

Fra Forsvarets forskningsinstitutt

HISTORIE

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



Elektrooptikk

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 Egil 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

Elektrooptikk

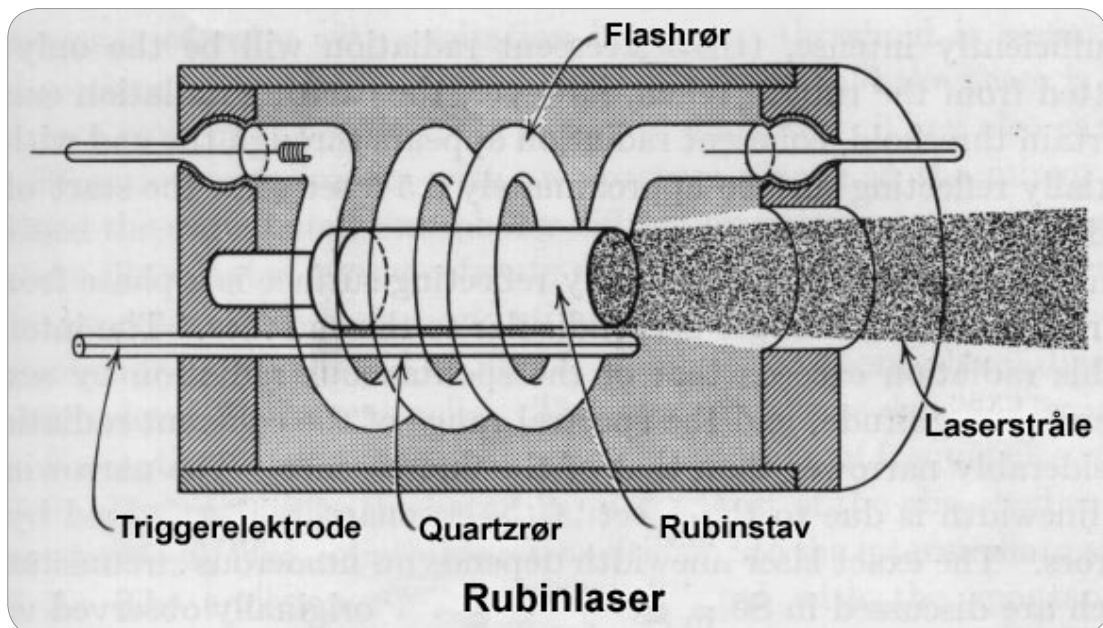
Elektrooptikk ble etter hvert et viktig fagfelt på FFI. Det var et felt hvor instituttet hadde svært liten erfaring i begynnelsen av 1960-årene. Det var i første rekke utviklingen av infrarød målsøker og laser høydemåler for sjømålsmissilet Penguin som gjorde det nødvendig å bygge opp kompetanse på dette området. Siden kom bl.a. laser avstandsmåler for Feltartilleriet og IR-kamera for Sjøforsvaret. Utviklingen av elektrooptisk utstyr ved FFI la også grunnlag for etablering av elektrooptisk industri i Norge.

LASERTEKNOLOGI

Hvordan startet det egentlig? At FFI kom i gang med eksperimentelt laserarbeid allerede i 1962 var så avgjort, og bare Tycho Jægers fortjeneste. Men noe skjedde på forhånd. I juli 1960, etter en spennende innspurt, fikk Theodore Maiman, en ingeniør ved Hughes Research Laboratories, en rubinlaser – mot de flestes formodning – til å virke. Maimans rubin, et svakt kromdopet, lyserødt safirkrystall (Al_2O_3) et såkalt 3-nivå lasersystem. Mer enn halvparten av alle kromionene må eksiteres fra grunntilstanden og samles på ett energinivå for å oppnå netto forsterkning, som er første betingelse for en LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Terje Lund forteller: “Laseren var ikke bare en oppfinnelse, den var en fantastisk vitenskapelig revolusjon! Vi visste jo om at den “var der”. Lyn Gordons pistol ligner til forveksling Maimans laser. Lasere var så klart av militær interesse.”

Tycho Jæger fikk med seg komponenter til en rubinlaser i USA og fikk den faktisk til å virke – i hvert fall av og til. Lund opplevde det som student i et auditorium på Norges Tekniske Høgskole (NTH). Han forteller: “Tycho hadde rigget til på kateteret og oppfordret den sterkt motiverte forsamlingen til å se på veggen til høyre. Bang, sa det, da helix-flashrøret utladet de sikkert mange hundre joulene fra kondensatoren. Det lille rubinkrystallet, som



Slik så Maimans – og Tychos laser ut.



var forsynt med speilbelegg i begge ender, men altså litt gjennomskinnelig til høyre, gjorde sitt beste. "Så dere det?" sa Tycho. Ja, sa vi, men jeg så ikke noe. Kanskje blunket jeg akkurat da. Slik begynte det.

Tycho ga meg tilbud om diplomoppgave på FFI i faget radioteknikk. Jeg husker det ennå. Bjarne Storm, tidligere FFI-forsker og da, i 1962, professor i radioteknikk (med antenner som speciale) og Tycho. Jeg husker jeg hilste på Bjarne Storm for første gang da. Etter to år med faget. En gjeng i vår klasse syntes læremidler og lærere i noen fag var såpass støvete at vi valgte å studere i en kollokviegruppe i stedet. Noen av kollokviantene havnet på det nye Avdeling for elektronikk (Avd E), det var Arne Solesvik, Hans Jakob Fossum og jeg. Litt senere kom flere fra NTH til det som skulle bli en lasergruppe, blant annet Svein Otto Olsen (senere Kanstad) fra fysikkavdelingen."

Terjes diplomoppgave var en av flere oppgaver som Tycho Jæger engasjerte nye studenter i. Gunnar Wang var der allerede fra 1962. Gunnar tok hovedfag ved Universitetet i Oslo (UiO). Emnet virket mystisk den gang: Optisk frekvensdobling. Laserlysets høye intensitet og de tilhørende ekstreme feltstyrker gjorde at polarisasjonen i et medium kunne få betydelige 2. ordens komponenter.

Forsøk med HeNe-laser – og mer

Terje Lund husker godt forsøkene på å få en Helium Neon-laser til å lyse med to plane speil – bare for å oppleve hvor vanskelig det var, før Boyd og Gordon ved Bell Labs i 1961 beskrev Connes oppfinnelse; den stabile, konfokale Fabry-Perot resonatoren, på en slik måte at det faktisk ble ganske lett å få det til – "lasing".

Terjes diplomoppgave omfattet bygging av og forsøk med en såkalt "giant pulse" rubin laser. Dersom "lasingen" undertrykkes ved å holde tapene i resonatoren høye under "pumping" blir forsterkningen i lasermediet (rubinstaven) svært høy. Om tapene da hurtig (i løpet av noen få nanosekunder) fjernes, eller resonatorens Q-verdi økes (derav uttrykket Q-switching) vil den høye netto forsterkningen gjøre at all lagret energi omvandles til en kort og ekstremt intens lyspuls – en "giant pulse". "Vi gjorde det med en såkalt Kerr-

celle," sier Lund. "Vi målte pulsenergi på 40-50 milliwattsekund (mJ) med et hjemmelaget "Rats Nest" calorimeter og estimerte største effekt til minst 1,8 megawatt (MW). Tenk på det – megawatt! Det var STORT og fantastisk, men effektivt var det ikke. Vi "pumpet" laseren ved å utlade en 500 μF kondensator, som var oppladet til 2000 volt gjennom flashrøret, altså med 1000 Joule elektrisk energi."

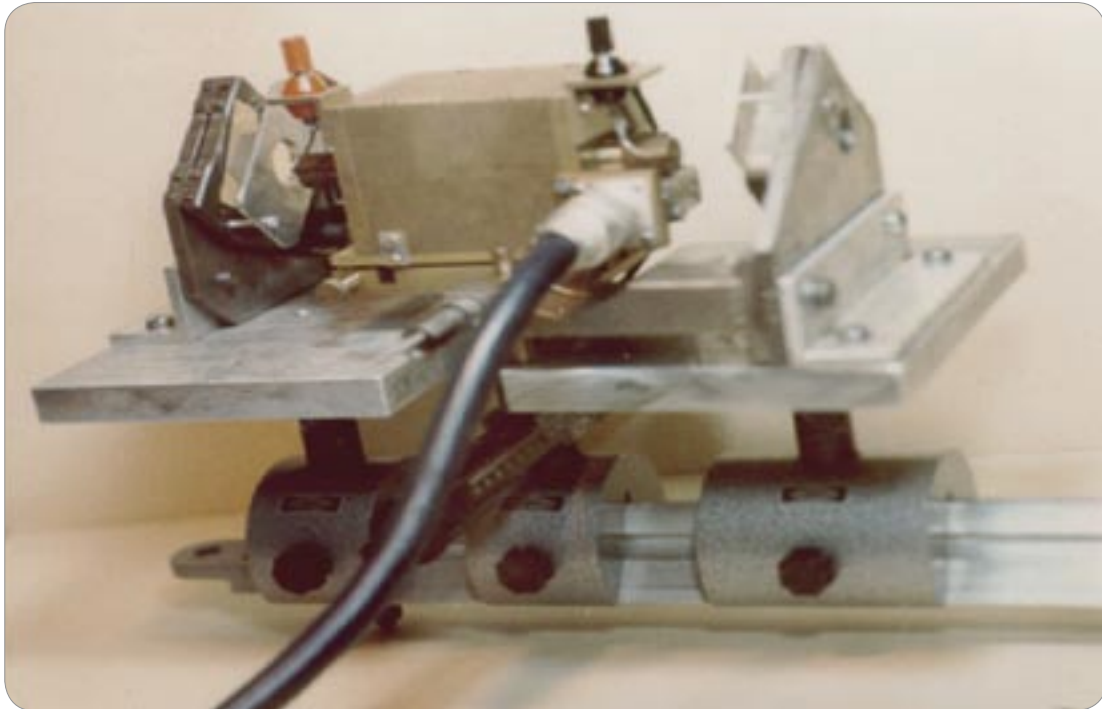
Laseren ble brukt i avstandsmålerforsøk – som "colidar" (coherent light detection and ranging) og til eksperimenter i samarbeid med Rikshospitalets øyeavdeling ved professor Ivar Hørven. Laserlys fokuseres godt og er svært farlig for øynene. De studerte laserinduserte skader på netthinnen til Blue Beaver kaniner bl.a. for å få informasjon om hvor mye lys som skulle til for å gi synlige skader. Det er senere etablert rigorøse internasjonale regler for lasere og øyesikkerhet. Problemet har, spesielt for militære anvendelser, motivert for utvikling av "øyesikre" lasere, som opererer på en bølgelengde som absorberes i øyevæsken og som derfor ikke kan skade netthinnen.

På jakt etter plane speil

En laser kan bare være så god som kvaliteten på krystallet – og speilene. Speil var den gang en plan gassplate med et reflekterende belegg på. På 1960-tallet lå det fremdeles store mengder tyske militære etterlatenskaper lagret rundt omkring. Bl.a. var det et stort lager med diverse optikk, kikkerter, periskopkikkerter osv. i fjellet like innenfor Grorud. Det lå noen gedigne seks meters optiske avstandsmålere i snøhaugen hos en skraphandler på Strømmen. Et slikt instrument, som baserer seg på å skarpstille (stereo) med seks meter mellom "øynene", har en planparallell kompensasjonsplate i den ene armen. Tysk kvalitet, dvs. planhet bedre enn $\lambda/20$ (en tyvendedels bølgelengde) og parallellitet bedre enn ett buesekund. Platene ble kuttet i mindre biter og brukt til speil for de aller første lasere.

Laserspeil fremstilt på tynnfilm-laboratoriet

Glassplatene ble belagt med flere dielektriske filmer med optisk tykkelse $\lambda/4$, avvekslende med høy og lav brytningsindeks. Teknologien,



En av de første lasere på FFI.

som fikk frem speil med samme refleksjonsegenskaper over hele speilarealet, ble utviklet på Avd E av Christian Holm og Erling Skogen på 1960-tallet, primært for å lage effektive optiske filtre for Penguinsøkeren. Laserspeilene ble gjerne laget for en eneste bølgelengde, noe som gjorde strukturen relativt enkel. Lavindeksmaterialer var gjerne fluorider (magnesiumfluorid, kryolitt (natriumaluminiumfluorid)) og høyindeksmaterialene oksyder (SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2). Etter hvert ble det viktig å få til speil som tålte høy effekt og energi, dvs. lave optiske tap, lave spenninger og evne til å tåle ekstreme temperaturendringer. Holm lagde et enestående og legendarisk høyeffektspeil med TiO_2 (en krystallform som kalles rutil og har en brytningsindeks på 2,6) og radioaktivt (α -partikler) thoriumfluorid.

Hologram på optisk bord av Alta-skifer

“Det første skikkelige optiske bordet vi hadde, var en svart plate av Alta-skifer, som veide ca. 400 kg”, forteller Lund. “Vi la den på et laboriebord i kjelleren på Avd E. Bordet sto på en trestamme, og under denne la vi fire oppumpede bilslanger for å avkople/dempe vibrasjoner i huset (heisen, gangtrafikk etc.). På dette bordet lagde vi, i 1963

eller 1964, som del av diplomoppgaven til Jon Anders Aas, kanskje det første hologrammet i Norge. Scenen var en gruppe hvite terninger – et typisk hologramobjekt. Vi brukte en HeNe laser (ca. en milliwatt) og en Kodakfilm (glassplate) med hastighet på 0,002 ASA. Oppløsningen var tilsvarende god, 2000 linjer pr millimeter, minst. Vi startet eksponeringen ca. kl 2100 om kvelden, listet oss ut og slo av laseren først neste morgen. Resultatet ble nesten perfekt. Vi hadde svært mye glede av det hologrammet.”

Arbeid med laser avstandsmåler starter

Arbeid med å utvikle en avstandsmåler ble initiert i 1965. Det fantes da prototyper for ulike militære anvendelser under utvikling i mange land, men veien frem til et brukbart operativt system, godkjent av alle relevante instanser, er alltid svært lang og kronglete, men det skremte ikke Tycho. Norges fortrinn var at vårt byråkrati nok var bitte lite sammenlignet med våre “konkurrenters”.

