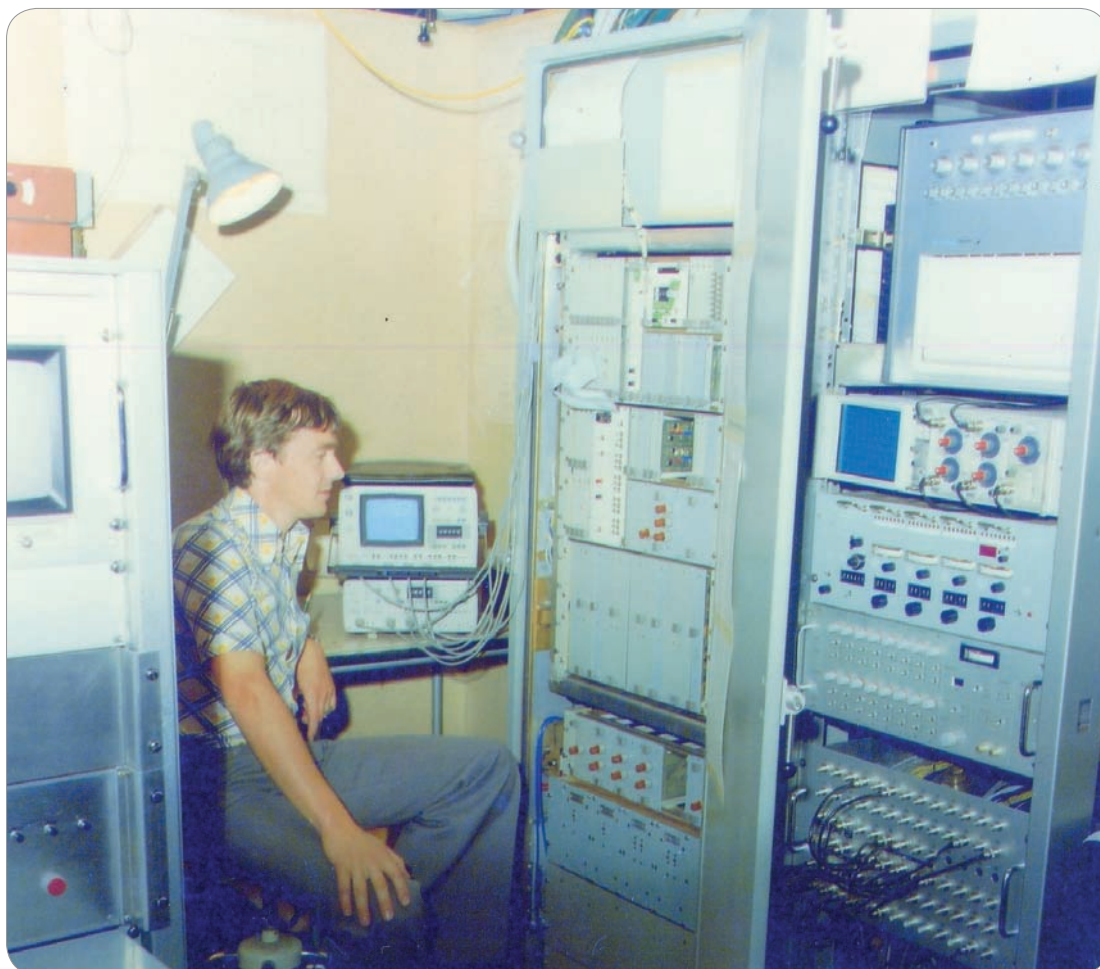


MSI 80 Kandola 2

Treghetsplattformen. Øverst skimtes en enkel sensorpakkevariant med riktig vekt, 100 kg, i form av et jernhjul og med påmontert TV-kamera. Ørnulf Kandola kontrollerer.

ble benyttet sterke fotolamper i arbeidet. I begynnelsen ble en rett og slett "solbrent" før de nødvendige forholdsregler ble tatt!

Elektronikskapet inneholdt nødvendig elektronikk for å drive treghetsplattformen, blant annet en ny PICO, utvidet til å ha en minne-



Elektronikkskapet midt på bildet rommet all elektronikk for å drive plattformen. Til venstre skimtes styrepulten med TV-skjerm. Til høyre registreringsutstyr benyttet under utprøvingene. Bjarne Rolland har full kontroll.

størrelse på hele 15 kbytes (!), spesialutviklet kraftforsyning (i godt samarbeid med firma Tore Seem AS i Oslo), servosløyfeelektronikk og drivspenninger og temperaturregulator for gyroer/akselerometre.

Oppbyggingen til et komplett system foregikk trinnvis og systematisk. Hvert nytt kretskort og andre enheter var nøye testet og beskrevet på forhånd så godt som det lot seg gjøre. Etter innmontering i systemet ble det igjen kontrollert at enheten virket som tiltenkt og - ikke minst - at den virket sammen med de øvrige delene av systemet. Det medførte at vi svært sjelden måtte gå tilbake og lete etter feil på et lavere nivå, hvilket ville være tidkrevende og frustrerende på dette stadium av utviklingen. De få gangene dette skjedde var påstanden oftest at feilen lå utenfor ens eget bidrag. Det lå en god del prestisje i dette! Det resulterte eksempelvis

i at K. Rose, med ansvar for dataprogrammet, feilsøkte i de øvrige elektronikkeneheter for å finne feilen hans rutiner var beskyldt for å inneholde. For balansens skyld må det nevnes at det også var eksempler på det motsatte!

Det ble for øvrig lagt ned mye arbeid og omtanke for å unngå uønskede elektriske koplinger mellom ulike deler av elektronikken. Bakgrunnen for dette var at signalnivåene i elektronikkskapet var høyst ulike. Motorstrømmene var på opp til 30 Ampere og 30 Volt mens andre elektronikkretser arbeidet på μA - og mV-nivåer (en milliontedels ampere og en tusendels volt) og selv en uhyre kortvarig støypuls kunne gi funksjonsfeil på digitalkretsene. Strømløpene på alle kretskortene ble nøye plassert med dette for øyet, og all kabling ble lagt opp etter "nullleder-prinsippet", slik den erfarne Brodersen



hadde dosert før han dro til USA. ("Null-leader-prinsippet" innebærer at ledninger for signal og retursignal plasseres tett sammen ved å tvinne de to lederne.)

Dette arbeidet lønte seg godt, og det oppsto få eller ingen problemer på grunn av dette. Slike koplinger kan ellers lett redusere funksjonsdyktigheten til et system som forøvrig er godt laget.

Etter hvert som systemet vokste kunnes utprøvingen på laboratoriet foregå på et stadig høyere nivå, og en kunne konsentrere seg mer og mer om systemets egenskaper, siden alle undersystemene virket som tiltenkt. En del av systemprøvene var for eksempel å justere de parametrene i dataprogrammet (Kalmanfilteret) som er bestemmende for at oppstartfasen skal bli så rask og presis som mulig. En del av disse prøvene foregikk ved å heise opp treghetsplattformen og la den svinge som en pendel for å etterligne bølgebevegelser. Det må sies at de verdier som var kommet fram via tidligere simuleringer i liten grad måtte endres.

Treghetssystemets hovedoppgave var å stabilisere en elektrooptisk sensorpakke. Utviklingen av denne var KVs ansvar og ikke ferdig på denne tiden. Det ble derfor laget en modell med tilsvarende vekt (100 kg) der det inngikk et videokamera med telelinse som kunne styres ved hjelp av en styrespak ("Joy Stick"). Selv når plattformen dinglede i heisestroppene var det omtrent umulig å se ustabiliteter i bildet, da et siktepunkt på én kilometers avstand tilsynelatende kun flyttet seg noen centimeter.