Høsten 1964 deltok Lund på en IEE-konferanse i London: “Lasers and their applications”. Firmaet Barr & Stroud presenterte sin “bærbare” avstandsmåler. Den veide ca. 20 kg (pluss energiforsyning/batterier) og



målte til 10 km med fem meters nøyaktighet. To viktige ting i tillegg husker han også, det første var møtet med John Midwinter og Peter Forrester fra Royal Radar Establishment i Great Malvern, forskere som lasergruppen siden har hatt mye god kontakt med og – en post deadline opplysning om et fargestoff som kunne virke *som passiv Q-switch – cryptocyanine*. Det var jo selve løsningen: En celle med passende mengde fargestoff, løst f.eks. i nitrobenzene, ga en laser med høy terskel, men idet "lasingen", på tross av høye tap, startet, ble fargestoffet i cellen "bleket" av laserlyset og tapene forsvant – altså en Q-switch, enkel og genial. Lund fikk med seg fargestoff hjem og skremte vettet av kjemiavdelingen med uvøren behandling av nitrobenzene (som er ganske så giftig). Det virket, men det var dessverre ikke alltid svaret. Etter hvert fant de at mange fargestoffer kunne "blekes", blant annet cola, kaffe og te.

Ut for å få impulser

Sommeren 1965, to måneder etter at Terje Lund fikk sin første sønn Håkon ("*..det første barn i Norge generert ved stimulert emisjon*", som Tycho skrev i Håkons dåpsgave, Snorres Kongesagaer) fikk han delta på sommerskole på Imperial College i London: "Image theory and optical systems design". Lærer var den legendariske H. H. Hopkins. Han var også beryktet for sin "sjokkerende" frittalenhet og på-kanten-historier. "Hopkins introduserte oss til bølgeoptikk og "wavefront aberrations". "Det var et fint år", sa Lund.

Flere laserrelaterte oppgaver

Det ble etter hvert flere som jobbet med laserrelaterte oppgaver, mer eller mindre fast knyttet til FFI, men fortsatt mest studenter. Tycho hadde ikke da noe eget laserprosjekt, men Penguinprosjektet vokste seg stort og sterkt, og deljobben "Missilsøker og IR", som Tycho ledet, talte alene ca. 40 mann. Det fantes ressurser til initiativ i prosjektet, og det ble oppmuntret til det, særlig av avdelingssjef Karl Holberg, som var en inspirator.

Arne Solesvik arbeidet med halvlederlasere som høydemåler i Penguin. Missilet rullet og skulle fly lavt, og refleks fra sjøen var ingen triviell ting. Gunnar og Arne gjennomførte forunderlige studier av refleksjon fra sjøoverflaten fra høye broer i hele Sør-Norge.

Testing av avstandsmåler

Avstandsmålere av "giant pulse"-typen kan som nevnt ikke brukes overalt på grunn av faren for øyeskader. Det er fare for netthinneskade dersom du skulle være så uheldig å se på laseren mens den lyser på deg og spesielt om du ser med kikkert. En måtte derfor tenke seg om. Overlegent hyppigste mål når det ble testet fra taklab'en på Avd E, der mye av arbeidet foregikk, var spiret på Skedsmo kirke, 2010 meter fra nordre vindu i taklab'en. En gang det ble demonstrert for en spesielt skeptisk gjest ble de bedt om å skifte mål – kanskje telleren var satt fast på 2010 meter? Et spir med værhanne på en gård i nordvestlig retning ble pekt ut, og avstanden dit ble målt til 2010 meter! Det stemte jo, fant de ut etterpå.

Ellers var gruppen på ekspedisjoner for å finne gode målesteder for avstandsmåleren. Det ble "skutt" fra verandaen til Gunnar eller enda bedre fra Vestmarksetra mot Nesodden under Sunnås. Sollihøgda mot Drammensmarka var et annet sted.

Mange unge og markante mennesker var innom lasergruppen. Ulf Corneliusen, UiO, så på Ramanspredning fra is, så tidlig som i 1966. Svein Otto Olsen fra NTH fysikk, bygde i 1964 en gyro basert på en HeNe laser. Den ble vist på svært tidlig norsk fjernsyn. Tycho blåste sigarrøyk så laserstrålen skulle bli synlig. Tor Arne Hanssen, senere Fjeldly og senere professor på UNIK (Universitetsstudiene på Kjeller) tok også diplom i gruppen. Senere kom bl.a. Otto Benestad, som i 1971 jobbet med intern frekvensdobling i en Nd:YAG laser. Hugo Parr var innom som soldat. Per Christian Weatherstone trakk, i 1974, sammen med FFIs eminente glassblåser Jan Knudsen, de aller først riktige optiske fibre i Norge og målte på dem. For å nevne noen fra den første tiden.

Ikke bare laserteknikk

Jæger var sentral også sosialt. Minneverdig var en storslått fest hjemme hos Tycho og Irma på Bøler ca. 1966. Irma Salo Jæger er en meget kjent billedkunstner og mange kulturprominenser var naturlig nok til stede: Den svenske kulturattacheen, malere og andre kunstnere osv. Tycho hadde instruert oss, og alle hans "elever" innøvde teaterscenen i "En midtsommernattsdrøm". Innøvd

og (for sikkerhets skyld) spilt inn på bånd. Da selskapet var rimelig bedrøkket opplyste Tycho meget troverdig at han hadde vært så heldig å få tak i Shakespeare Memorial Theatre, en ganske avansert engelsk trupp som var på turne i Norden. Dette var på den tiden da "happenings" i nesten alle former virkelig var "in". Alle – absolutt alle kulturuttrykk skulle tas imot med helt åpent sinn. Innslaget ble en legendarisk suksess, akkurat så eller enda mer ubehjelpelig kaotisk og helt og holdent rart som den svært åpne forsamling hadde ventet seg.

Ellers var gruppen noen ganger hjelpere når Irma hadde sine ofte ganske spektakulære separatutstillinger. Det var spesielt to som huskes. Den ene på Henie-Onstad-senteret på Høvikodden, der Harald Schiøtz hadde laget et system som med lyd styrte et spill langs to akser, slik at en laser tegnet kompliserte klanglige figurer på veggen. Norges første lasershow? Den andre utstillingen som huskes spesielt var i Kunsternes hus,

annen etasje til høyre og øverst i trappa. Der hadde Irma laget en fantastisk stjerne/kube av plexiglass som var trukket med polariserende filmer og belyst fra flere kanter. Den hang i en "usynlig" tråd, en fiskefortom, og dreide fritt rundt. Lunds bidrag var knuten på fortommen, en ekte fiskeknute.

Laser avstandsmåler som FFI-jobb

20. mars 1967 ble avstandsmålerarbeidet en jobb på FFI, jobb 206-E/134. Jobbleder var Tycho Jæger, og målet var å bygge fire stk. eksperiment modeller for feltprøver. Laser avstandsmåler ble nå sett på som en svært aktuell komponent i et komplett ildledningssystem for Feltartilleriet, et system som fikk navnet Odin (se "Ildledningssystem for Feltartilleriet" i denne serien). De teknisk svært ambisiøse mål for Odin gjorde at også avstandsmålerjobben fikk et jobbråd med entusiastiske og kunnskapsrike brukerrepresentanter helt fra starten. Spesielt viktige



Terje Lund gjør forsøk med laser avstandsmåler på Hjerkinskinn – uten bladvotter.



Gunnar Wang (til venstre) og Tycho Jæger sikter inn målet.

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. "En sigareske – maks", sa han.

"Det jeg husker best", sier Lund, "fra det som i dag fortøner seg som et ganske amatørmessig arbeid, var de lange kveldene i kjellerlab'en for å få ting til å virke, og feltprøvene på Hjerkin. Det var kaldt, svært kaldt, også i OP-hytta. Vi hadde store, fine saueskinnspluser. Elektronikken som skulle tenne flashrøret (og som lagde en masse støy) var ikke testet ved så lave temperaturer: Røret tente ikke! Det var ganske kritisk, målet var utpekt – en stor stein, ca. to km fra OP-hytta og ca. fem km fra standplass. Flere generaler og andre viktige personer var klemt inne i OP-hytta. Tycho holdt foredrag og jeg trykket på knappen, en lysende bryter i enden av en kabel. Ved tredje forsøk fungerte det (spenningen over kondensatoren økte litt mellom hvert tennforsøk viste det seg senere). Gnisten ble kraftigere, avstand og retning ble

avlest og meddelt standplass pr. telefon, så kom granaten og steinen gikk i tusen biter! Treff uten innskyting."

Rapporten fra Hjerkinforsøkene, forfattet bl.a. av Didrik Cappelen og Gunnar Wang, har nr. IRE-139 (1969).

Inngrep med norsk industri

Så kom Tychos store og, skulle det vise seg, viktige innsats for å engasjere norsk industri i lasere og laser avstandsmålere. Etter flere forsøk i det "militærindustrielle kompleks" i Norge havnet ballen hos Simrad Optronics, som fikk i gang en virksomhet på taklaboratoriet på Avd E til å begynne med. En av deres dyktigste konstruktører/mekanikere ble knyttet til arbeidet, og det ble ansatt medarbeidere, hovedsakelig fra FFI. Etter en kort periode med Dagfinn Jahr som leder, gikk Alf Solbakken fra servomiljøet i Styrehuset til Simrad Optronics og ble direktør der. Peter Kaspersen ble også med og ble etter hvert en nøkkelmedarbeider.



Laser avstandsmåler NM 81 utviklet for Feltartilleriet og produsert ved Simrad Optronics.

Tycho var hele tiden den store drivkraften i dette arbeidet. Han la lista, og den ble lagt høyt. Det ble laget modeller av deler og komponenter i balsa fyrstikkesker. Samarbeidet med Akers Electronics (AE) i Horten resulterte i tellerelektronikk i hybridteknologi, en "stoppeklokke" med intervall på 20 nanosekunder. Den kunne "stoppes" flere ganger for å kunne håndtere situasjoner med flere mål (kvister og lignende i synsfeltet). Kretsen var et gjennombrudd og ble etter hvert også av stor betydning for AE som fikk en industripris for den.

8. mai 1970 startet en oppfølgingsjobb på FFI: Jobb 236-E/134 "Laser avstandsmåler for Feltartilleriet. Utviklingsoppgaver i forbindelse med industriutvikling (SIMRAD)". Lund ble jobbleder, avløst av Gunnar Wang i 1971-72. FFIs oppgave var støttestudier med sikte på å få frem bedre løsninger. Eksempler var arbeidet med "avalanche fotodioder" der FFI patenterte en metode for å kompensere for temperaturendringer, og levetids- og miljø-

prøving av komponenter og systemer. Det ble gjort testskyting i Diplom Is sitt produksjonsanlegg på Gjelleråsen ved -40°C . Det ble også utviklet et enkelt goniometer med friksjonskopling, og målet var hele tiden at det skulle bli lett og enkelt. Alt skulle det: Avstandsmåler, goniometer, stativ og batteripakke. Mange finurlige detaljer: β -lys på alle skalaer og avtrykksknapp for bladvotter!

Avstandsmåleren ble produsert for Feltartilleriet av Simrad Optronics under betegnelsen NM 81. Avstandsmåleren registrerer avstander mellom 200 og 20 000 m. Instrumentet gir også mulighet for måling av horisontale vinkler og høydevinkler. Lasersenderens 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 middelerdi av 10 målinger. Avstandsmåleren er utstyrt med 24 V 1Ah oppladbart Ni Cd-batteri.

Demonstrasjonsturer til Canada og UK

I 1970 var Peter Kaspersen og Terje Lund, sammen med en ganske tung delegasjon fra Hærens forsyningskommando (HFK), invitert til en feltartillerienhet i Canada, i Camp Petawawa, ca. 20 mil vest for Ottawa langs "the transcanadian highway". De var invitert for å demonstrere og prøve ut Simrad Optronics og FFIs svært så elegante A-modell: En lett bærbar avstandsmåler for feltartilleri (OP) anvendelser. I 14 spennende dager var de der. Terrenget i den bebodde delen av Canada er jo stort sett flatt, og multiple mål var derfor et generelt problem. A-modellen kunne bare håndtere tre mål og idéen om også å kunne vise "det siste målet" kom.

Fra Canada reiste de til Skottland og tilsvarende prøver i mye enklere terreng nær Kirkcudbright og til tekniske samtaler i London. Derfra kom et varig samarbeid som var av avgjørende betydning for utviklingen av Simrad Optronics og avstandsmålerproduktene som kom senere. De engelske kravene var harde, men gjennomtenkte og vel begrunnet, og de ble teknisk referanseplattform for den videre utvikling av den industrielle laser avstandsmåleren LP 7.



Noe senere var de innom Brussel og viste frem A-modellen for et tydelig begeistret Nato-panel, i en slags konkurranse med "et beist" fra franske CILAS, som helt klart ikke hadde hatt Tycho hengende over seg. En diger affære. Det var MORO!

Stipendopphold i USA var populært

"Høsten 1971 dro jeg med familie til Stanford University med NTNFs forskerstipend", forteller Terje. "Jeg jobbet i gruppen til Anthony Siegman på W.W. Hanson labs (senere Edward Ginzton lab). Hanson labs var for nordmenn (FFlere og NTHere som for eksempel Kjell Bløtekjær og Tore Wessel Berg) mest kjent for den "andre" delen – ultrasonics-laben ledet av professor Gordon S. Kino. På lasersiden av bygningen var det tre professorer: Tony, Steve (Stephen E.) Harris og Bob (Robert L.) Byer, som ble professor allerede som 28-åring. Jeg husker det som et svært kreativt miljø. Bobs aller første doktorgradsstudent var Helge Kildal (senere Justerdirektør på Kjeller). Helge og Bob skrev en standardartikkel (med forsidebilde) i Proceedings of the IEEE over bruk av lasere til måling av luftforurensninger.

Jeg bygget, veiledet av Dirk Kuizenga, en "simultant Q-switched og modelåst Nd:YAG-laser". Målet var en "ren" og presist kontrollert puls som kunne egne seg som seed-puls i en forsterkerkjede. Dirk gikk senere til Lawrence Livermore labs og fortsatte der utviklingen av en laser oscillator for "fusjons-laseren" NOVA.

På veien hjem kjørte vi tvers over USA og var innom Gunnar Wang som da akkurat hadde etablert seg med sin familie i Rochester, NY. Gunnar jobbet, også med NTNf-stipend, med fargestofflasere på Kodak. Vi dro så videre sydover til Philadelphia der Erling Sunde da avsluttet sitt stipendopphold ved University of Pennsylvania."

Laserspektroskopi og avstembare lasere

I 1973 ble jobb 299-E/115 etablert med Terje Lund som jobbleder. Svein Otto Olsen, tilbake på FFI etter opphold i Trondheim og Tromsø, skrev om "Laser spektroskopi til luftanalyse" (IR-E-228). Rapporten hadde

mye av æren for at jobben i 1974-75 ble utvidet med et sivilt prosjekt (NTNF-prosjekt B 1582.4310, IR-E-248 (1975)). Svein Otto dro bl.a. i gang eksperimenter med avstembare blysalt diodelasere. Gruppen hadde flere nye medarbeidere: Per Erik Nordal, Arvid Bjerkestrand, Arne Blænes og meteorologen Anton Kjelaas.

Jobben gikk ut på å studere mulighetene for såkalt tidlig varsling av nergegasser (Nato-krav var definert) ved hjelp av laser spektroskopi. Sluttrapporten (IR-E-270 (1977)) konkluderte med at selektiv absorpsjon av $^{13}\text{CO}_2$ -laserlinjer over en målestrekning i motvindsretningen kan gi effektiv tidlig varsling av indirekte nergessangrep. Prosjektets konkrete (og svært lure) eksperimentelle løsninger med retroreflektorer ble imidlertid ikke ansett for å være militært anvendbare. Prosjektet ga mange nye impulser og det utvidet lasergruppens interesseområde.

Det ble for eksempel arbeidet med bølgelederlasere, som var spesielt lovende både med hensyn til ytelse og kompakt og robust konstruksjon. Dette var utgangspunktet for de senere arbeider med videre utvikling av CO_2 -lasere: Vekselstrømskitasjon og operasjon av lasere ved høye gasstrykk, ca. 10 atm., som gjør det mulig å avstemme laseren kontinuerlig over brede frekvensbånd pga. trykkforbredning av laserovergangene i CO_2 -gassen.

Svein Otto og Per Erik arbeidet videre med et av "sporene", fotoakustisk spektroskopi, og etablerte seg i 1979 i kjelleren på kjemibygget på Blindern. Terje og Anton ble i 1977 med i NTNFs "Program for fjernmåleteknikk", senere "Program for Miljøovervåking", som var initiert av forskningssjef Dag Gjessing. De fikk leie lokaler på Avd E.

Laser avstandsmålere – oppfølgingen

Gunnar Wang, som var tilbake fra USA i 1973, var den som førte instituttets arbeid med laser avstandsmålere videre, i tillegg til at han deltok i jobb 299. Simrad Optronics internasjonale suksess med sin LP-7 laser avstandsmåler for feltartilleriet på 1970-tallet var forbløffende, spesielt vurdert i ettertid. Mye skyldes den kompromissløse oppfølging som arbeidet fikk fra FFI og fra kompetente norske brukere. FFIs bidrag i



denne tiden var mange. Viktigst var kanskje arbeidene med øyesikre lasere (Erbium- og Holmium-lasere) og utviklingen av kompakte lasere for håndholdte avstandsmålere.

I denne perioden ble det også arbeidet videre med Nd:YAG lasere. På Gunnar Wangs initiativ ble nytt fargestoff for passiv Q-svitsjing utprøvd, og resultatene dannet grunnlaget for Simrad Optronics utvikling av den håndholdte avstandsmåleren LP7, som brukes i Hæren. Passiv Q-svitsjing er en meget enkel teknikk for å generere korte laserpulser, som gjør det mulig å bygge lette og enkle avstandsmålere.

Nye lasertyper – grunnleggende teknologistudier

Etter de første vellykkede utviklingsprosjektene frem til ca. 1970 ble innsatsen i økende grad konsentrert om grunnleggende studier av potensielt viktige lasertyper og avanserte anvendelser av disse. Bakgrunnen for dette var at man manglet lasertyper med passende egenskaper og ytelser for mange av de mest interessante militære anvendelsene. Et av hovedproblemene med de lasertypene man hadde arbeidet med hittil var den begrensede muligheten til å velge en passende laserbølglengde, noe som er viktig i anvendelser som krever øyesikkerhet, og i anvendelser som krever tilpasning av bølglengden til spektrale karakteristika hos målet eller transmisjonsmediet. Eksempler på det siste er anvendelser innen spektroskopi, fjernmåling og elektrooptiske motmiddeltiltak. Et annet problem var den lave virkningsgraden til konvensjonelle lasertyper, som ga begrensninger i utgangseffekt og pulsrate i praktiske systemer. Andre problemer har vært knyttet til pris, pålitelighet og praktisk anvendbarhet.

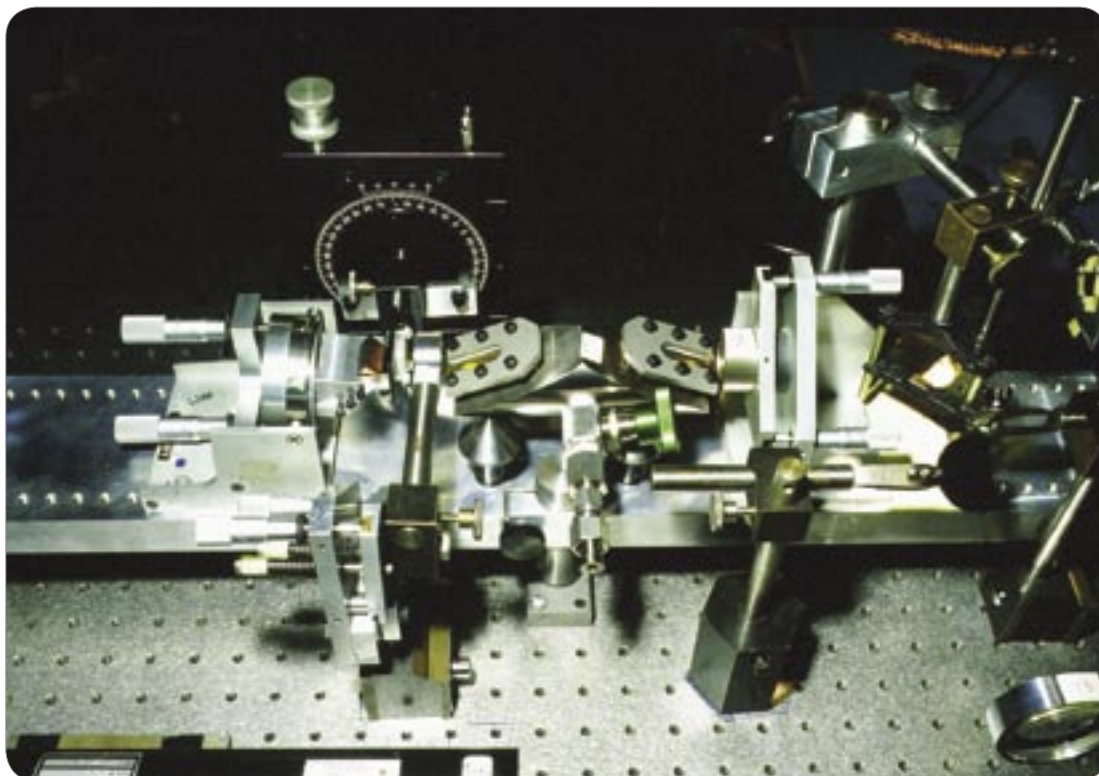
For å kunne følge med i og dra nytte av utviklingen innen dette feltet var det nødvendig for FFI å bygge opp kompetanse innenfor de nye teknologiområdene som etter hvert vokste frem i det internasjonale forskningsmiljøet. FFI har siden sørget for å opprettholde en kontinuerlig grunnleggende forskningsaktivitet innen dette fagfeltet. Aktiviteten har i alle år holdt et høyt internasjonalt faglig nivå dokumentert gjennom doktorgradsarbeider, publikasjoner i internasjonal fagpresse og foredrag på sentrale internasjonale konferanser. Arbeidene har omfattet studier av en

rekke lasermaterialer, eksitasjonsmetoder, avstembare lasere, spektroskopi og ikke-lineære optiske teknikker, og kanskje aller viktigst, utvikling av svært avanserte numeriske simuleringsmodeller. Vi skal i det følgende skissere de viktigste trekkene i denne aktiviteten frem til våre dager. (2003).

Avstembare CO₂ lasere

På bakgrunn av de begrensningene i bølglengdevalg og utgangseffekt som man på den tiden så for seg med hensyn til faststoff- og diodelasere, ble interessen på FFI etter 1970 dreid mot studier av gasslasere, spesielt CO₂ lasere. Denne lasertypen gir et sett av bølglengder i 9-11 µm området, som sammenfaller med ett av de atmosfæriske transmisjonsvinduene som også benyttes i forbindelse med termisk avbildning. Man så her for seg muligheten for fremtidig fusjon av aktive og passive sensorer som benyttet samme bølglengdeområde og eventuelt også samme detektor. Slike lasere ville være aktuelle både for tradisjonell laser avstandsmåling og for avanserte anvendelser innen spektroskopi, fjernmåling og laser radar. Det ble, som nevnt tidligere, gjennomført analyser av muligheten for fjernmåling av både forurensningsgasser og stridsgasser i atmosfæren, og det ble konkludert med at man for å utnytte disse teknikkene effektivt måtte ha tilgang til lasere hvor bølglengden kunne avstemmes kontinuerlig over det nevnte området, slik at bølglengden kunne tilpasses optimalt til aktuelle absorpsjonslinjer for hver enkelt gass. Siden konvensjonelle CO₂ lasere bare ga ut lys på et sett av diskrete emisjonslinjer ble det på FFI startet et ambisiøst forskningsprogram med målsetting å utvikle lasere som kunne avstemmes kontinuerlig mellom disse diskrete linjene. Dette ble oppnådd ved å øke gasstrykket i laseren til ca. 10 atmosfærer slik at spektrallinjene overlappet hverandre pga. trykkforbreddning. For å operere laseren ved så høye trykk var det nødvendig å utvikle nye eksitasjonsmetoder, og dette ble studert gjennom flere prosjekter fra 1977 til 1985 med Gunnar Wang som prosjektleder.

I 1977 ble det rekruttert tre nye medarbeidere fra samme klasse på fysikklinjen på NTH til denne aktiviteten: Stian Løvold, Knut Stenersen og Odd Lohne. Lohne gikk forholdsvis snart over til en stilling hos Simrad



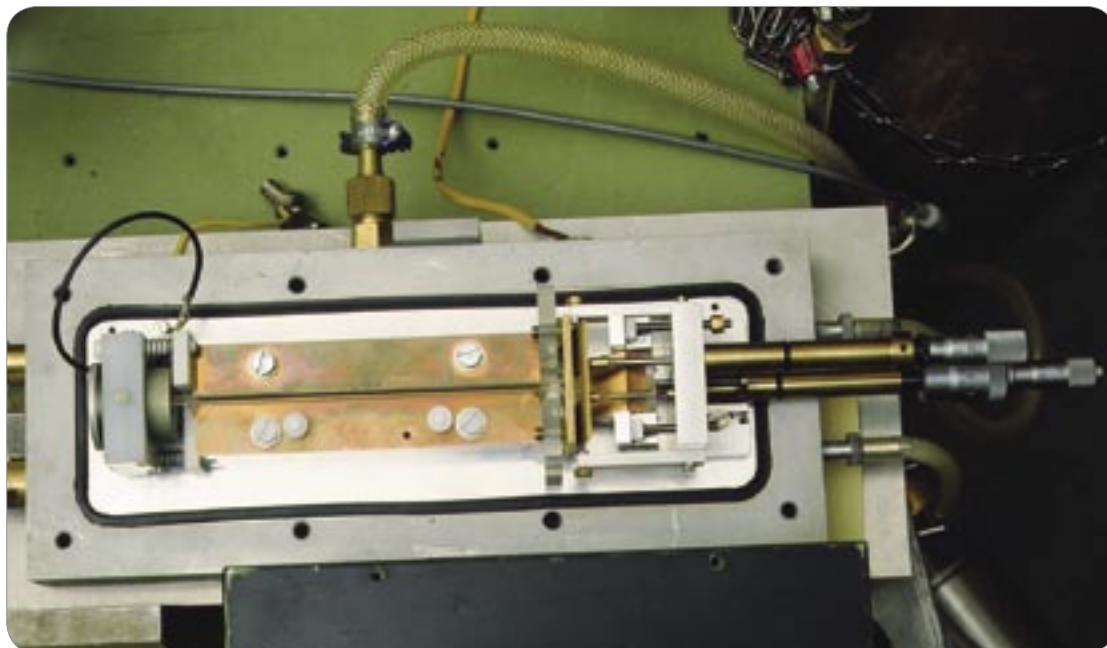
Knut Stenersens optisk pumpete CO₂ laser. Gasscellen i midten av bildet inneholder høytrykksblandingen av CO₂, DF og helium.

Optronics, som man også ellers samarbeidet mye med, mens Løvold og Stenersen etter hvert startet med doktorgradsstudier knyttet til laservirksomheten ved FFI. Andre sentrale medarbeidere som ble ansatt noe senere var Stig Landrø og Øyvind Christensen. Øyvind sto for mye av elektronikkutviklingen i laserprosjektene gjennom en 15-års periode. Både optisk og elektrisk eksitasjon av høytrykks CO₂ lasere ble studert i disse arbeidene. Stenersen tok sin doktorgrad i 1982 på et arbeid med optisk eksitasjon, der stråling fra en DF laser ble benyttet til å eksitere en høytrykksblanding av CO₂, DF og helium (NDRE-PUBL-82/1003). DF ble her benyttet for å absorbere strålingen fra pumpelaseren, og energien ble deretter overført til CO₂ molekylene i høytrykksblandingen. Blant de mange snodige opplevelsene i dette arbeidet husker Stenersen spesielt den første gangen han fylte opp en gasscelle med DF. DF er en svært reaktiv gass, og når han forsøkte å måle absorpsjonsspekteret til gassen i cella, var det overhodet ingen tegn til DF. Det gikk litt tid før han skjønnte hva som foregikk; at DF gassen ble nærmest fullstendig absorbert i celleveggene. Etter hvert klarte han å løse dette, bl.a. ved å velge andre cellemate-

rialer (teflon, monel) og ved å fylle cellen med DF i flere omganger for å mette celleveggene med DF.

Stian Løvold tok samtidig sin doktorgrad på et arbeid der CO₂ laseren ble eksitert av en elektrisk vekselstrømsutladning ved ca. 40 MHz frekvens (NDRE/PUBL-82/1002). RF-utladningen foregikk transversalt (i forhold til resonatoraksen) mellom to elektroder som var dekket av dielektriske plater (safir, alumina, berylliumoksyd). Disse platene hadde en avstand på 1-2 mm og tjente samtidig som en optisk bølgeleder i den ene transversale retningen.

Det ble utviklet laboratoriemodeller basert på begge disse eksitasjonsteknikkene, og det ble demonstrert at kildene kunne avstemmes kontinuerlig over store deler av det aktuelle spektralområdet. Anvendelsesmulighetene ble demonstrert gjennom målinger av absorpsjonsspektra for naturlig forekommende gasser i atmosfæren. Stenersen husker spesielt ett av disse eksperimentene fra mai 1987, hvor han og Stig Landrø hadde arrangert seg med en 1200 m lang absorpsjonsløype fra laserlaboratoriet via et speil



Stian Løvolds RF-eksiterte CO₂ laser.

plassert ca. 600 m unna. De hadde noen måneder tidligere sendt inn noen foreløpige resultater til en konferanse (CLEO), men det målte spekteret var ikke særlig tydelig pga. støy og signalfluktuasjoner forårsaket av turbulens i lufta langs måleløypa. I løpet av våren hadde de gjort flere forbedringer i måleoppstillingen og var innstilt på å ta opp noen mer presentable spektra til konferansen. Det viste seg imidlertid at resultatene ble til dels betydelig dårligere enn de hadde fra før. Dette skyldtes at man på denne tiden (i mai) hadde langt kraftigere luftturbulens enn ved de tidligere eksperimentene, og de begynte å bli lett desperate da dagen for avreise til konferansen nærmet seg. Endelig fant de ut at det i noen timer hver natt var såpass liten turbulens at det var mulig få gjort målingene. De arbeidet gjennom det meste av den siste natta før avreise, benyttet formiddagen til å lage transparenter, og satte seg på flyet, trøtte, men lette til sinns. Dette var første gang at en kontinuerlig avstembar CO₂ laser hadde vært benyttet til å gjøre en slik måling, så de følte at de hadde litt å være stolte av.