Arbeidet med å bygge opp PT2 var en stor utfordring og det ville neppe vært mulig å gå så rett på sak uten at det forelå en PT1 der hovedprinsippene var innarbeidet. Den andre utfordringen var å konstruere ulike elektronikkfunksjoner på en slik måte at de kunne reproduseres og -selvfølgelig- gjorde det de skulle på en robust måte. En tredje utfordring var interaksjonen med KV, med kravene til detaljert dokumentasjon og beskrivelser på alle nivå. Planlegging og framdrift var viktig, for på KV sto et tungt produksjonsapparat klar til å ta imot det som ble laget på FFI.

I perioder var nok vi på FFI litt oppgitt over alle detaljene som måtte på plass. Selv om det ble innleid hjelp var belastningen stor på alle medarbeiderne i denne tiden.

På KV var Svein Øderud prosjektleder for MSI 80S, men det var Hermod Fjæreide som var vår sentrale kontaktperson. Hans lune framferd og gode kunnskaper både om KV og FFIs arbeidsmåter var sterkt medvirkende til at prosjektet kom i havn.

Evaluerings

Samtidig med at monteringsarbeidet gikk mot slutten ble det forberedt to evalueringsfaser utenfor laboratoriet: Først en prøveserie på land nær laboratoriet, og deretter realistiske sjøprøver med en kanonbåt. Hensikten med dette opplegget var å finne og raskt kunne rette opp eventuelle feil som ikke viste seg i de mer statiske prøvene inne på laboratoriet før utstyret ble prøvet i sitt riktige miljø.

Emil Brodersen var for lengst tilbake fra studieoppholdet i USA og var med i utforming av prøveopplegget.

Bilprøver

Det ble lånt inn en noe tilårskommen lastebil fra Forsvaret med god plass til en spesiallaget instrumenthytte på lasteplanet. Olav M. Sandberg foresto dette arbeidet med støtte fra FV. Instrumenthytten rommet plattformens vannkjølte elektronikkenskap og annet utstyr som var nødvendig for å overvåke og registrere at plattformssystemet virket som det skulle. Et kraftig aggregat bygget inn i en støydempende kasse utgjorde strømforsyningen. Det ble bygget en spesiell tilhenger for å gi nødvendig hastighetsmåling inn til systemet, tilsvarende den fartsloggen på et fartøy skulle gi. Under prøvene ble hengeren skadet da den ble påkjørt bakfra. Etter først å ha stoppet kjørte vedkommende av en eller annen årsak videre i god fart.

Prøveopplegget foregikk i en forutbestemt løype med innlagte kontrollpunkter for posisjon og retning. Retningsnøyaktigheten ble kontrollert ved å styre videokameraet til å peke på et fjerntliggende siktepunkt, vanligvis et kirketårn. Som oftest ble kirkene i distriktet benyttet både til kontroll av posisjons- og siktenøyaktighet fordi tårnets koordinater vanligvis er bestemt med stor nøyaktighet.



Idar Stafne monterer plattformens kontroll-enhet i prøvebilen.

av teknisk etat i de enkelte kommuner. Siden den grønne lastebilen i denne perioden til stadighet stoppet nær en kirke hendte det ofte at noen i nærheten ble mistenksomme og kom og spurte hva i all verden vi drev med! Prøvene forgikk i Skedsmo-området, til Fetsund og helt til Setskog kirke.



Montering av plattformen på prøvebilen. Fra høyre ses Terje Nøring, Ragnar A. Halgunset, Dag Frydenlund, Emil Brodersen (skimtes bak), Olav Moen Sandberg, Gunnar Granlund, Arne Haugen og Ørnulf Kandola (stående).



Prøvebilen har stoppet ved et referansepunkt merket med et kryss på bakken rett under plattformen og med fri sikt til Skedsmo kirke. Fra høyre Emil Brodersen, Terje Nøring og Ørnulf Kandola.



Det er tidligere nevnt at dette var en anstrengende tid for alle på prosjektet. En inspirerende hendelse som vi alle husker svært godt, var da Karl Holberg dukket opp en ettermiddag og ville både ha en orientering om arbeidet og være med på en prøvetur.

Resultatmessig var prøvene gode. Selv om det var første gang systemet ble prøvd utenfor laboratoriet så medførte de svært få endringer, og vi kunne se fram til sjøprøver med berettiget optimisme.

Sjøprøver

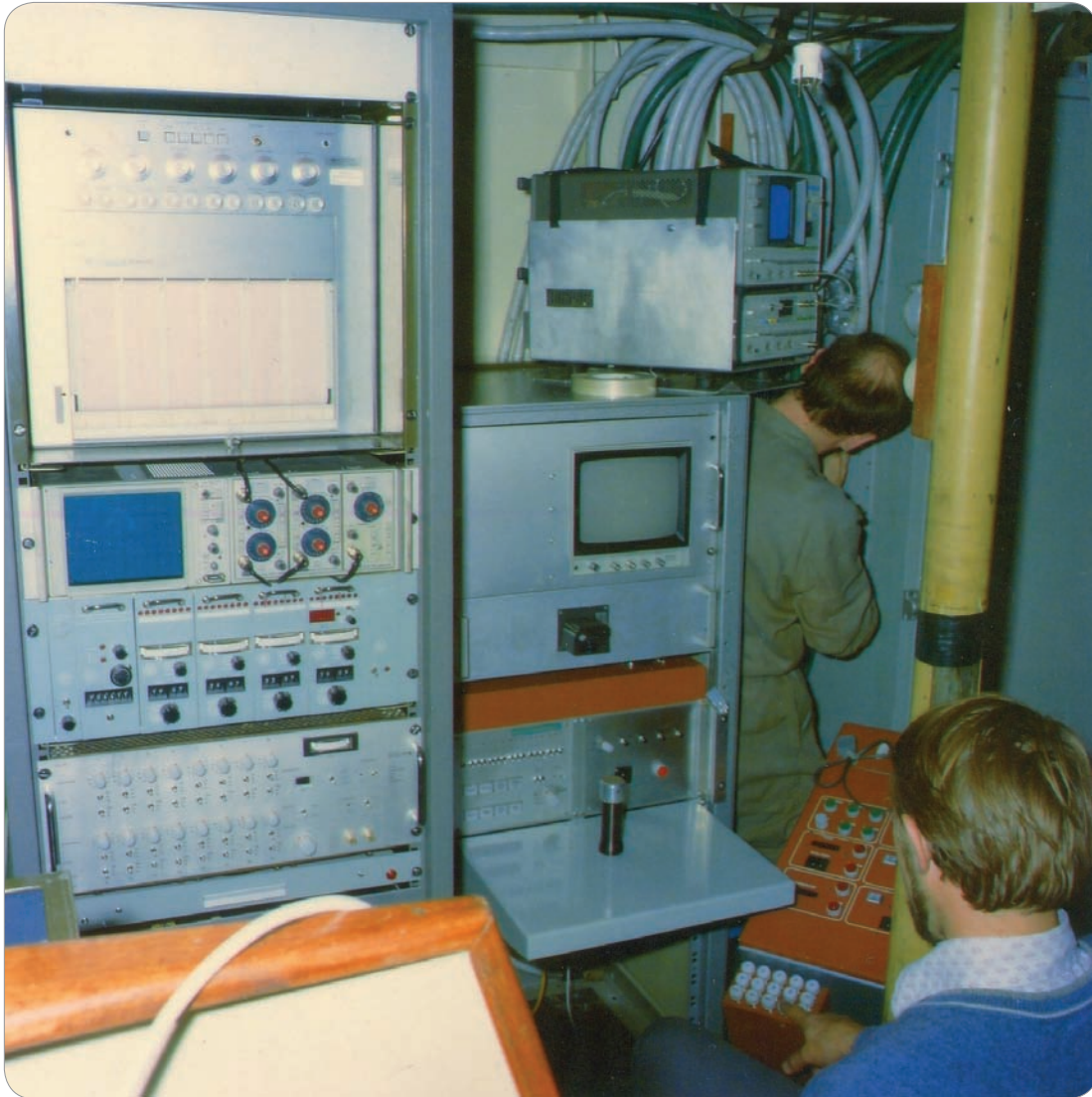
Kanonbåten KNM Tross ble benyttet i denne prøveperiode. Treghetsplattformen ble plassert på fordekket på et solid stativ og all nødvendig elektronikk på mannskapsbanjeren under fordekket. Sandberg foresto

også dette arbeidet på en utmerket måte, igjen med god støtte fra FV. I tillegg til reelle sjøbevegelser var forskjellen fra landprøvene at plattformssystemet nå skulle koples til en "ordentlig" fartslogg. Dette nevnes spesielt fordi loggens egenskaper kunne ha betydelig innvirkning på systemtelsen.

Prøvene foregikk i stor grad utenfor Tananger ved å kjøre i ulike mønstre, eksempelvis rett fram i nord-syd- og øst-vestretning for at typiske systemegenskaper skulle framheves best mulig. Andre deler av prøvene foregikk i havområdet utenfor Haakonsværn. Det var en spesiell opplevelse å se på det stabiliserte videobildet mens en selv knapt kunne holde seg fast når sjøen grov. Når fartøyet gikk med god fart fikk en det som benevnes "bunnslag" og som utsatte både personer og utstyr for store påkjenninger. Kandola husker at han



Montering av plattformen på fordekket på KNM Tross ved kai i Haakonsværn. Fra venstre Olav Moen Sandberg, Idar Stafne og Ørnulf Kandola.



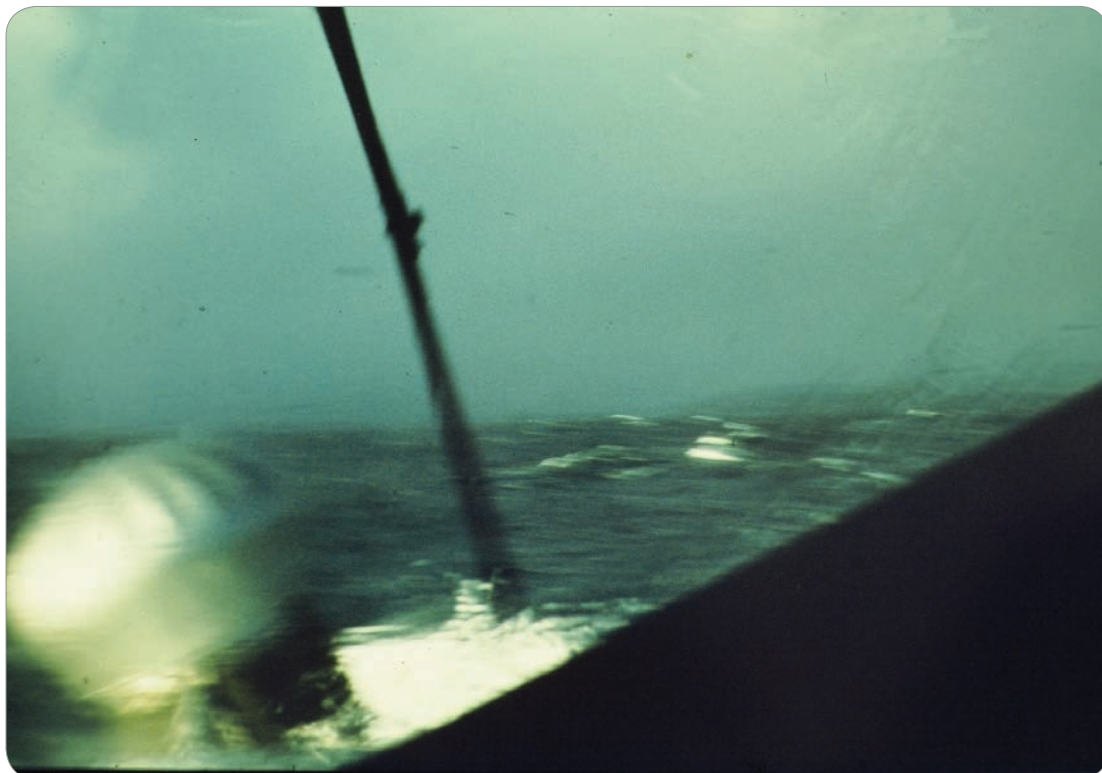
Montering av elektronikkskap under dekk i mannskapsbanjeren. Idar Stafne (bakerst) og Ørnulf Kandola.

skulle trykke på en knapp på operasjonspanelet idet det kom et slikt bunnslag, og fingeren traff 20-30 cm under knappen. Det kom godt med å kunne tåle sjøgang i slike situasjoner. Ikke alle medarbeiderne var like sterke i så måte!

En gang kom prøvene i direkte konflikt med skipssjefen. Det var under et oppstartingsforsøk, og plattformen var i ferd med å slutføre dette, men Ole Ørpen ville beholde nåværende kurs bare litt til for å få med avslutningen. Da lød det klart fra skipssjefen "nå brekker vi av"! Det Ørpen ikke visste der han satt, var at fartøyet nesten var oppe i fjæresteinene!

Hovedformålet til treghetsplattformen var som tidligere nevnt å stabilisere elektrooptiske sensorer. En annen, mindre vektlagt funksjon, var at systemet også kunne brukes til navigasjon. Under prøvene i skjærgården utenfor Bergen visste navigatøren en gang tilsynelatende ikke hvor han var. Ved å lese av systemets posisjon og vise den på sjøkartet ble også nytten av denne funksjonen demonstrert. Sett med dagens øyne og utstyr var det ikke noe unikt i dette, men den gang var det ganske uvanlig.

Betydelige datamengder fra prøvene var for øvrig innsamlet og ble i hovedsak bearbeidet og analysert av Terje Nøring.



Plattformen ble prøvd i til dels dårlig vær, her utenfor Marsteinen ved Bergen.



Torolf Rein, senere forsvarssjef og deretter styreformann i FFI i perioden 1995-2003, manøvrerer sensorpakken og følger konsentret med på TV-skjermen. Ørnulf Kandola stående.

Også sjøprøvene ble gjennomført uten at de tilsa at vesentlige endringer var nødvendig, og kun begrenset til justeringer i dataprogrammet for tilpasning til fartøyets fartslogg. Dette var jo ikke prøvd tidligere. Det var grunn til å være tilfreds med systemarbeidet som var utført "bak skrivebordene" i Styrehuset på FFI, og samsvaret mellom simulert og erfart ytelse.

Sjøprøvene hadde på en realistisk måte vist at systemet oppfylte satte spesifikasjoner, og at det var modent for å kunne produseres for bruk i de nye kanonbåtene av Hauk-klasse.

Det må også nevnes at FFI, som en del av kontrakten, foresto opplæring av personell fra Sjøforsvaret slik at de igjen kunne under vise og vedlikeholde systemet. Undervisningen foregikk over flere uker og var svært så omfattende, fra teori om treghetssystemets virkemåte til gjennomgang av alle funksjoner og hvordan de i detalj var realisert.