Optisk heterodyndeteksjon

En potensiell anvendelse som dannet en viktig bakgrunn for denne forskningsaktiviteten var å benytte laserne som lokaloscillatorer i passive optiske heterodyndeteksjonssystemer. Spesielt ønsket man å undersøke mulig-

heten for å benytte slike systemer til passiv deteksjon av emisjonslinjer fra varme eksosgasser (bl.a. fra luftmål) og bruke denne informasjonen til klassifisering og eventuelt gjenkjenning av målene. Dette gjenspeiles i prosjekttitlene: P354 – Avstembare lasere og optisk heterodyndeteksjon (1977-79), P415 – Avstembare lasere og optisk heterodyndeteksjon, fase 2 (1980-81) og P459 – IR heterodyndeteksjon av luftmål (1982-86), alle ledet av Gunnar Wang. En sentral person i dette arbeidet var Stig Landrø, som først kom til FFI som diplomstudent i 1978, og siden var ansatt frem til 1995, da han begynte i ny stilling hos Simrad Optronics. Landrø gjorde først, gjennom sitt diplomarbeid, en betydelig innsats i utvikling av den første RF-eksiterte CO₂ laseren ved lavt trykk på FFI (IR-E-302), og deretter var han gjennom flere år engasjert i utvikling av teori og teknologi innen optisk heterodyndeteksjon. Han realiserte et svært avansert eksperimentoppsett for passiv heterodyndeteksjon av smale emisjonslinjer, og demonstrerte bl.a. måling av slike emisjonslinjer fra en propangassflamme (FFI/RAPPORT-82/7003, FFI/NOTAT-82/7033). For å dra full nytte av denne måleteknikken ville det være nødvendig å ha tilgang til en kontinuerlig avstembar CO₂ laser med kontinuerlig utgangseffekt som lokaloscillator. De kildene som Stenersen og Løvold hadde arbeidet med kunne bare opereres i korte pulser, og det ble derfor nød-

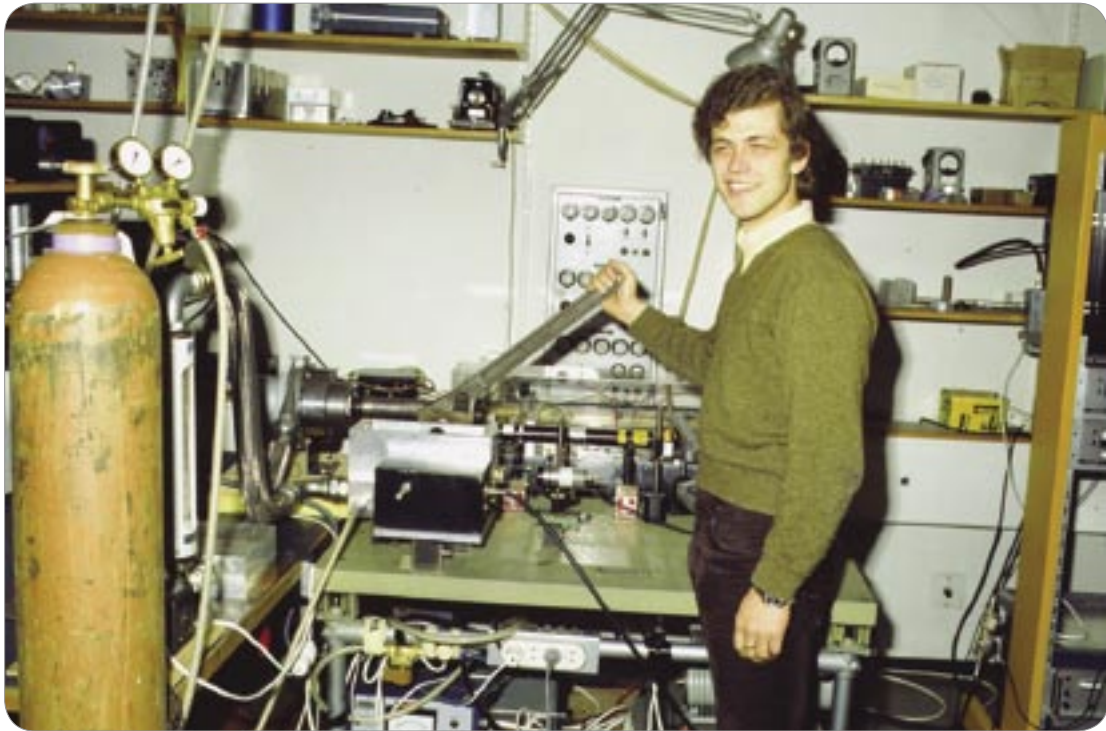


Miljø på laserlab'en fra ca. 1980. Fra venstre: Knut Stenersen, Gunnar Wang, Stig Landrø og Stian Løvd.

vendig å sette i gang utvikling av en kontinuerlig kilde. Dette arbeidet startet i 1982 og ble temaet for Landrøs doktorgradsarbeid, som han fullførte i 1987 (FFI/RAPPORT-88/7032). Arbeidet ble en stor suksess rent vitenskapelig, men det ble også avklart at det ville by på svært store vanskeligheter å utvikle en praktisk laserkilde som kunne egne seg for en militær anvendelse, basert på disse prinsippene. Parallelt med disse arbeidene ble det også gjennomført et arbeid med kartlegging av spektrale emisjonskarakteristika for eksosgasser fra ulike mål ved bruk av Fouriertransform-spektrometri. Paul Narum og Gunnar Wang var sentrale i dette arbeidet. Resultatene fra disse arbeidene og mer detaljerte analyser av det totale systemkonseptet viste etter hvert at deteksjonsrekkeviddene, bl.a. mot aktuelle luftmål, ville bli marginale, og dette førte til at man i midten av 1980-årene besluttet ikke å videreføre dette arbeidet.

I forbindelse med heterodyndeteksjonsarbeidene kan det også nevnes at Landrø i en tidlig fase gjorde forsøk med noen svært spesielle MOM (metall-oksyd-metall) dioder med ekstremt høy båndbredde (titalls GHz).

Diodene besto av en tynn wolframtråd med en spiss ende som ble presset forsiktig mot et tynt oksydsjikt på overflaten på en nikkelskive. Landrø fant en metode for å etse wolframtråden slik at den ytterste spissen ble en tilnærmet halvkule med en radius på under 100 Ångstrøm. På grunn av de ekstremt små dimensjonene kunne det settes opp svært høyfrekvente tunnelstrømmer i dioden. Det ble bl.a. gjort forsøk med å belyse diodene med laserlys fra to nærliggende linjer fra en CO₂ laser (frekvensforskjell 30-50 GHz). Den resulterende svevefrekvensen ble detektert ved å mikse denne med en lavere RF-frekvens, slik at svevefrekvensen var nær et multiplum av RF-frekvensen. På denne måten var det mulig å måle frekvensforskjellen mellom de to laserne med stor nøyaktighet, en metode som også har blitt brukt i forbindelse med etablering av lasere som frekvensstandarder. En av de sentrale personene på amerikansk side på dette feltet, Dr. Russel Peterson fra det daværende National Bureau of Standards, besøkte FFI i denne sammenhengen som AGARD-konsulent, og det ble gjort flere interessante eksperimenter sammen med ham. I prinsippet kunne en diode med så høy båndbredde



Stig Landrøs laboratorieoppstilling. Det var behov for svært høy gasstrømningshastighet for å opprettholde RF-gassutladning uten gnister ved de høye gasstrykkene.

ha blitt svært anvendelig i et optisk heterodynradimeter. Man hadde imidlertid betydelige problemer med stabilitet og kalibrering av disse skjøre diodene, så de kom aldri til noen praktisk anvendelse bortsett fra i frekvensmålinger hvor disse problemene spilte mindre rolle.

Andre CO₂ laserarbeider og øyesikre faststofflasere

I forbindelse med arbeidet med høytrykks CO₂ lasere ble det også utført arbeider med modelåsning for å generere svært korte laserpulser. Høytrykkslaserne var velegnet til dette fordi forsterkningsbåndbredden var svært stor. Landrøs kontinuerlig eksiterte CO₂ laser ble modelåst ved hjelp av en CdTe fasemodulator, og det ble demonstrert pulslengder på under 0,3 ns, som så vidt man kjenner til, fremdeles er verdensrekord for en kontinuerlig eksitert CO₂ laser. En potensiell anvendelse av denne kilden var karakterisering av detektormaterialer i det nyetablerte EPITEK-laboratoriet, men dette ble ikke aktuelt i løpet av den tiden laseren var i drift.

CO₂ lasere har også opp gjennom årene vært benyttet til å undersøke virkningen av laserlys på infrarøde avbildningssystemer og missilsøkere. Dette har gitt svært viktig informasjon om behovet for beskyttelse av elektrooptisk utstyr mot laser motmidler, og har dannet basis for rådgivning til Forsvaret angående slik beskyttelse ved utstyrsanskaffelser.

Det bør til slutt nevnes at det i årene rundt 1980, parallelt med CO₂ laserarbeidene, også ble utført studier av faststofflasere basert på grunnstoffene erbium og holmium, som gir stråling på øyesikre bølglengder i 1,5-2 µm området. Dette arbeidet ble gjort i samarbeid med Simrad Optronics, som etter hvert utviklet en håndholdt øyesikker erbium laser avstandsmåler. En av dem som deltok i dette arbeidet ved FFI var diplomstudent Petter Amundsen, som siden i mange år var ansatt hos Simrad Optronics.

Nye faststofflasere og diodelasere

I 1986 overtok Knut Stenersen som prosjektleder for laservirksomheten etter

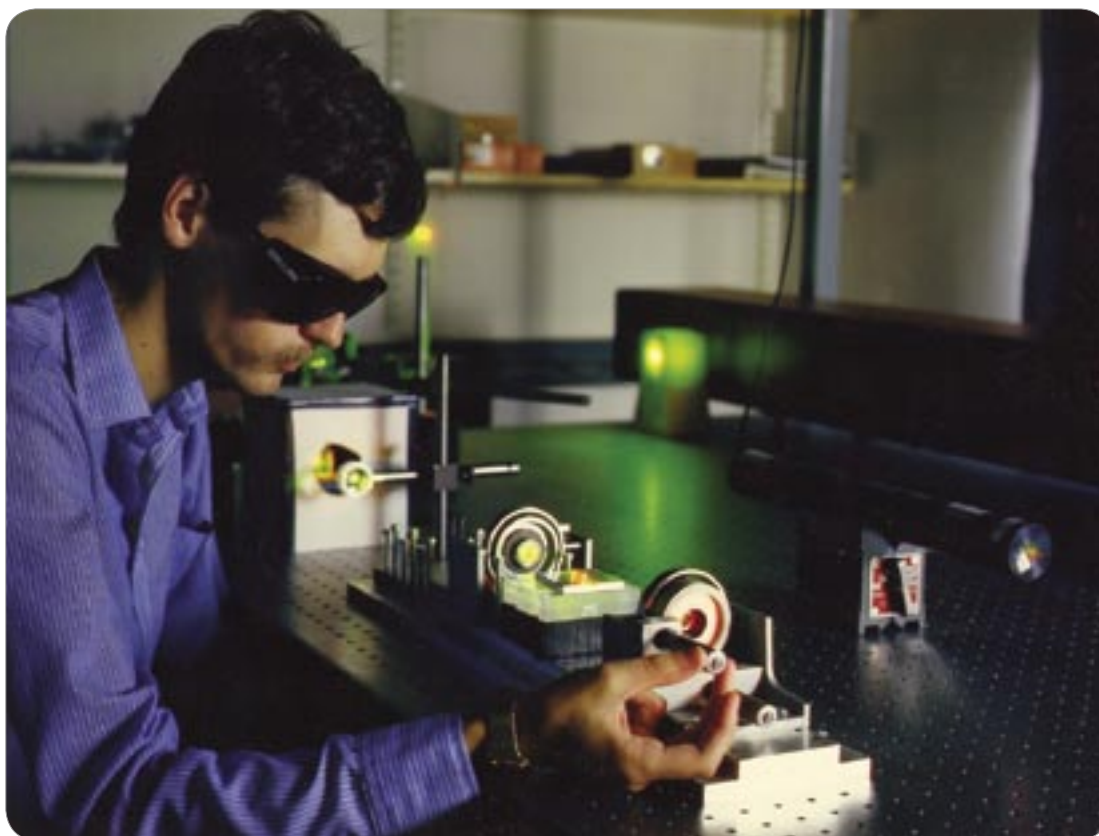
Gunnar Wang, som var med på å starte opp firmaet Norsk Elektro Optikk sammen med Tycho Jæger og i noen år arbeidet der. Stenersen har siden ledet laserprosjektene frem til i dag. På dette tidspunktet hadde man allerede i noen tid vært vitne til en betydelig internasjonal satsing på utvikling av nye effektive faststofflasere, basert til dels på nye lasermaterialer som ga mulighet for betydelig avstemming av bølgelengden. En viktig teknologi som også etter hvert vokste frem var bruk av diodelasere som pumpekilder for ulike typer faststofflasere. Dette var en utvikling som har fortsatt frem til i dag.

Faststofflasere og diodelasere har på hver sin måte stått sentralt i denne teknologiviklingen, og det kan derfor her være passende å knytte noen generelle kommentarer til egenskapene til disse to lasertypene:

Faststofflasere er spesielt godt egnet for anvendelser som krever høy pulseffekt, f.eks. avstandsmåling, og i de første avstandsmålerne ble det benyttet krystall- eller glasstaver tilsatt små mengder av grunn-

stoffet neodym. Denne lasertypen gir vanligvis lys på bare én bølgelengde på ca. 1 μm , og gir dermed ingen mulighet for tilpasning av bølgelengden i forhold til anvendelsen. I tillegg er bølgelengden svært ugunstig med hensyn til risiko for øyeskader. De første laserne hadde også svært lav virkningsgrad (typisk 0,1-1%) og hadde dermed stort effektbehov, noe som ga problemer med oppvarming og begrenset pulsrate og utgangseffekt. Innføring av nye lasertyper og ny eksitasjonsteknologi har siden endret dette bildet, som vi skal se nedenfor.