Treghetsplattform med sensorpakken, men uten værdom og sidedekslar.

Ryktene sier at dette tekniske kurset, med bidragene fra KV og FFI (REX og Treghetsplattformen), var så godt at flere av kursdeltagerne kunne benytte sine basiskunnskaper til å finne seg gode stillinger utenfor Forsvaret.

Bidragstere: Emil Brodersen, Godtfred Nymark, Ørnulf Kandola, Nils Holme.

NAVKIS

NAVKIS (Navigasjon, Kommando, Kontroll og Informasjons System) ble utviklet for bruk i de kommende nye kystvaktfartøyer av Nordkapp-klassen. I tillegg til KKI-funksjon (Kommando, Kontroll og Informasjons System) for både overflate- og luftmål skulle NAVKIS romme et integrert navigasjonssystem.

FFI foresto utviklingen av det integrerte navigasjonssystemet i et samarbeid med KV, og hadde MSI 80S-systemet som utgangspunkt. Som i det foregående prosjekt, MSI 80S, var også i NAVKIS forskningssjef H. K. Johansen en sentral drivkraft. Arbeidet startet i oktober 1977, med avslutning i februar 1981 og med en personellinnsats på noe over 30 forsker/ingeniørår.

FFIs bidrag besto av to deler:

- Utvikling av treghetsnavigasjonssystemet MINAS (Maritime Inertial Navigation System)

- Utvikling av det integrerte navigasjonssystemet

I MSI 80S var det et krav at det som ble utviklet på FFI i svært stor grad skulle kunne gå rett inn i produksjonsprosessen ved KV. Dette medførte en uvant og krevende arbeidsform på FFI. Et fåtall personer måtte dekke et stort spenn både i arbeidsoppgaver og ikke minst i å utarbeide detaljert dokumentasjon. Det var åpenbart at dette ikke var riktig måte å bruke FFIs ressurser på. I NAVKIS ble således kravene moderert. FFI skulle riktignok forestå en produksjonsvennlig utvikling, men kravene var ikke så bastante og omfattende som i MSI 80S-tiden. I en fortløpende kontakt med KV skulle FFI formidle nødvendig informasjon, slik at KV kunne opparbeide tilstrekkelig kompetanse og innsikt i det som ble laget, så de selv kunne ta de siste skrittene inn i produksjonsfasen. Siden begge parter bidro med leveranser som skulle samvirke var det helt nødvendig at utviklingen både på KV og FFI foregikk på en systematisk og ryddig måte.



Vår konklusjon var at denne form for arbeidsdeling mellom KV og FFI var fruktbar og fornuftig og passet godt for begge parter. Ingen savnet fraværet av de frustrasjoner som i perioder rådde under arbeidet med MSI 80S da FFI måtte gå svært langt i retning av å produsere komplett produksjonsunderlag.

Som i MSI 80S-tiden var Hermod Fjæreide den ved KV som i hovedsak var vår kontaktperson og som igjen bidro til et positivt samarbeid. Han ble godt støttet av Sigmund Sundfør og Tor Liaaen på programvaresiden. Prosjektleder på KV var Svein Øderud.

MINAS prototyp

En treghetsreferanse er en sentral komponent i moderne våpen- og navigasjonssystemer, og FFI så et behov for en mer generell og betydelig mindre treghetsreferanse enn MSI 80S-plattformen, som var laget for å bære en elektrooptisk sensorpakke på inntil 100 kg.

Ved FFI var det utført studier av navigasjonssystemer for undervannsbåter, og det var nok først og fremst en anvendelse i undervannsbåter vi så for oss da vi startet utviklingen av MINAS. MINAS var i stor grad basert på komponenter og løsninger fra MSI 80S men med enkelte forbedringer for å få bedre ytelse. Hovedforskjellen mellom MSI 80S-plattformen og MINAS var at MINAS var betydelig mindre og at mikro-

datamaskinen PICO ble erstattet av KVs nye minidatamaskin KS 500.

Prototypen ble utviklet på kort tid. Det gjaldt å kunne demonstrere en prototyp slik at MINAS kunne inngå i en utvikling av våpen- og navigasjonssystemer. Ørnulf Kandola ledet utviklingen, mens Ernst Kristiansen hadde ansvaret for digitalelektronikk og Kjell Rose hadde ansvaret for programvaren. Konstruksjon og produksjon av de nødvendige mekanikkene foregikk på FFIs fellesverksted, (Fv).

Som i MSI 80S-perioden berømmes Fv, med Odd Garberg som sjef, for høy kompetanse og evne til å produsere komplisert presisjonsmekanikk.

MINAS-plattformens viktigste del, stabilelementet, var montert i et tre-akset kardangoppheng (kalt gimballer) og stabilisert om de tre aksene vha. gyroer og servosløyfer, slik at det ble stående horisontalt og rettet mot nord. På stabilelementet var det også montert to akselerometre for måling av akselerasjoner langs nord-syd-aksen og øst-vest-aksen.

Plattformen er primært en akselerasjons-sensor. Når man kjenner initiell posisjon, hastighet og akselerasjonens retning, kan man ved integrasjon av akselerasjonene fortløpende bestemme farkostens hastighet og posisjon. Plattformen var også en nøy-



Kystvaktfartøy av NORDKAPP-klassen, her KNM NORDKAPP.



MINAS prototyp under bilprøver. Ragnar Halgunset måler kursnøyaktighet med teodolitt.

aktig kursreferanse (uten magnetisk misvisning) og vertikalreferanse. Vinklne mellom stabilelementet, målt med vinkelmålere på de tre gimballene og skipet er lik skipets rull-, stamp- og kursvinkler. Disse vinklne benyttes til stabilisering av ildledningssensorer og våpen.

MINAS-prototypen besto av fire hovedenheter:

- Kongsberg KS 500 datamaskin
- Alfanumerisk dataskjerm
- Odometer eller logg
- Plattformen

KS 500 var en 16-bits minidatamaskin med dataprogram for styring av plattformen og for navigasjonsberegningene. Instruksjonssettet inneholder bl.a. instruksjoner for behandling av flytende tall. Til sammenligning ble det i MSI 80S benyttet en FFI-utviklet mikrodatabitmaskin, PICO, for tilsvarende funksjoner. PICO-programmet var skrevet i assemblykode, og det ble besluttet å gjenbruke dette for MINAS-prototypen. Programmet ble oversatt fra PICOs assemblykode og tilpasset anvendelsen i prototypen.

Operatørkommunikasjon med systemet foregikk via dataskjermen. Ved oppstartingen av plattformen må operatøren taste inn posisjon og kurs før han taster inn startkommandoen. Dataskjermen viste systemets kurs, hastighet og posisjon og en del andre

data for å gi innsyn i de ulike variable.

Plattformen er ustabil når den er overlatt til seg selv, og navigasjonsdata vil være overlagret langsomme svingninger (benevnt Schulersvingninger med periode på ca. 84 minutter). For å dempe slike svingninger, benyttes det ekstern hastighetsinformasjon. Normalt hentes den inn fra fartøyets logg men ved bilprøver ble det benyttet et odometer i form av en tilhenger med distansemåler tilkopleet et av hjulene.

Prototypen var ferdig og ble demonstrert i mai 1978. Det ble så videre valgt å benytte MINAS i det integrerte navigasjonssystemet NAVKIS til de nye kystvaktfartøyene. Det var en stor fordel i å ha en egenprodusert tregheitsplattform og således ha full innsikt i og kontroll med samspillet mellom plattformen og det øvrige navigasjonssystemet.