Diodelasere har tradisjonelt primært vært egnet for anvendelser som krever lave spiss-effekter eller kontinuerlig operasjon med lav effekt, slik som kortholds avstandsmåling, og etter hvert optisk kommunikasjon, fiberoptiske sensorer og optisk lagring. En slik laser ble benyttet i den første høydemåleren for Penguinraketten. Diodelasere kan imidlertid ha svært høye virkningsgrader (> 50%), noe som etter hvert har gjort det mulig å utvikle diodelaserrekker med svært høy midlere utgangseffekt. Disse har viktige anvendelser som pumpekilder for ulike typer faststoff-



Halvor Ajer driver forsøk med sin titandopete safirlaser.

lasere, noe som har vært et hovedtema for laserutviklingen på FFI i de senere årene.

Avstembare faststofflasere

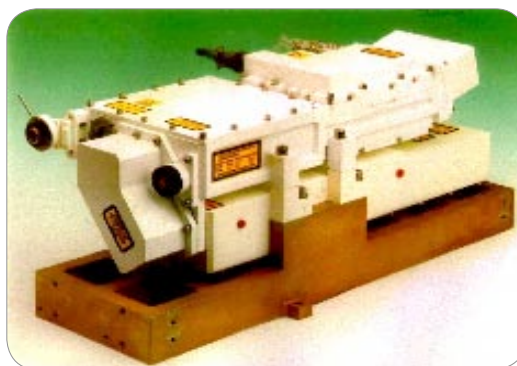
I prosjektet P524 – Bredbåndete gasslasere og faststofflasere (1986-88) tok man opp arbeid med en ny klasse interessante laser-materialer; de såkalte overgangsmetallene, som bl. a. omfatter grunnstoffene titan, krom og kobolt. Disse har ekstremt brede emisjonsspektra, som muliggjør kontinuerlig avstemming av bølgelengden over store områder. Ved FFI ble det utviklet laboriemodeller av titandopede safirlasere med både pulset og kontinuerlig utgangseffekt, og med et totalt avstemningsområde fra 0,67 μm til 1,2 μm ! Resultatene var sammenlignbare med det beste som har blitt rapportert internasjonalt. En av disse laserne var i mange år benyttet til spektroskopiske målinger og til eksitasjon av andre lasermaterialer ved FFI. Disse laserne har et betydelig potensial i fremtidige avanserte deteksjonssystemer og i elektrooptiske motmiddelelanselser. En ny medarbeider som ble engasjert ved FFI gjennom disse arbeidene var Halvor Ajer. Han gjennomførte sitt hovedfagsarbeid innen dette feltet (FFI/RAPPORT-90/7040) og har siden vært tilknyttet laseraktiviteten. En annen viktig person var Ove Lyngnes, som også utførte sitt hovedfagsarbeid innen dette feltet (FFI/RAPPORT-91/7006). Etter et påfølgende doktorgradsstudium i USA (Toucson) kom han tilbake til FFI og var i flere år en sentral medarbeider i Avd Es tynnfilmlaboratorium.



Til venstre: Halvor Ajer prøver ut laboriemodellen av EUCLID RTP8.3 laseren. Som vi ser på TV-monitoren er strålekvantiteten ypperlig. Til høyre: Endelig utgave av laseren, hvor den nederste enheten er utviklet av FFI og Simrad Optronics, mens den øverste er utviklet av Pilkington Optronics i Glasgow.

Diodepumpede faststofflasere

I det neste prosjektet P571 – Laserteknologi (1989-91) tok man opp som et hovedtema bruk av diodelasere som pumpekilder for faststofflasere, og denne teknologien har hatt en sentral plass i alle de etterfølgende laserprosjektene frem til i dag. På denne tida hadde den mangeårige sterke internasjonale satsningen innen halvlederteknologi gjort det mulig å fremstille diodelasere med langt høyere utgangseffekter enn det som tidligere hadde vært tilgjengelig. Som vi vil komme tilbake til har FFI gjennom 1990-årene tatt i bruk slike diodelasere på flere områder, men den viktigste anvendelsen har uten tvil vært bruk av diodelasere til eksitasjon av faststofflasere basert på ulike typer sjeldne jordarter som neodym, erbium, thulium og holmium. Tradisjonelt har slike lasere vært eksitert med lys fra blitzlamper, men fordi lyset fra slike lamper er svært bredbåndet blir bare en liten brøkdel av lyset absorbert i laserkrystallet. Dermed blir virkningsgraden til laseren svært lav, typisk 0,1-1% for en vanlig laser avstandsmåler, og dette begrenser tilgjengelig pulsrate og utgangseffekt, som nevnt tidligere. Ved bruk av smalbandet lys med passende bølgelengde fra en diodelaser blir eksitasjonen svært effektiv, og virkningsgraden kan økes med ca. en faktor 10. FFI har gjennom flere prosjekter bygget opp en kompetanse på høyt internasjonalt nivå på dette feltet og har i løpet av 1990-årene deltatt med stor tyngde i to europeiske samarbeidsprosjekter innen EUCLID-programmet på dette feltet: Det første var EUCLID RTP8.3; et fire års samarbeidsprosjekt med Frankrike og Storbritannia. Sammen med den norske industripartneren Simrad



Optronics ble det gjennom den norske delen av prosjektet utviklet en neodymlaser med ytelser som i mange henseender overgikk det som tidligere hadde vært demonstrert internasjonalt.

En hovedårsak til at dette lyktes var at man på FFI gjennom mange år hadde bygget opp en bred kompetanse innen laserteknologi og laserfysikk. På grunnlag av dette ble det også utviklet svært avanserte simuleringsmodeller som etter hvert gjorde det mulig å beregne alle de viktigste karakteristika for mange lasertyper før de ble bygget. Dette åpnet for at man på en effektiv måte og i stor detalj kunne evaluere en rekke designalternativer før man gjorde et endelig valg av et optimalt konsept. FFI opparbeidet seg en ledende posisjon internasjonalt innen denne type simuleringer, og dette var FFIs viktigste bidrag inn i de internasjonale samarbeidsprosjektene. Stig Landrø og Halvor Ajer spilte

nøkkelroller i utvikling og bruk av disse modellene. Som vi skal omtale nærmere siden, ble dette videreført av Gunnar Arisholm, som i løpet av sitt doktorgradsarbeid utviklet tilsvarende modeller innen ikke-lineær optikk.

Ved å benytte diodelaserlys til eksitasjon ble det også mulig å oppnå effektiv laservirkning i materialer som før var lite egnet til bruk i militært utstyr. Dette gjaldt i første rekke nye faststofflasere basert på erbium, thulium og holmium. Gunnar Rustad og Harald Hovland ble sentrale personer i dette arbeidet på FFI. Rustad kom først til FFI som soldat i 1990 og fortsatte deretter som doktorgradsstipendiat med diodepumpede thulium- og holmiumlasere som spesialområde. Avhandlingen, som ble levert i desember 1994, omfattet både en svært detaljert teoretisk analyse, numeriske simuleringer og eksperimentelle studier av flere varianter av disse lasertypene (FFI/RAPPORT-95/O1238). Dette



Gunnar Rustad i sving på laserlab'en.



arbeidet dannet grunnlaget for senere utviklingsprosjekter hvor målet var å skalere opp utgangseffekten til mer enn 10 W på 2 μm bølgelengde og deretter forskyve strålingen til 3-5 μm området med tanke på motmiddel-anvendelser. Dette omtales nærmere siden.

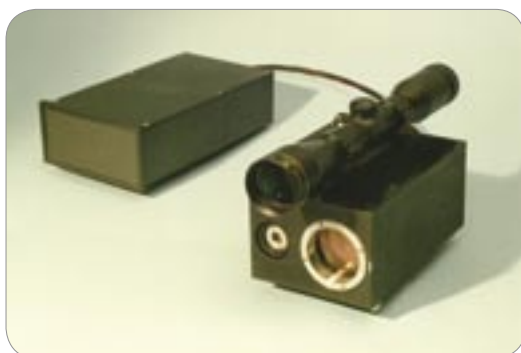
Harald Hovland, som ble ansatt ved FFI i 1993, arbeidet også innen dette feltet gjennom flere år. Han konsentrerte seg i første rekke om erbium-dopete lasere og demonstrerte bl.a. effektiv operasjon av en diodepumpet erbium:glass laser med pulsrate opp til 10 Hz. Dette var et interessant konsept med tanke på øyesikker avstandsmåling i anvendelser hvor man trenger hurtig oppdatering, for eksempel i målfølgning. Siden ble det mer aktuelt å benytte andre teknikker basert på ikke-lineær optikk, for generering av øyesikker laserstråling (se senere omtale), og dette ble derfor ikke fulgt opp videre. Det skal forøvrig nevnes at man på FFI i de senere årene også har drevet studier av optiske fiberlasere basert på erbium:glass, knyttet opp mot anvendelser i fiberoptiske sensorer.

Diodelaserbasert teknologi – kommunikasjon og kortholds avstandsmåling

I løpet av første halvdel av 1990-årene arbeidet man på FFI også med utvikling av utstyr som var basert på direkte bruk av diodelasere. Det ble bl.a. utviklet flere varianter av diodelaser sambandsutstyr for kommunikasjon direkte gjennom atmosfæren. Slike samband er ekstremt direkte og dermed svært robuste med henblikk på avlytting og jamming. I første omgang ble det utviklet et øyesikkert talesamband, som hadde en

rekkevidde på mer enn 10 km under gode siktforhold. For ytterligere å demonstrere potensialet for denne type samband ble det for Hærens forsyningskommando utviklet et utstyr med grensesnitt mot Forsvarets TADKOM-system (FFI/RAPPORT-93/7023). Prøver utført ved Våpenskolen for Hærens samband viste at utstyret teknisk sett fungerte meget bra opp til avstander på ca. fem km. Et problem knyttet til den ekstreme direktiviteten til slike systemer er behovet for svært nøyaktig innretting. For de systemene som ble utviklet ved FFI var nøyaktighetskravet under én milliradian. Det ble konstatert at dette bød på store problemer på lange avstander og at det for praktisk militær bruk ville være behov for en videreutvikling av systemet for å implementere automatisk innretting av sender og mottaker. Selv om det ble pekt på flere mulige anvendelser ble det på dette tidspunktet ikke tatt stilling til noen videreføring av denne aktiviteten. I samarbeid med Simrad Optronics ble det for øvrig også på denne tiden utviklet en diodelaserlink for samband mellom sensor og våpen i det autonome kameraovervåket minefyrings-systemet SESAM, som ble utviklet på Avdeling for våpen- og materiell (Avd VM) (FFI/NOTAT-91/7023). I dette prosjektet lå det muligheter for store kontrakter til norsk laserindustri, men dessverre fant ikke Hæren penger til en videreføring av SESAM-prosjektet.

Et annet område hvor diodelasere er blitt benyttet som primær laserkilde er i kortholds avstandsmåling. I forbindelse med utviklingen av nye sjømålsmissiler (NSM) ble det utviklet et lavsignatur laser høydemåler som også kunne utføre flere viktige tilleggsfunksjoner, slik som oppdatering av missilets posisjon over land via korrelasjon med digitale kart,



Laserbasert kommunikasjonsenhet med grensesnitt mot TADKOM.



Laserbasert talesamband.

og estimering av bølgehøyde for å bestemme laveste tillatte flygehøyde. Sentrale personer i dette arbeidet var Stig Landrø og Øyvind Christensen. Dette arbeidet har blitt videreført i NSM-utviklingsprosjektet ved Kongsberg Defence & Aerospace (KDA). Det kan også nevnes at Simrad Optronics parallelt med dette utviklet en kortholds diodelaser avstandsmåler (IS2000) basert på tilsvarende teknologi.

Ikke-lineær optikk og midlere IR-laser motmidler

I siste halvdel av 1990-årene ble det satt fokus på et nytt tema innenfor laservirksomheten ved FFI, nemlig bruk av ikke-lineære optiske teknikker til å forskyve bølgelengden til en laser til andre bølgelengdeområder (FFI/RAPPORT-97/O2589). Dette er et fagfelt som vitenskapelig har hatt stor oppmerksomhet helt siden den første laseren ble demonstrert i 1960, men som har hatt begrenset militær betydning. Dette har imidlertid endret seg de siste 10 årene gjennom utvikling av mer effektive ikke-lineære

krystaller, og ikke minst gjennom utvikling av effektive diodepumpede faststofflasere som beskrevet ovenfor. Gunnar Arisholm har vært en nøkkelmedarbeider i dette arbeidet. Han begynte på FFI som programvareutvikler allerede i 1987, men ble siden "konvertert" til fysiker og engasjert i laservirksomheten fra 1995. Han fikk i oppgave å utvikle numeriske simuleringsmodeller for ikke-lineære optiske komponenter, og dette ble etter hvert hovedtemaet i hans doktorgradsarbeid (*Numerical modelling of optical parametric frequency conversion and self-focusing*, Universitetet i Oslo, oktober 1999), som han forsvarte i år 2000. Det ble gjennom dette arbeidet utviklet simuleringsmodeller som i dag er de mest avanserte i sitt slag, og som bl.a. er benyttet til å gjøre beregninger for ledende amerikanske laboratorier på dette feltet. Ved å benytte disse modellene som designverktøy har man kommet frem til svært effektive eksperimentelle konsepter i form av såkalte optiske parametriske oscillatorer (OPOer), som består av et ikke-lineært krystall plassert i en optisk resonator. I en slik OPO kan frekvensen til en primær laserkilde, f.eks. en



Gunnar Arisholm på laserlaboratoriet med diplom for tildelingen av Simrad Optronics fagpris i elektrooptikk for 2003.



Nd:YAG laser, konverteres til to nye frekvenser hvis sum er lik frekvensen til primærkilden. Ved å endre vinkelen eller temperaturen til det ikke-lineære krystallet kan man endre de genererte frekvensene (og dermed bølgelengdene) kontinuerlig over et betydelig område. Denne teknologien gir således stor fleksibilitet med hensyn til valg av bølgelengde og er aktuell innenfor både elektrooptiske motmiddelanvendelser, øyesikker avstandsmåling og ulike anvendelser av laser radar. Gunnar Arisholm ble i 2003 tildelt Simrad Optronics fagpris i elektro-optikk for sine arbeider innenfor dette feltet.

Man konsentrerte seg først om konsepter som kunne være aktuelle i forbindelse med øyesikker avstandsmåling ved 1,5 μm bølgelengde. Et av de mest interessante konseptene ble studert av hovedfagsstudent Espen Lippert i 1997-98 (FFI/RAPPORT-98/O3423). Dette gikk ut på å plassere en OPO, basert på krystallet KTiOPO_4 (KTP) inne i resonatoren til en Nd:YAG laser, og er et konsept som Simrad Optronics nå benytter i sin nye laser avstandsmåler i ildledningsinstrumentet LP10. Lippert ble ansatt ved FFI etter fullført hovedfagsstudium og er nå en sentral støttespiller i laservirksomheten.