En produserbar versjon av plattformen ble utviklet. Hovedforskjellen mellom MSI 80S-plattformen og MINAS lå i betydelig redusert størrelse og vekt, fra ca. 400 kg til ca. 30 kg.

I NAVKIS skulle navigasjonsdatamaskinen for det integrerte systemet også benyttes til styring av plattformen. Det ble derfor valgt å erstatte prototypprogrammet med et nytt program tilpasset det integrerte systemet.



Etter å ha gjennomgått statisk uttesting på laboratoriet ble MINAS montert på en spesialutrustet lastebil. Nøyaktigheten av MINAS ble målt ved å kjøre langs fastlagte ruter med stopp på sjekkpunkter med kjente koordinater. Kursnøyaktigheten ble kontrollert med en teodolitt montert på MINAS og ved å sikte mot kirketårn. Kirketårnene er lett synlige på god avstand og er posisjonsbestemt med stor nøyaktighet. Kjøreturene foregikk i distriktet med FFI som base i løpet av en syv ukers prøveperiode oktober/november 1978.

Det er ikke optimalt å utføre siktavhengige prøver i Kjeller-området på denne tiden av året, for noen dager var tåken plagsom tett for sikteforsøk. Da var det ekstra interessant å kunne utføre prøvene med et improvisert kartsystem basert på X-Y-plotter og kart. Det ga et helt annet inntrykk av nøyaktighet når posisjonene ble tegnet i sann tid på kartet enn ved å se på tall for lengde/breddegrad, og vi kunne med et blick raskt sjekke at systemet fungerte som det skulle. Ofte var nøyaktigheten så god at vi kunne se på hvilken side av veien vi kjørte!

Formålet med bilprøvene var å verifisere riktig ytelse av plattformen i et dynamisk miljø.

Med bakgrunn i erfaring fra MSI 80S-referanseplattformen skulle et godt resultat fra bilprøvene også gi god sikkerhet for korrekt ytelse ombord i fartøy.

Det integrerte navigasjonssystemet

Det var satt høye krav til at det integrerte navigasjonssystemet skulle gi pålitelige posisjonsdata og således være robust overfor feilmålinger i de enkelte navigasjonssensorene. I årene 1976/77 ble det på FFI derfor utført omfattende studier av systemstruktur, pålitelighet og nøyaktighet (H.K. Johansen, Tore Smestad, Ole Ørpen, K. Rose, Arne Sjøvik, Ernst Kristiansen). Navigasjonssystemet ble på denne bakgrunn satt sammen av et sett med sensorer som hadde både ulike og overlappende egenskaper: Treghetsplattformen MINAS, gyro, logg, radionavigasjonssystemene DECCA og LORAN C og satellittnavigasjonssystemet Transit. I tillegg kunne systemet ta inn peilinger fra optiske sikter, posisjon fra en operatør, og det var forbedret for GPS, som på den tiden var i en tidlig utviklingsfase.

Målingene fra de ulike sensorene ble knyttet sammen via flere Kalmanfiltre, en filtertek-



Fra utprøvingen på laboratoriet i Styrehuset. Dag Jarfonn holder oppsikt med MINAS, i forgrunnen, Transit-mottakeren til høyre, i midten Loran-C øverst, Decca nederst. Systemet kontrolleres fra Tandberg-terminalen til venstre i bildet.



Eksempel på data fra laboratorieprøver. Kurvene angir område for antatt usikkerhet ved bestemmelsen av egen posisjon. Den grønne sirkelen omkranser antatt område for egen posisjon ved oppstart (innenfor ca 2 km). Blå ellipse framkommer ved å kople til målinger fra Decca eller Loran C. Den fiolette ellipsen viser ytterligere forbedring ved peiling mot et punkt med kjente koordinater. Til slutt mottas nøyaktig posisjon via en satellitmottaker (Transit), rød sirkel.

nikk som baserer seg på matematisk modellering av systemet og statistiske modeller av sensorenes nøyaktighet. Kalmanfiltre har tidsvarierende forsterkninger som gjenspeiler den vekt som tillegges de enkelte navigasjonssensorene.

Både MSI 80S og MINAS-prototypen hadde benyttet en fast konfigurasjon av sensorer, og tidsforløpet av forsterkningene kunne derfor beregnes på forhånd og legges inn i systemet som en enkel funksjon av tiden.

NAVKIS skulle være et integrert system hvor man skulle kunne gjøre seg nytte av flere systemer som hadde varierende tilgjengelighet avhengig av operasjonsområdet og tid på døgnet. Vi måtte med andre ord benytte et fullstendig kalmanfilter som tok hensyn til tilgjengelige målinger.

Oddvar Hallingstad kom til FFI i 1977 og fikk ansvaret for utvikling av kalmanfiltrene. Fra modellering av feilkildene i treghetsnavigasjonssystemene var vi vant til å arbeide med feilmodeller, men nå var det utvidet kalman-

filter som gjaldt, og feilmodellene ble innplassert i en mer generell ramme. Den eneste praktiske forskjellen var at enkelte tilstander skiftet fortegn, og at vi nå hadde en mer systematisk metode til å holde styr på fortegnene. Kalmanfiltre benytter tidsvarierende kovariansmatriser for å beskrive usikkerheten i systemet. Disse matrisene er symmetriske og små forskjeller i ledd som matematisk skulle være like kan ved beregningene i datamaskin gi opphav til numeriske ustabiliteter. Vi fikk derfor besøk av Gerald J. Biermann med bakgrunn fra Jet Propulsion Laboratory i USA, som lærte oss en metode han hadde utviklet for å unngå slike problemer, kalt UD-faktorisering. Algoritmene ble implementert i FORTRAN og testet ut på vår nyanskaffede Nord 10-maskin. Deretter ble algoritmene overført fra Nord 10 til KS 500 og verifisert på nytt. Neste trinn var en implementering av algoritmene i programmeringsspråket MARY på KS 500 og ny verifisering. Utviklingen av navigasjonssystemet kunne deretter foregå med garantert feilfrie kalmanfilteralgoritmer.



Parallele kalmanfiltre

Det var satt høye krav til systemets integritet. Tore Smestad utviklet en metode med parallelle navigasjonsløsninger og automatisk overvåking og sammenligning av løsningene. Det ble således beregnet fire parallelle navigasjonsløsninger, en komplett løsning, og tre løsninger som hver ekskluderte en av hovedsensorene. Man kunne derved unngå at feil i en enkelt sensor påvirket alle filtrene i negativ retning. Problemet var å bestemme hvilket av de fire filtrene som viste riktig løsning. Dette ble løst ved å la mindretallet bestemme: ved feil i en sensor så ville et flertall på tre av filtrene bli påvirket noenlunde likt og forskjellen mellom disse tre og det fjerde filtret vil etter hvert bli så betydelig at overvåkingssystemet reagerer og utgangene fra det riktige filtret blir benyttet.

Laboratorieprøver

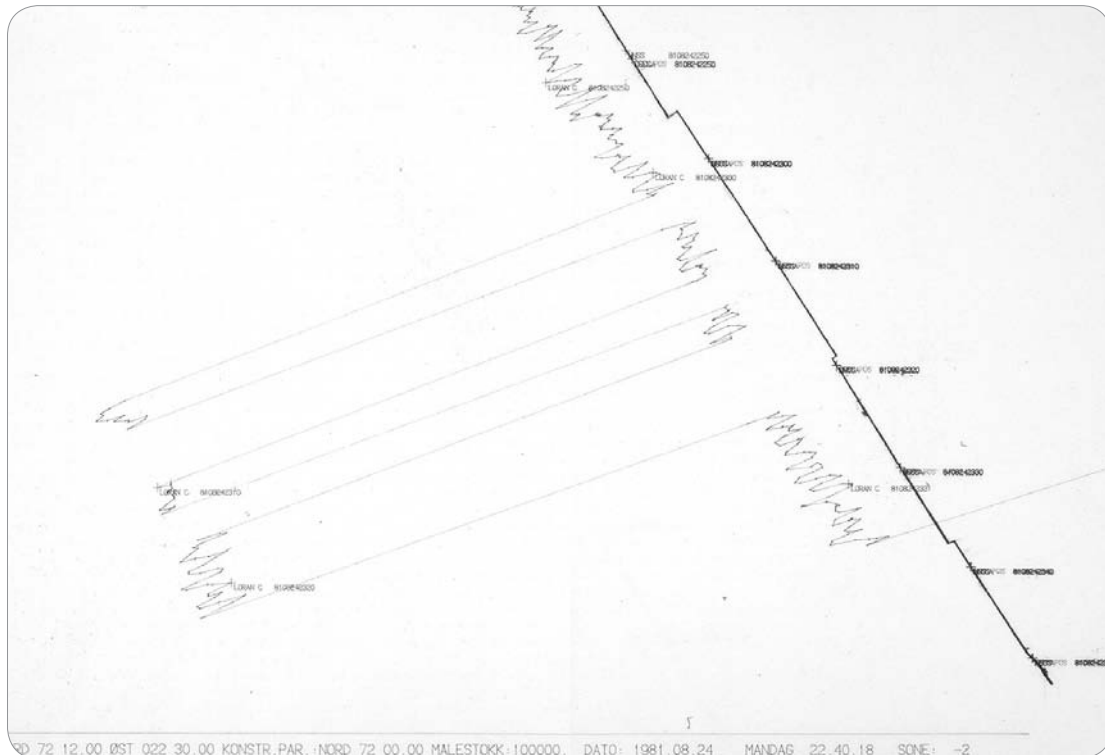
For å prøve ut det integrerte systemet var det helt nødvendig å benytte reelle navigasjonssensorer, og det ble derfor i Styrehuset bygget opp en prøvestasjon sentrert rundt MINAS. MINAS var sentral

her fordi den skulle holdes oppdatert med data fra den beste navigasjonsløsningen.

De aktuelle sensorene ble utlånt fra KV og bestod som nevnt av mottagere for DECCA, LORAN C og satellittnavigasjonssystemet Transit. I tillegg kunne vi simulere logg, gyrokompass, optisk sikting samt manuell innsetting av posisjon i de tilfellene en operatør visste nøyaktig hvor han var. De nødvendige antenner var plassert på taket på Styrehuset. Navnet Styrehuset passet ekstra godt i denne sammenheng.

I dette prøvemiljøet foregikk et stort antall prøver for å verifisere at selve dataprogrammet virket som tiltenkt og at systemet håndterte feilsituasjoner på en riktig måte når navigasjonssensorene ble koplet inn/ut.

Den formelle overføringen til KV skjedde etter at det var gjennomført omfattende akseptanseprøver, "Factory Acceptance Test", kort benevnt som "FAT". Prøven ble først gjennomgått på FFI i april, 1980, mens den formelle FAT ble utført på KV i mai 1980.



Eksempel på posisjonshopp fra Loran C. Den tynne kurven viser posisjon fra Loran C og den tykke kurven viser posisjonen fra det integrerte navigasjonssystemet. Det integrerte systemet overser posisjonshoppene fra Loran C. Merk de små brå endringer i den tykke kurven. Det skyldes nøyaktige posisjonsoppdateringer fra Transit.



Fartøyprøver

Da NAVKIS var ferdig på KV (det rommet som nevnt ikke bare det integrerte navigasjonssystemet) ble det i regi av KV montert om bord i det nye kystvaktfartøyet K/V Nordkapp. FFI var med på disse prøvene, som til dels foregikk langs hele norskekysten og helt opp til Ny Ålesund på Svalbard.

To episoder huskes spesielt godt: Det var ikke noe 9 til 4 arbeid å følge med at systemet oppførte seg som planlagt. En søndag morgen tørnet Kandola inn kl 0400 og så fram til en rolig søndag formiddag. Om lag klokken ni om morgenen gikk brannalarmen uten at han reagerte, fordi alarmen hadde gått flere ganger i dagene forut når mannskapet øvde på brannprosedyrer. Like etter på sivet det sur røyk inn i lugaren! Denne

gang var det et virkelig branntilløp på grunn av selvantennelse i noen oljefiller.

En annen gang, mens kystvaktskipet patruljerte på grenselinjen mellom den gang Sovjetsamveldet og Norge, så dukket det opp et sovjetisk oljeboringsfartøy. Det ble en del oppstyr på broen og navigasjonssystemet var brått i sentrum. Nøyaktig hvor lå grenselinjen der på det åpne havet? Ville det andre fartøyet komme til å krysse grenselinjen? Hva skulle fartøysjefen da foreta seg? Skipsledelsen tok direkte telefonkontakt til Utenriksdepartementet, antagelig for å be om råd. Det hele gled over uten problemer, men der og da kjentes det absolutt ut som at en var involvert i hendelse av stor politisk betydning.

Bidragstere: Ørnulf Kandola, Kjell Rose.

HURTIGBÅTCKOCKPIT

Bakgrunn

På våren i 1990 ble FFI kontaktet av Kværner om muligheten for samarbeid innenfor teknologi for hurtigbåter. Kværner hadde på dette tidspunktet kjøpt opp en rekke verft, bl.a. Kværner Fjellstrand, som var verdens ledende produsent av sivile hurtigbåter for fergetrafikk. Kværner hadde store ambisjoner om fremtidige leveranser av fartøyer til Sjøforsvaret og ønsket derfor et samarbeid med FFI.

En ny type foilkatamaran hurtigbåt var under utvikling hos Fjellstrand, FoilCat, som skulle ha en marsjfart på 50 knop, og navigasjon og utforming av broa ble ansett som et kritisk punkt for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet. FFI var i gang med konseptarbeider for nye MTBer (som senere fikk navnet Skjold-klassen) hvor det å gjennomføre operasjoner uten egenutstråling under stor fart i trange farvann var en viktig ambisjon. Dette satte store krav til sikker og nøyaktig navigasjon. Det var altså sammenfallende behov på sivil og militær side, og samme type teknologi kunne i stor grad benyttes ("dual-use"). Det ble derfor besluttet å inngå et samarbeid.

Et forprosjekt ble igangsatt med en arbeidsgruppe bestående av representanter fra

Kværners sentrale ledelse, Kværner Fjellstrand, Kværner Eureka og FFI for å utrede rammene for en utvikling av et brosystem av cockpitttype. Fra FFI deltok Johnny Bardal og Karsten Bråthen i dette arbeidet. Konklusjonen var at det både var teknologisk og markedsmessig grunnlag for et utviklingsprosjekt, og arbeidene ved FFI kom så smått i gang mot slutten av 1990. Prosjekt 605, "Integrert bro for hurtigbåt" med Karsten Bråthen som prosjektleder, ble formelt startet 1. mars 1991 med tre års varighet. Etter en vurdering av potensielle industrielle samarbeidspartnere besluttet Kværner-ledelsen å opprette en gruppe ved Kværner Eureka, Automasjonsseksjonen på Tranby, for utviklingsprosjektet.