Det som imidlertid har vært hovedtemaet i de siste prosjektene (P729 – Mid-IR laserteknologi (1997-00), P792 – IR laser motmidler og beskyttelse (2000-02) og P856 – Laserbasert elektrooptisk krigføring (2002-06)) er bruk av ikke-lineære optiske teknikker til å generere IR stråling i 3-5 μm og 8-12 μm områdene med tanke på motmiddelanvendelser. Bruk av laserstråling til å narre, blende eller ødelegge militære elektrooptiske sensorer er blitt en stadig mer aktuell mulighet i løpet av det siste tiåret. Spesielt har det vært satt et sterkt fokus på bruk av slik teknologi til å beskytte fly og helikoptre mot IR-heimende (varmesøkende) bakke-til-luft missiler, som bl.a. representerte en sterk trussel og i vesentlig grad vanskeliggjorde de allierte luftoperasjonene i konfliktene i det tidligere Jugoslavia. Aktiviteten på dette feltet på FFI frem til i dag har til dels vært konsentrert om å utvikle egnede laserkilder i de aktuelle bølgelengdeområdene, samt å utføre prøver mot ulike typer sensorer (detektorer, kameraer, sikter, missilsøkere) for å studere virkningen og bedømme sårbarheten til slike sensorer mot laserbaserte motmidler

(FFI/RAPPORT-2000/O5949, FFI/RAPPORT-2002/O4735).

Noe av arbeidet med kildeutvikling har vært gjennomført i et samarbeid mellom Norge og Frankrike gjennom EUCLID RTP8.7-prosjektet, hvor FFI deltok sammen med Simrad Optronics på norsk side. Dette var et teknologisk sett svært utfordrende utviklingsarbeid, hvor bruk av FFIs avanserte simuleringmodeller spilte en avgjørende rolle. De eksperimentelle resultatene som ble oppnådd på norsk side var svært gode, og det ble bl.a. oppnådd en rekordhøy virkningsgrad på over 20% i konvertering av laserlys fra 1,06 μm bølgelengde til 3-5 μm området via en to-trinns OPO-prosess.

En uventet oppdagelse

Den som gjennom mange år har drevet med eksperimentell forskning har erfaring for at man svært ofte (nesten alltid?) støter på større eller mindre problemer av praktisk eller fundamental natur, som gjør at resultatet blir litt dårligere enn det man hadde forutsett. Derfor er det morsomt å avslutningsvis nevne en svært overraskende og viktig effekt av det positive slaget, som ble oppdaget ved en tilfeldighet under et OPO-eksperiment i slutten av april 2000. Arisholm, Lippert, Rustad og Stenersen var midt inne i en serie av eksperimenter med et to-trinns OPO-system og hadde etter hvert oppnådd en ganske tilfredsstillende virkningsgrad, dog med noe dårligere strålekvalitet enn det som var ønskelig. Rustad hadde imidlertid utført noen simuleringer som indikerte at strålekvaliteten burde bli betydelig bedre, på bekostning av en noe redusert virkningsgrad, ved å forlenge resonatoren i det siste OPO-trinnet. Dette ble forsøkt, men til stor forbauselse kunne man fastslå at ikke bare ble strålekvaliteten bedre, men også virkningsgraden gjorde et stort byks oppover. Den vanlige reksjonen til en erfaren forsker i en slik situasjon er at noe må være galt med målingen, så nødvendige kontrollmålinger ble foretatt, men det ble konstatert at ingenting var feil.

Etter noen tids spekulasjoner var det Arisholm som fant forklaringen, nemlig at man ved å forlenge resonatoren i det siste OPO-trinnet hadde slumpet til å få en resonatorlengde som var nesten eksakt lik lengden i det første trinnet. Ved nærmere ettertanke



virket det svært sannsynlig at dette skulle føre til mer effektiv ikke-lineær konvertering, uten at vi skal gå nærmere inn på de relativt kompliserte detaljene i forklaringen her. Denne effekten hadde ikke blitt oppdaget i de numeriske simuleringene, fordi man i modellen hadde gjort noen forenklinger for å redusere den svært lange regnetiden, og det er vel uansett tvilsomt om man ville ha oppdaget effekten fordi man ikke hadde tenkt på at det skulle ha noen betydning å tilpasse resonatorlengdene. Dette var det heller ingen andre som hadde tenkt på, så det viste seg å være en viktig ny oppdagelse. Arisholm gjorde noen modifikasjoner i den numeriske modellen og klarte umiddelbart å reproducere de eksperimentelle resultatene. I tillegg kunne han forutsi flere andre effekter som hadde samme prinsipielle forklaring og som man deretter klarte å observere eksperimentelt. Alt i alt var dette en svært viktig

oppdagelse som har gyldighet i en rekke tilsvarende systemer (Optics Letters, Vol 25, 1654-7 (2000)). Dette blir benyttet i flere av de IR-kildene som i dag er under utvikling ved FFI.

Selv om en betydelig grad av flaks bidro til at effekten ble oppdaget, vil det være galt å konkludere med at oppdagelsen var tilfeldig. Dette er heller et eksempel på at oppbygging av en sterk faglig kompetanse over lang tid legger forholdene til rette for at man både kan gjøre slike oppdagelser, forstå bakgrunnen og se hvilke konsekvenser og muligheter de gir. Nettopp slik langsiktig faglig satsning har preget FFIs virksomhet på mange sentrale områder, og dette gjør at man står godt rustet til å møte de store utfordringene som Forsvaret vil stå overfor i årene fremover.

Bidragstere: Terje Lund, Knut Stenersen.

KONSTRUKSJON AV OPTISKE SYSTEMER

Utvikling av mange elektrooptiske instrumenter krever konstruksjon av linser, speil og andre optiske elementer som kan samle lys- og billedinformasjon. Kunnskap om konstruksjon av optikk var liten i Norge i begynnelsen av 60-årene, og ved Avd E ble det derfor bygget opp kompetanse på dette området. Det ble utviklet dataprogrammer for å beregne hvorledes lysstråler går gjennom systemer som består av linser og speil (raytracing). Et slikt program er et helt nødvendig hjelpemiddel i konstruksjon av optikk, fordi raytracing krever numeriske beregninger i så store mengder at det er nesten utenkelig å gjennomføre dem uten datamaskin. Datamaskinen brukes også til å finne den beste kombinasjon av linser og speil i et instrument (optimalisering). Dette er av avgjørende betydning for å få et godt resultat.

Halvor Heier har vært sentral i konstruksjon av optikk ved FFI og har skrevet om det.

Med de første programmene kunne en bare beregne banen til lysstrålene (geometrisk optikk). Ca. 20 år senere begynte en å få muligheten til å studere betydningen av lysets bølgenatur (diffraksjon) for å få en mer nøyaktig beregning. Hovedmannen bak diffraksjonsalgoritmene var Jakob Stamnes,

som arbeidet ved FFI fra 1974 til 1976, da han begynte som forsker ved Sentralinstituttet for Industriell forskning (SI).

FFI var relativt tidlig ute med optikkprogrammer. Det fantes et par kommersielt tilgjengelige programmer i USA, men det ble satset på videreutvikling av optikkprogrammer ved FFI for å få en dypere forståelse av problemene ved konstruksjon av optikk. I de senere årene har kommersielle programmer gjennomgått en rivende utvikling, og flere forskjellige programmer er innkjøpt og i bruk.

Optikk for Penguin

Ved FFI ble et raytracingprogram med optimalisering utviklet og brukt av Arne Solesvik, ca. 1965, til å konstruere optisk høydemåler for Penguin. Uavhengig av dette ble et lignende program utarbeidet av Halvor Heier, som da studerte ved NTH. Heier fikk høre om FFIs interesse for optikk, og i 1967 utførte han diplomoppgaven for Tycho Jæger ved FFI, nettopp med formål å utarbeide et generelt program for dataassistert konstruksjon av optikk. På denne tiden hadde FFI tilgang til datamaskinen CDC 3600 ved Kjellerinstituttens regnearbeid (KIRA), slik at forholdene lå vel til rette for en slik diplomoppgave.



Etter diplomoppgaven ble Heier tilknyttet Tycho Jægers gruppe i 1968 med oppgave å ta seg av det optiske system i Penguin.

Janusoptikken

På den tiden var det allerede konstruert og fremstilt optikk for Penguinsøkeren. Den besto av to komplette optiske systemer montert med ryggen mot hverandre og ble derfor kalt Janus. Hvert system besto av et sfærisk hovedspeil og et plant sekundærspeil. Utvikling av dette systemet ble gjort av Tycho Jæger, Helge Ekre, Einar Evensen, Øystein Larsen, Ola Hunderi og Oddvar Selnes.

Hovedspeilene var dreid i ett stykke aluminium med diamantverktøy montert i "jiggboremaskinen" ved Fellesverkstedet av Trygg Hauger. Detektoren var også tosidig (se utvikling av "IR-detektorer") og montert i en utboring midt gjennom speilblokken mellom hovedspeilene. IR-detektoren roterte og signaler ble tatt ut over sleperinger, som ofte var årsak til problematisk støy. Sekundærspeilene var plane og likeledes dreid i aluminium. Dette var avansert på den tid, og ujevnheter i flatene var bare ca. 0,001 mm. Senere ble det brukt spesialmaskiner med luftlagre, og speilflatene kan være asfæriske og med presisjon ned mot 10 nm.

Arbeidet med Janusoptikken kom så langt at det ble bygget en kontrolljigg for serieproduksjonen. Her ble det laget et kunstig punktmål ved

hjelp av en laser, og bildet av punktmålet ble projisert på en mattskive for kontroll av form og størrelse. Jiggen ble overtatt av Kongsberg Våpenfabrikk (KV) og ble brukt i den første produksjonsfasen. Janusoptikken ble produsert av KV for Penguin Mk1.

Testing av Janusoptikken

De første optiske testene av Janusoptikken ble gjort på skjermrommet i 3. etasje på Avd E ved hjelp av "Foucaults knivtest". Denne testen ble utført med laser og ga bilder på polaroidfilm. De viste tydelige dreieriller og dessuten en deformasjon i speilflaten, der hvor utboringen til detektoren var gjort. Her var materialet tynnere og ga etter under dreieprosessen. Men denne testen er meget følsom, og kvaliteten til speilene var god nok for formålet den gang.

En annen oppgave var å redusere strølyset. Sekundærspeilet i Janusoptikken var festet med tynne plater som satt på kant i strålegangen. De var malt svarte, men når sollyset kom inn nesten parallelt med platene, reflekterte de sterkt og ga opphav til mye strølyset. Helge Ekre foreslo å erstatte metallplatene med et vindu som sto tvers over lysåpningen et stykke foran detektoren. Sekundærspeilet ble så montert på en skrue i sentrum av dette vinduet. Denne montasjemetoden ga en betydelig reduksjon av strølyset.



Janusoptikken med hovedspeil og to sekundærspeil. Det ene sekundærspeilet er tatt ut og ligger ved siden. Den ene siden av Janusdetektoren ses midt i primærspeilet. Systemet roterte og signalspenningen ble tatt ut over sleperinger.



Halvor Heier konstruerer optikk på datamaskin med spesielt optikkprogram.

Optikk for laser avstandsmåler

Arbeidet med laser avstandsmåler startet allerede i 1965. I dette prosjektet var Gunnar Wang og Terje Lund sentrale, foruten Tycho Jæger. Til konstruksjon av optikk i dette prosjektet anvendte man foruten CDC 3600 også SAM-1. (Se "Datateknologi" i denne hefteserien.) Den hadde dynamisk grafikk, noe som ikke ble allment tilgjengelig før 25 år senere med etterhvert kraftige PCer. Optikkprogrammet for SAM-1 ble anvendt til å konstruere laser beamexpander til den første versjon av Simrad Optronics avstandsmåler PM81B (basert på utvikling ved FFI). Det ble spesifisert glass med maksimal brytningsindeks. Dette ga gode resultater, men glasset var radioaktivt og måtte senere byttes ut.

Okular og objektiv til siktekikkert og laser-mottaker var konstruert av Jungner, et svensk firma vi hadde mye kontakt med på den tiden. Jæger kjente Vogl, sjefen for optisk konstruksjon på Jungner. Han var fra Tsjekkoslovakia, men hadde slått seg ned i Sverige. Han var en meget koselig mann, og Tycho kalte ham Jungnerguuben. Prisesats for skrått innblikk og stråledeling mellom synlig og IR ble konstruert på FFI. En senere løsning med avalanchedetektor krevde en knøttliten reléoptikk for å fokusere lasersignalet ned på detektoren. De to linsene var bare to mm i diameter og måtte settes sammen under mikroskop påsatt IR-viewer. Reléoptikken funksjonerte upåklagelig, men hvor produksjonsvennlig den var er mer usikkert.

Optikk med stillestående detektor for Penguin

Janusoptikken ble snart erstattet av NOSUS-optikken, som ble foreslått av Knut Kjæmhus på KV, ca. 1973. Den hadde en stillestående detektor med roterende planspeil, og ingen sleperinger som kunne gi støy. Tycho Jæger foreslo å forbedre NOSUS ved å erstatte det plane sekundærspillet med et såkalt "manginspeil", som er en linse med speilbelegg på baksiden. Dette ga en betydelig forbedring av billedskarpheten. Til dette systemet ble det bygget to kontrolljigger, en for sentrering av optikken, og en for fokusering av søkeren.

De nye dataprogrammene ble brukt til å kontrollberegne billedskarpheten til disse to systemene, og det ble utarbeidet optiske tester for å kontrollere kvaliteten til speilene.

Optikk for NSM (Nytt sjømålsmissil)

I perioden 1978-1988 hadde Kjetil Døhlen optikkansvaret for IR målsøkere. Han konstruerte ny optikk for eksperimentmodellen av NSM. Denne optikken besto av to asfæriske diamantdreide aluminiumspeil. Dette var teknologiske muligheter som hadde oppstått siden den første versjon av Penguin, og som man selvfølgelig utnyttet. For å finne et godt utgangspunkt for konstruksjonen brukte han et program for symbolsk matematikk



Bølgeoptikk. Perfekt bilde av et fjernt lysende punkt. Ringstrukturen skyldes diffraksjon av lysbølgene.

(MACSYMA) for å finne alle mulige løsninger med to speil korrigert for Seidelaberrasjoner. Denne konstruksjonen var helt utmerket og ble brukt i eksperimentmodellene helt til de ble erstattet av KDAs optikk med linser for NSM.