Utviklingsarbeidet ble delt i to deler. Den første delen besto i å utvikle en forenklet versjon som skulle installeres om bord på Kværner Fjellstrands FoilCat, mens resten av forsknings- og utviklingsarbeidet var tilknyttet Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Forskningsråds (NTNFs) program for Maritim IT og hadde som målsetting å utvikle et prototypsystem installert om bord i en hurtigbåt. De teknologiske målsettingene var å automatisere, integrere og utvikle ny teknologi, som skulle gjøre det mulig for én person å seile



sikkert i stor fart (over 50 knop) under alle forhold i kystfarvann.

Det ble også inngått et samarbeid mellom Kværner Fjellstrand og FFI om foilstyringssystemet til FoilCat.

FoilCat

FFIs bidrag til brosystemet til FoilCat var å etablere systemarkitektur, utvikle elektronisk sjøkartsystem, (Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)), tilpasset hurtigbåt og utvikle navigasjonsfunksjonen. FFI bidro også med fysisk utforming av broen og med å etablere prinsippene som skulle ligge til grunn for utformingen av menneske-maskin-kommunikasjonen.

Bygging av simulator/prototyp

Dette ble en svært hektisk periode, da leveransen allerede skulle skje i august 1991. Deler av 1. etasje i Styrehuset ble bygget om, og et laboratorium ble etablert for å huse en simulator/prototyp av broen. Denne simulatoren/prototypen ble det sentrale punktet arbeidene dreide seg om gjennom hele prosjektet. I løpet av prosjektet var det



Ansvarlig forskningssjef Henry Kjell Johansen og prosjektleder Karsten Bråthen i laboratoriet på Styrehuset. I forkant av bildet ses panel og manøvreringsstikke i armlenet for betjening av brosystemet.

uttallige gjester innom laboratoriet, med Kong Harald som den mest fornemme.

Valg av datamaskiner

På den tiden fantes bare noen få vektoriserte digitale sjøkart fra Norges Sjøkartverk (NSKV) i deres eget prøveformat. Sjøkartverket laget noen kart for oss over området rundt verftet som vi kunne bruke i prosjektet. Valget av datamaskiner, utviklingsomgivelser og programmeringsspråk var ikke opplagt. Målet var oppdatering av kartet minst en gang i sekundet på store (29 tommer) høyoppløslige (1240 x 1024 pixel) skjermer. De fleste maritime elektronikkleverandører hadde på denne tiden sine egne datamaskin- og kommunikasjonsløsninger. Det ble gjort et noe dristig valg ved å satse på hyllevare. Den valgte løsningen baserte seg på UNIX arbeidsstasjoner og TCP/IP Ethernet. Da vi hadde behov for høy grafikk ytelse valgte vi Silicon Graphics arbeidsstasjoner med sann-tids-UNIX C++ som programmeringsspråk. Såkalte objektorienterte spesifikasjons- og designprinsipper ble tatt i bruk for senere å kunne gjøre de utvidelser og modifikasjoner som en så for seg. Disse valgene gjorde det mulig å utvikle en versjon på svært kort tid og representerte et teknologisk skifte i forhold til det som ble benyttet av industrien. Victor Nicolaysen, sammen med Ingvar Koppervik, Bente Jensløyken Meland og Tore Smestad, sistnevnte engasjert som konsulent i prosjektet, var sentrale i programvareutviklingen. Bård Tokerud bidro også ved teknologivalgene.

En god del av arbeidet dreide seg om å oppnå ytelsen som var satt som mål. Selv om Silicon Graphics sine arbeidsstasjoner var det ypperste når det gjaldt grafikk, var det flere ting som måtte gjøres for å få til god nok ytelse, f.eks. ble "dobbel buffering" (to grafikklagre som ble skrevet i annen hver gang) benyttet for å oppnå en kontinuerlig presentasjon, og de digitale sjøkartene måtte bearbeides for å utnytte grafikkprosessoren best mulig. Bl.a. ble kartcellene satt sammen for å oppnå en sømløs presentasjon, og alle polygoner (en øy kunne f.eks. være representert av et polygon med mer enn 30 000 punkter, noe som betydde at avstanden mellom hvert punkt var mindre enn 20 m) splittet opp i konkave polygoner med mindre enn 512 punkter, som ble overført



Victor Nicolaysen benytter simulatoren/prototypen av hurtigbåtcockpiten ved FFI.

til grafikkprosessoren som trekanten hvor påfølgende trekanten hadde to av hjørnene felles. Frode Langset var krumtappen i dette arbeidet, mens Gunnar Arisholm hjalp til med å utvikle algoritmen, som delte opp polygonene.

I tillegg til å vise fram sjøkartene, inneholdt det elektroniske sjøkartsystemet ruteplanlegging, grunnstøtingsvarsel og presentasjon av andre skip detektert på radar, samt andre hjelpefunksjoner, som f.eks. avstands- og peileberegninger. Beregning og presentasjon av egen posisjon i sjøkartet var basert på gyrokompass, logg, samt differensiell GPS (Global Positioning System).

Ny utforming av broen

I forhold til konvensjonelle brosystemer representerte også selve broutformingen noe nytt. Multifuksjonsskjermer ble tatt i bruk, og disse ble betjent fra et panel som ble plassert i førerstolens armlene. Prinsippene for å betjene systemet var i stor grad de samme som for en vanlig datamaskin ("pek og klikk"). De tradisjonelle manøvreringshendlene for vannjetene ble erstattet med en manøvreringsstikke, som også ble plassert i stolarmen. Denne gjorde det lettere å manøvrere båten, spesielt til og fra kai. Stikka ble også benyttet for å styre autopiloten.

Internasjonal oppmerksomhet

Systemet var det første i sitt slag i verden, installert om bord i en hurtigbåt, og etter iherdig innsats ble det vist fram under den store Nor-Shipping konferansen og utstillingen i Oslo i juni 1991. Systemet skapte en del oppsikt, og det var mange positive tilbakemeldinger. Internasjonal fagpresse skrev bl.a.:

"Integrated bridge systems from Kværner proved to be the highlight of Nor-Shipping, as far as fast ferries were concerned". (Fast Ferry International).

"An impressive feature of Nor-Shipping was the integrated electronic bridge system for fast ferries and at last it looks as though someone is coming to grips with the problem of how to control and navigate these ferries safely at high speed" (WBW).

Overlevering av prosjektets bidrag til Kværner og uttestingen om bord i FoilCat gikk stort sett greit, og det ble ikke avdekket flere feil og mangler enn det man må forvente i et slikt utviklingsprosjekt. Siden dette var en første versjon, kom det selvsagt opp mange forslag til forbedringer og utvidelser, og disse ble det arbeidet med også utover i 1992. Det var en del slit med å oppnå den ønskede ytelsen når det gjaldt rask nok oppdatering av kartet, men dette ble også løst etter hvert.



Programmet for Maritim IT

Etter hvert som arbeidene med brosystemet til FoilCat avtok, ble prosjektets innsats dreid om arbeidene i Maritim IT-programmet. Som nevnt var dette et treårig såkalt brukerstyrt forskningsprogram, som NTNF startet i 1991, og som de viktigste aktørene i maritim næring i Norge deltok i. Kværner Eureka dekket brosystemer for hurtigbåter i programmet, og FFI var deres samarbeidspartner på forskningssiden. Programmet hadde en totalramme på 170 Mkr, mens hurtigbåtbro-prosjektet var på ca. 16 Mkr. Selv om målsettingene med arbeidene var å installere en prototyp av en cockpit om bord i en hurtigbåt, dekket Maritim IT-programmet bare utarbeidelse av nye konsepter og spesifikasjoner. Parallelt ble det derfor arbeidet med å få til finansiering av utviklings-, test- og evalueringsfasene av arbeidene som en statlig forsknings- og utviklingskontrakt i Statens nærings- og distriktsutviklingsfond (SND).