I 1988 begynte Kjetil på sin doktorgrad i London. Heier kom tilbake fra SI og overtok ansvaret for bruken av denne optikken etter Kjetil. En av tankene bak denne konstruksjonen var at den skulle være så nøyaktig fremstilt at den bare kunne skrues sammen og gi et skarpt fokusert bilde. Dette klarte man ikke, og årsaken var et mysterium i ti år. Problemet ble omgått ved å bruke shims under sekundærspillet. Dette fungerte bra, men var ikke fullt så brukervennlig som man hadde håpet. Hovedårsaken til problemene med dette tror man nå var for smale skrånkanter på forskjellige deler som skulle skrues sammen. Dette førte til at anlegget mellom delene ikke ble eksakt definert. Dette ble rettet på, men man fortsatte med shims av andre grunner.

Det var flere andre optiske aktiviteter som var viktige for Penguin. Som eksempler kan nevnes at Egil Bingen studerte virkning av turbulens i atmosfæren, og Per Åge Stokseth målte IR-stråling fra sjøoverflaten

Strølysproblematikken

Strølysproblematikken har vært et sentralt tema helt fra begynnelsen frem til i dag (2001). Den viktigste strølyskilden var solen, og den ble simulert med en 800W halogenlampe. Senere ble utstyret plassert på taket på Avd E, hvor man brukte den virkelige solen i sommerhalvåret. I 1980 ble det rigget til et strølyslaboratorium i tilfluktsrommet i kjelleren i C-fløyen på Avd E der det ble målt strølys med en spesiallaget glødelampe som sol. Dette ble utført av Kjell Wikan og Pål Steinfeldt-Foss. Glødelampen ble forsket frem av Jan Wåler. Heier jobbet på SI på den tiden og var konsulent ved FFI for et finurlig speilsystem, som skulle få lyset frem til søkeren. Dette ble senere forenklet av Pål Steinfeldt-Foss, til den "Giraffen" som brukes i dag. Senere ble det installert laser som strølyskilde, og hele målingen styrt av en PC.

Optikk for FLIR (Forward Looking Infrared)

Tycho startet også arbeid med IR horisontscanner FLIR i 1974. Rolf Utne fikk ansvaret for å lede dette prosjektet, og Halvor Heier var optisk konsulent. I begynnelsen besto det optiske system bare av et parabolisk hovedspeil, 15 cm i diameter, og et plant sekundærspeil. Scanningen foregikk med et stort elliptisk planspeil, som sto i 45 grader foran hovedspeilet. Planspeilet vibrerte ved hjelp av et snedig uttenkt arrangement, med elektromagneter montert på de to ytterkantene av planspeilet og gummi i anslaget for rask snuing av bevegelsen. Speilene var laget i det nye materialet ZERODUR, som hadde svært liten termisk utvidelseskoeffisient, og det store planspeilet ble faktisk slipt og polert på FFI av Ragnar Kristiansen og Ulv Skafle. Det var en avansert operasjon for folk som ikke hadde slipt optiske komponenter før, med en diger slipemaskin konstruert på Fellesverkstedet.

Ny optikk

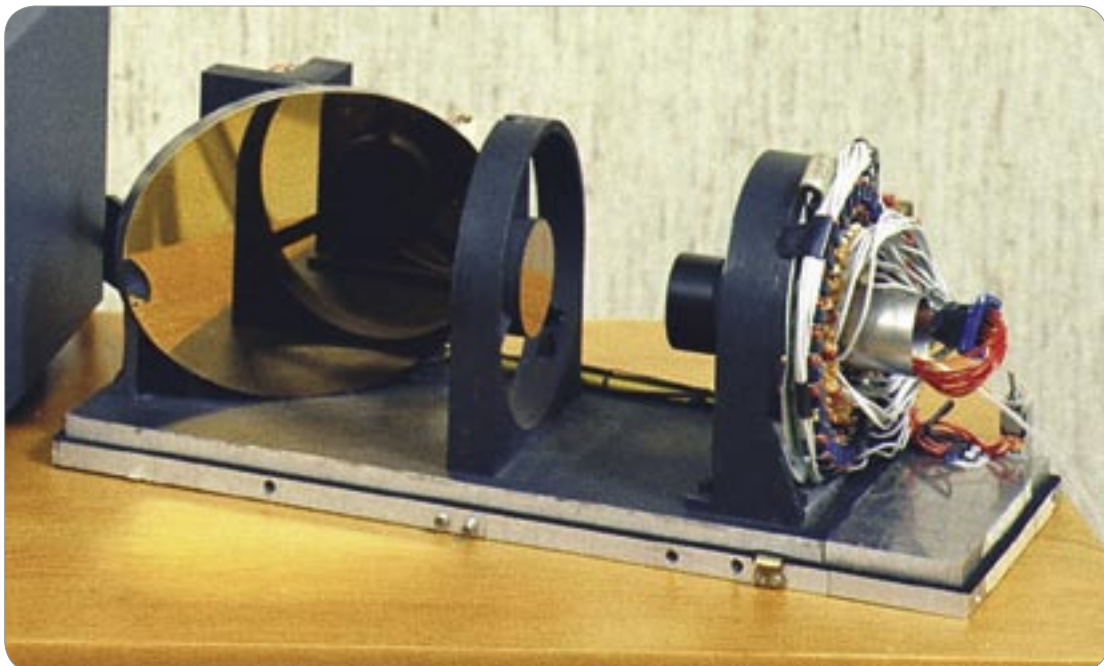
Etter hvert ble det et ønske om å forbedre billedskarpheten og foreta scanning med et lite speil istedenfor det store. I denne konstruksjonen måtte sekundærspeilet bevege seg etter en spesiell bane for ikke å få

uskarphet i kanten av bildet. Det ble derfor montert på meier som var slipt i en nøyaktig beregnet form, omtrent som en gyngestol. Alf Reidar Berge sto for utviklingen av skannemekanismen og gjorde en utmerket jobb.

Heier satte i gang med å konstruere superskarp IR-optikk med hulspeil og to store korreksjonslinser foran speilet, såkalt Houghton korrektor. Denne optikken ble innkjøpt og montert i sin holder. Imidlertid viste det seg snart at diameteren på linsene måtte være større enn antatt, og konstruksjonen ville dermed bli upraktisk stor. Denne ideen ble derfor forlatt og konstruksjonen videreført av Paul Narum. Han konstruerte et meget godt system med sekundærspeil av mangintypen og en korreksjonslinse nær fokus. Den utvendige scanningen ble beholdt og systemet produsert av Simrad Optronics for Sjøforsvaret.

Strid i mørke

Andreas Nordbryhn begynte som soldat i 1969 og arbeidet den første tiden sammen med Per Åge Stokseth og Eirik Ralm med å studere lysbrytningsfenomener over sjø. I 1973-74 startet et større program som ble kalt "Strid i mørke" hvor han arbeidet sammen med Tore Granum. Dette arbeidet



Tidlig laboriemodell viser optikken i horisontscanneren FLIR. Optikken ble senere modifisert av Paul Narum for å få større synsfelt i vertikalretningen.



Soldat med lysforsterkerkikkert.

resulterte i en lysforsterkerforsats til stridsvognsiktet i NM 116. Denne forsatsen ble produsert av Simrad Optronics i et antall av ca. 100 stk.

I dette prosjektet ble det også konstruert en håndholdt lysforsterkerkikkert, men her ble det bare produsert fem prototyper. Endelig ble det konstruert en ombygging av stridsvognperiskop til bruk i mørke. Dette ble også produsert av Simrad Optronics i et antall av 100.

HUBRO

I 1979 ble "Strid i mørket" avsluttet og erstattet av HUBRO (Hærens Ubetjente Billedsensor for Rekognosering og Overvåking). Konseptet gikk ut på å plassere et TV-kamera i felten på et sted det var viktig å overvåke. Fra kameraet var det billedoverføring på optisk fiber, som ble snullet ut i terrenget frem til en billedprosessor. Billedprosessoren skulle kommunisere med avdelingen og gi alarm og overføring av korte billedsekvenser når det kom soldater eller kjøretøy inn i bildet.

Det ble laget en prototyp av dette utstyret, som ble utprøvd under en feltøvelse. Billedprosessoren fantes bare som en laboriemodell, og opptakene ble lagret på videobånd og sekvensene prosessert på laboriet etter øvelsen. I dette prosjektet ble det ikke konstruert ny optikk, man baserte seg isteden på kjøp av eksisterende optikk for TV-kameraer. Andreas Nordbryhn sluttet ved FFI for å begynne på Sentralinstitutt for industriell forskning (SI) i 1982, og arbeidet med HUBRO ble overtatt av Øyvind Wenstøp. HUBRO ble ikke produsert.

Ny horisontscanner

I 1988 ble FFI med i et internasjonalt Nato-samarbeid for å videreutvikle teknologi for en avansert IR-sensor med software og hardware for billedbehandling. FFI trakk seg etterhvert fra det opprinnelige prosjektet, men videreførte utviklingen av IR-sensoren i samarbeid med Simrad Optronics. Denne sensoren ble etterhvert kalt BASIS med Magne Norland som delprosjektleder.



Konstruksjonen av optikken til denne sensoren var ganske krevende, og til hjelp i arbeidet ble det innkjøpt et kommersielt konstruksjonsprogram "OSLO" fra Sinclair Optics i USA. Bemanningen ble forsterket med Kjell Kråkenes, som jobbet på Simrad Optronics. Han lærte seg optisk konstruksjon meget raskt og overtok etterhvert hoveddelen av jobben. Dette ble en avansert konstruksjon med flere asfæriske linser og asfæriske speil. For testing av de asfæriske flatene ble det innkjøpt et IR-interferometer til flere millioner kroner. Videre ble det konstruert

og innkjøpt sfæriske linser, som bare skulle brukes under testen for å gjøre det mulig å måle eventuelle avvik. All optikk ble innkjøpt og testet og virket upåklagelig.

Denne sensoren var en del av Simrad Optronics tilbud til Sjøforsvaret om elektrooptisk utrustning av de nye MTBene. Utstyret ble montert i forhenværende KNM Storm og prøvd med meget vellykket resultat. Men det kom ikke til noen produksjon pga. pengemangel i Sjøforsvaret.

UTVIKLING AV IR-DETEKTORER

På det tidspunkt beslutningen om å utvikle sjømålsraketten Penguin ble tatt ved FFI var det mange av de mest kritiske komponentene som ikke var kommersielt tilgjengelige. Det ble etter hvert besluttet at Penguinraketten skulle utstyres med en passivt heimende infrarød søker, dvs. søkeren skulle detektere varmestrålingen fra målet og styre raketten mot det. Den viktigste komponenten i en slik søker er den infrarøde detektoren, IR-detektoren, og tilgjengeligheten av slike komponenter var meget begrenset tidlig på 1960-tallet. Både blyulfid- og blyselelid-detektorer var å få kjøpt, men disse ville ikke være gode nok til å fylle de målsettinger en hadde med Penguinsøkeren, som en så for seg skulle kunne brukes i flere tiår.

Det foregikk mye forskning og utvikling av nye detektormaterialer på slutten av 1950-tallet, og tidlig på 1960-tallet lyktes en både i England, USA og Canada med å fremstille enkrystallinsk indiumantimonid (InSb) av så god kvalitet at det ble det naturlige valg som infrarødt følsomt materiale for Penguin-detektoren. Detektorer basert på InSb ville være følsomme i det bølglengdeområdet en så for seg ville bli brukt i lang tid fremover.

FFI vil utvikle IR-detektorene selv

Det ble tidlig besluttet at FFI selv ville ta hånd om utvikling og fremstilling av denne komponenten. Det var to grunner for dette, en praktisk og en sikkerhetsmessig.

Når en starter utviklingen av en rakett er ofte vekt og ytre dimensjoner gitt. Dette vil

i sin tur påvirke størrelse og utforming av det optiske søkersystemet. Detektoren er plassert midt inne i dette, og utformingen av detektoren må derfor tilpasses den plass som er til rådighet. Da blir mer eller mindre standardiserte detektorer fra utenlandske produsenter vanskelig å tilpasse. Videre vil det under utviklingsfasen alltid være ønskelig å endre detaljer ved optikken, noe som igjen medfører endringer for detektoren. Både økonomisk og av hensyn til fremdriften var det umulig å gjøre seg avhengig av en utenlandsk detektorprodusent. Den andre begrunnelsen var å hindre en eventuell fiende i å vite hva Penguinraketten kunne "se". På sikt ville detektorene inneholde filtre som definerer de spektralområder som en ønsker å oppfange varmestrålingen fra målene i. Det infrarødt følsomme elementet av InSb kunne i prinsippet utformes som en fotodiode som genererer en fotostrøm, eller som en fotofølsom motstand som endrer elektrisk ledningsevne når den bestråles. For Penguin-detektoren ble den siste typen valgt, sannsynligvis fordi den fortonet seg enklere å fremstille enn fotodioder.

For å fremstille et fotoledende detektor-element med utgangspunkt i enkrystallinsk InSb halvleder må en beherske en rekke forskjellige teknologier. InSb-materialet ble kjøpt i runde skiver, ca. 1 mm tykke og med diameter 15-25 mm. Det måtte utvikles prosedyrer for å slippe, polere og kjemisk etse InSb-skivene ned til en endelig tykkelse på 20-30 mikrometer uten å ødelegge krystallstrukturen for mye. Denne tynne skiven må så deles opp i biter av ønsket størrelse for



fremstilling av detektorelementer. Deretter skal disse bitene limes til et egnet substrat. Som substrat ble valgt enkrystallinsk safir, fordi det er et mekanisk sterkt og kjemisk motstandsdyktig materiale med meget god termisk ledningsevne, noe som er ønskelig fordi detektorelementet må kjøles til ca. -190°C for å virke tilfredsstillende, dessuten er den termiske utvidelseskoeffisienten for safir meget nær den samme som for InSb, slik at mekaniske spenninger i InSb-materialet unngås ved nedkjølingen. Til begge ender av det tynne InSb-elementet måtte det så loddes til ledninger og elementoverflaten måtte passiveres for å unngå uønsket støy i detektorelementet. Alle disse prosessene er meget viktige for å oppnå detektorelementer med høy ytelse.

Utviklingen av detektorelementer startet på Avdeling for kjemi

Allerede i 1962 hadde Tycho Jæger fått tak i brukbart InSb-materiale i USA. Det ble så opprettet en liten gruppe ved Avdeling for kjemi (Avd K), som skulle utvikle metoder for de forskjellige prosessene ved fremstilling av InSb-elementer. Gruppen ble ledet av Olav Holwech som hadde meget bred teknologisk erfaring. Med seg hadde han Odd Anda som slipte, polerte og etset enkrystallskivene, og Knut Fremme formet og limte elementene til safirsubstratet og loddet på tilledninger. Tor Tønnesen gjorde en del mer teoretiske studier av InSb-materialet.