Ytterligere integrasjon og automatisering

Selv om brosystemet for FoilCat var et skritt i riktig retning, hadde en mange forslag til nye funksjoner både for å gjøre navigasjonen mer nøyaktig og pålitelig, og for å avlaste føreren ytterligere. Stikkordene var ytterligere integrasjon og automatisering, samt mer avansert presentasjon for føreren.

Som et utgangspunkt for de teknologiske arbeidene, ble typiske og atypiske hendelser under ruteplanlegging og forseiling av sivile og militære hurtigbåter beskrevet og analysert, for å forsikre seg om at man hadde tilstrekkelig operativ forståelse og forankring av de teknologiske arbeidene. Dette arbeidet ble gjort i samarbeid med MARINTEK, en referansegruppe med teknisk/operativt personell fra hurtigbåtredier og offiserer fra KNM Tordenskjold.



Fra prototypelaboratoriet i Styrehuset.

Fra venstre: Karsten Bråthen, Tore Smestad, Ørnulf Kandola, Frode Langset, Bente Jenslækken Meland, Wictor Nicolaysen, Morten Urdahl, Berit Jahnsen.



Ny navigasjonsmetode

En ny navigasjonsmetode for bruk i kystfarvann ble utviklet, inspirert av fly-/missilnavigasjon. Den var basert på terrengreferert radarnavigasjon ved at radarbilder ble sammenholdt med kart på en slik måte at avvikene mellom dem ble minimalisert. Både simuleringer og beregninger gjort på registrerte radarsignaler viste at det var mulig å oppnå en posisjonsnøyaktighet i samme område som sivil GPS, som den gang var ca. 100 m. For å lette bruken av radar, ble det utviklet en metode for kombinert presentasjon av radarbilde og sjøkart på samme skjerm, ved at radarbildet ble lagt transparent over sjøkartet og at de delene av radarbildet som var sammenfallende med land, ble tegnet i en nedtonet farge i forhold til de delene av radarbildet som dekket sjøoverflaten. På den måten ble det mye enklere å tolke og se ting i radarbildet. Navigasjonsradarene var heller ikke tilpasset hurtigbåter, så prosjektet utledet nye krav til navigasjonsradarer om bord i hurtigbåter. Det ble også gjort innledende studier av hvordan ARPA (Automatic Radar Plotting Aid), kunne utvides til å gi forslag til unnamanøvre ved detektert kollisjonsfare.

På tilsvarende måte som radar, arbeidet prosjektet med bruk av lysforsterkende kamera, eventuelt IR-kamera, for militære fartøyer for trafikknavigasjon i mørke. Igjen ble det utviklet konsepter med å presentere kartdata, og f.eks. andre skip detektert på radar i videobildet, for å lette tolkningen av det.

De nye presentasjonsformatene som ble utarbeidet var avhengig av en nøyaktig og robust navigasjon. Uten det ville de ikke gi noen mening. Det integrerte navigasjonssystemet som sørget for dette var basert på Kalmanfiltrering, hvor hovedsensoren var GPS. De estimerte bevegelsesdataene, som det integrerte navigasjonssystemet beregnet, ble også benyttet som inngangsverdier til styringssystemet, hvor det ble utviklet en rutestyring som baserte seg på tradisjonell PID-regulering (Proporsjonal-Integral-Derivat-regulering).

Alle de nye metodene som ble utviklet ble implementert i laboratorieprototypen og testet ut der. I tillegg til det som er nevnt over ble det også eksperimentert med bruk av "head-up"-display og syntetisk utsyn, som imiterte en elektronisk "vei" på sjøen. Det ble gjen-

nomført forskjellige forsøk med prototypen. Bl.a. var bevaring av førerens nattsyn et viktig tema ved innføring av multifunksjonsskjermer. En metode ble utviklet, og forsøk ble gjennomført for å måle svekkelse av nattsynet ved forskjellig antall, lysstyrke og plassering av skjermer. Det viste seg at plassering av skjermene var en viktigere faktor enn det en hadde trodd på forhånd. Det var Pål Wiik, Avdeling for miljøtoksikologi (Avd TOX), som var hovedpersonen i disse forsøkene.

I tillegg til de som er nevnt under FoilCat deltok Berit Jahnsen, Paal Skaaren-Fystro, Ørnulf Kandola og Morten Urdahl i arbeidene under Maritim IT-programmet.

Avslutning av våre arbeider og hva som har skjedd siden

Etter at brosystemet til FoilCat var levert overlot Kværner mye av forsknings- og utviklingsarbeidet til FFI, mens de selv var mest opptatt av å industrialisere og lage produkter av det utviklingsarbeidet som lå til grunn for FoilCat-systemet. Selv om det var stor optimisme når det gjaldt utvikling av hurtigbåtmarkedet da samarbeidet startet, ble markedet sterkt svekket på første del av 1990-tallet. Kværner rettet seg derfor også inn mot konvensjonelle skip. Dette førte til at Kværner ikke hadde nok ressurser til å nyttiggjøre seg resultatene fra FFIs arbeider. De var, som de sa, "redd for at lokomotivet skulle gå fra vognene". I siste halvdel av 1993 ble derfor arbeidene ved FFI trappet ned, uten at man hadde fått til en installasjon om bord i en hurtigbåt. Båten en hadde i tankene var prototypen for de nye MTB-ene (Skjold-klassen), men da var det ikke interesse for at bro og navigasjon skulle være noe man prøvet i prototypbåten. Prototypen ble allikevel til slutt utstyrt med et brosystem fra Kværner, men uten at FFI deltok i dette.

Arbeidene med hurtigbåtcockpit pågikk i en forholdsvis kort og intens periode. Det var korte tidsfrister og lange dager. Resultatene fra arbeidet ble, i tillegg til utnyttelse av Kværner, senere nyttiggjort internt ved FFI da krav til navigasjon og bro ble utredet i prosjektene "Ny MTB" og "Ny fregatt" (Fridtjof Nansen-klassen).

Fra den spede begynnelsen i 1991 vokste aktiviteten hos Kværner, og det ble etablert



en egen resultatenheter, "Kværner Marine Automation" da Kværner Ships Equipment ble etablert i 1993. Hele Kværner-konsernet gjennomgikk en mildt sagt turbulent periode på slutten av 1990-tallet, som førte til at Kværner Marine Automation ble solgt til Hitec Marine Automation i 1999.

Antallet medarbeidere på Tranby har gjennom 1990-tallet vært mellom 40 og 50, og de har i skrivende stund (oktober 2000) levert ca. 120 brosystemer til både hurtigbåter og konvensjonelle skip. Som en spin-off av arbeidene er det også levert mellom 1200 og 1500 ECDIS-enheter. De har kontrakt om levering til oppdatert Hauk-klasser MTB og den nye Skjold-klassen. Den svenske Visby-klasser korvetten er utstyrt med bro- og navigasjonssystemet i tillegg til to andre svenske korvetter. Kartsystemet som FFI utviklet inngår også i firmaet Navtek i Horten sitt system for radarovervåking av kystfarvann. Dette systemet er installert i Sjøoperasjonssenteret ved Forsvarskommando Nord-Norge og er også bl.a. levert til Finland for kystovervåking der.

Bidragster: Karsten Bråthen.



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