Selv om prosessene ved fremstilling av InSb-elementer er de samme i dag som den gang, er hjelpemidlene langt mer utviklet. Den gang ble InSb-skivene festet til en glassplate med bivoks og slipt og polert med silisiumkarbid slipepulver mot en annen glassplate. Deretter ble overflaten etset for å fjerne den ødelagte overflaten etter slipingen. Så ble skivene snudd, og den andre siden bearbeidet på samme måte til en ønsket tykkelse på 20-30 mikrometer. Når disse tynne skivene skulle deles opp hadde en ikke fotolitografiske teknikker til rådighet; det kom i bruk noe senere. Halvlederens overflate ble dekket med et tynt lag bivoks, og med en rosetorn ble det risset et rektangulært mønster i voksen som definerte den ønskede elementstørrelsen. Så ble halvlederskiven lagt i et egnet etsebad som fjernet InSb-materialet der hvor bivoksen var risset bort.

Man måtte være oppfinnsom, og Holwech var det.

Detektorfremstilling gradvis over til Avd E

De detektorelementene som ble laget ved Avd K måtte også karakteriseres. For dette formålet hadde Erling Skogen bygget opp en måleutrustning som både kunne måle godheten av de selvproduserte InSb-elementer samt en rekke kommersielt tilgjengelige detektorer.

Nils Tharaldsen hadde bygget varmestrålingskilden til dette måleutstyret. Kjell Kloster, som på denne tiden avtjente sin verneplikt ved FFI, skrev sin diplomoppgave om moderne detektorer og benyttet Skogens apparatur til sine målinger. Et detektormiljø var i ferd med å etablere seg ved elektronikkavdelingen.

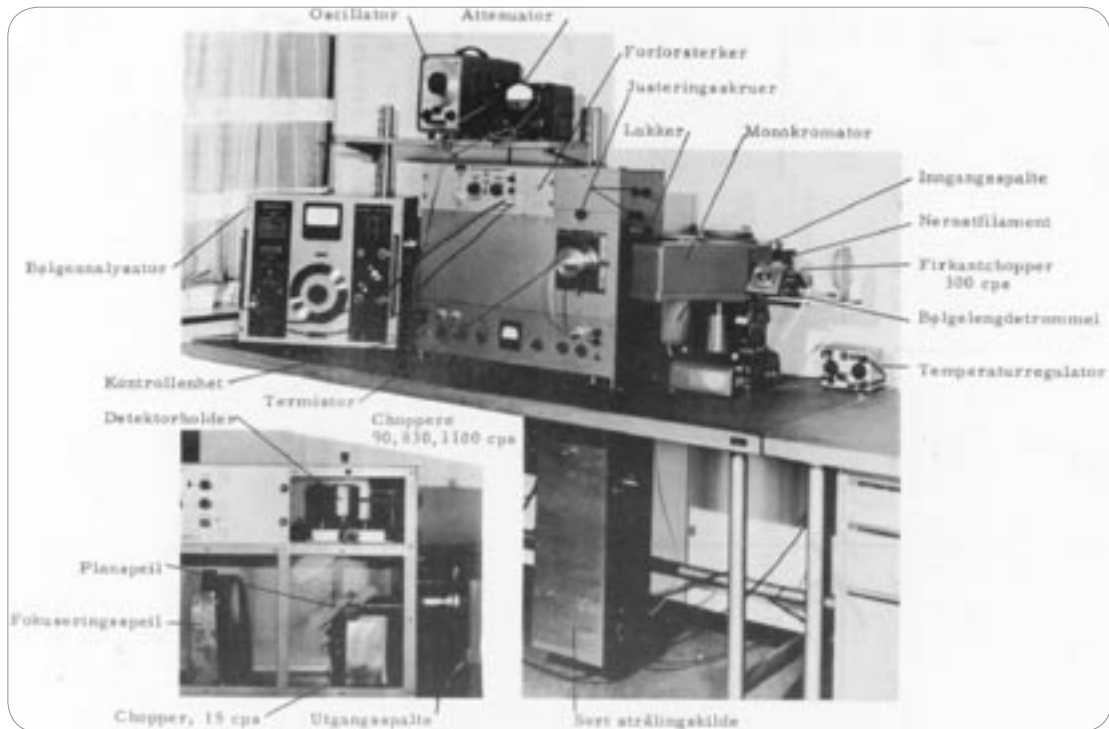
Detektorelementet må nedkjøles

Det man hittil hadde laget ved kjemiavdelingen var selve detektorelementet. For at dette skal virke må det kjøles til ca. -190°C for å undertrykke intern støy i elementet. Detektorelementet måtte derfor bygges inn i en termosflaske (dewar) med et vindu foran som slapp varmestrålingen fra målet inn til elementet. Detektorelementet ble montert på en metallplate som dannet bunnen i termosflasken for å få effektiv nedkjøling, og tilledningene til elementet måtte gå ut gjennom glassveggen. Det er også viktig at termosflasken er godt termisk isolert slik at vanddamp i luften ikke kondenserer på utsiden ved nedkjøling. Dette betinger et godt vakuum i termosflasken.

Som det fremgår er det en rekke teknologier som må beherskes for å lage en komplett detektor, så som glass-metall-forbindelser, glass-safir-forbindelser og vakuumteknologi. Dessuten måtte vi utvikle en hensiktsmessig måte å kjøle detektoren på. Alt dette var på det nærmeste upløyd mark ved FFI på denne tiden.

Detektorgruppen utvides

Våren 1963 hadde Erling Sunde avtjent sin verneplikt ved FFIs radaravdeling i Bergen hvor han hadde arbeidet med mikrobølgerør. Gjennom dette arbeidet hadde han fått kjenn-



Apparatur for måling av IR-detektorer 1963.

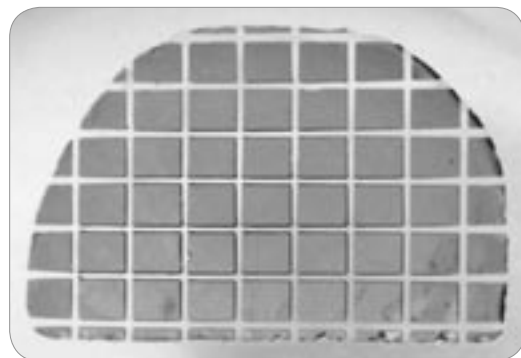
skap til glassmetallforbindelser og vakuumenteknologi. Arbeidet med Penguinsøkeren var i full gang ved elektronikkavdelingen og man trengte flere medarbeidere. Sunde oppsøkte Jæger for å undersøke mulighetene for jobb. "Har du lyst til å utvikle IR-detektorer?", spurte Jæger. Sunde visste knapt hva en slik detektor var, men svarte ja, fikk utlevert en tykk artikkel om temaet med beskjed om å møte opp neste dag for å bli eksaminert om innholdet. "Ta også med en formell jobbsøknad på en to-tre linjer", sa Jæger. Alt var så velsignet enkelt den gang.

Målet var altså å utvikle en komplett IR-detektor tilpasset det optiske systemet i Penguinraketten. Dette utviklingsarbeidet ble nå startet ved Avd E med Erling Sunde som leder, men medarbeiderne ved kjemiavdelingen ble ennå benyttet til prosesseringsarbeid for detektorelementet frem til sommeren 1965. Allerede våren 1964 ble det laget detektorelementer av meget god kvalitet ved FFI, men en hadde ennå ikke en komplett detektor som var tilpasset en søker.

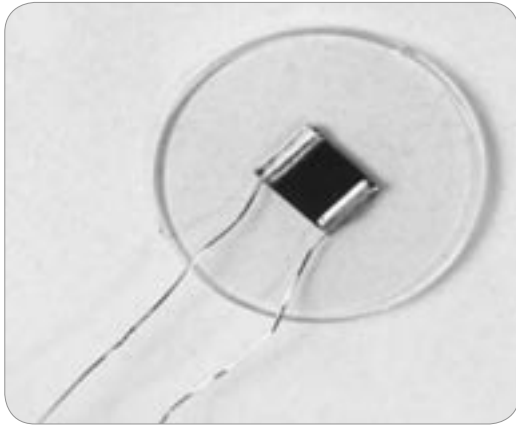
Poenget var imidlertid at tvilen var ryddet av veien. Vi var sikre på at dette skulle vi klare.

Fremstilling av detektorelementet ved Avd E

Bearbeiding av de innkjøpte InSb-halvlederskivene til ønsket tykkelse og med ønsket finhet i overflaten foregikk på samme måte som før, men under mer hensiktsmessige forhold etter at virksomheten ble flyttet over til Avd E. Alt arbeid med fremstilling av elementene foregikk under kontrollerte klimaforhold på Skogens "Renlab". Fotolitografien var nå tatt i bruk. Halvlederskiven ble belagt med et lag lysfølsom fotoresist (emulsjon) og belyst gjennom en fotografisk fremstilt film med de ønskede elementdimensjoner. Etter fremkalling sto en igjen med elementkonfigurasjoner i syrefast fotoresist med bar



Utetsede detektorelementer.



Detektorelement for Mk1-detektor på safir-substrat klar for montering i termosflaske.

halvleder i mellomrommene. Etter dypping i et etsebad ble mellomrommene etset vekk og en sto igjen med 40-50 elementer med meget nøyaktig kantdefinisjon etter at fotoresisten var vasket vekk.

Alle prosesser for fremstilling av elementer som krevde ekstra rene forhold foregikk på "Renlab'en".

Utvikling av termosflasken

"Vi følte nå at vi behersket prosessene med fremstilling av selve detektorelementet", sier Sunde. "Det neste hovedproblemet var derfor å utvikle en egnet termosflaske, slik at detektorelementene kunne kjøles til ca. -190°C ."

Ved FFI var det ved dette tidspunktet ingen som hadde den nødvendige kunnskap om de forskjellige teknologiene som trengtes til dette utviklingsarbeidet. Termosflasken kunne i prinsippet lages hovedsakelig i metall eller ved en kombinasjon av glass og metall. Den siste måten ble valgt, ikke minst fordi instituttet hadde en meget god teknisk glassblåser, Jan Knudsen. Knudsen kunne bare norsk, noe som plaget ham fordi han gjerne ville sette seg inn i faglitteraturen. Sunde fant frem aktuelle artikler og oversatte for ham, og Knudsen var rask til å nyttiggjøre seg nye kunnskaper.

"Siden vi selv ikke hadde erfaring med fremstilling av termosflasker, spionerte vi først litt på hvordan andre hadde løst problemet", sier Sunde. "I en prototypesøker hadde vi en tid benyttet InSb-dioder som detektorer,

fremstilt ved HAFO (Institut för halvledarforskning) i Sverige, men disse detektorene mistet sitt vakuum i løpet av få uker. Vi bestilte også en detektor fra Texas Instruments til den uhyrlige sum av 7000 kroner. Jeg hentet klenodiet på Tollpostkontoret, men stemningen sank dramatisk da den sprakk ved første nedkjøling. Jæger ble umiddelbart informert om dette. Han tok det hele meget rolig og sa bare at disse problemene må vi tydeligvis selv finne ut av."

For å lage en komplett detektor må en beherske teknikken med å sammenføre glass og metall. Glass ble valgt som hovedmateriale i termosflasken fordi det lett lar seg forme og har lav varmeledningsevne, noe som er viktig når detektorelementene skal kjøles. Metall brukes som bunn i termosflasken for å sikre god termisk ledning mellom kjølevæsken og detektorelementet, dessuten blir elektriske ledninger fra elementet, som ligger i vakuum inne i termosflasken, ført ut gjennom glassveggen.

Det ble tidlig på 1960-tallet utviklet glass typer og metallegeringer som hadde nær lik termisk utvidelseskoeffisient over et stort temperaturområde. Glasset og metallet sammenføres ved temperaturer nær 1000°C og



Jan Knudsen på glassteknologisk laboratorium. Utgassing av kovarmetall før sammenføring til glass.



IR-detektor for Penguin Mk1. Detektorelementet skimtes bak safirvinduet til høyre.

skal ved bruk kjøles til nær -200°C . Mest kjent var kombinasjonen av såkalt kovarglass og kovarmetall (en jern-nikkel-kobolt-legering). Disse materialene og sammenføyningsmetodene kjente Sunde fra sitt arbeid med mikrobølgerør ved Avdeling for radar (Avd R) i Bergen. Glass og metall ble innkjøpt fra Tyskland og Jan Knudsen tilegnet seg raskt sammenføyningsteknikken.

For at detektorelementet skal kunne "se" den ønskede infrarøde strålingen fra målet, må det sitte et transmitterende vindu foran elementet. Det naturlige materialet å velge til dette var safir. Safir har meget velegnede optiske, mekaniske og termiske egenskaper. En god forbindelse mellom kovarglass og safir er derfor enkel å lage. De innledende forsøkene ble gjort med fasettslipte dameurglass, innkjøpt hos en urmaker i Lillestrøm.

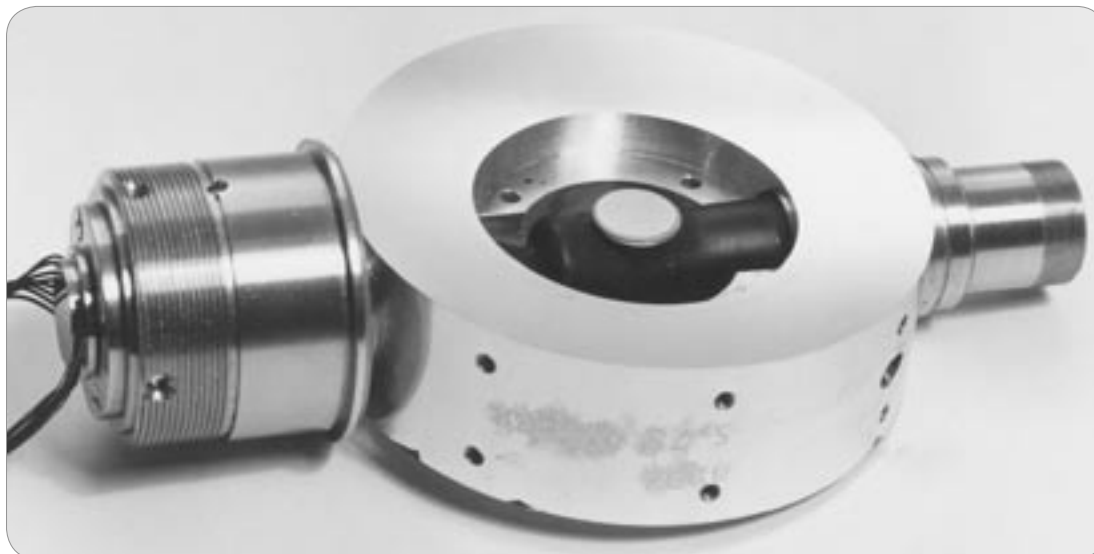
En detektor må ha lang levetid, og spesielt viktig er det å kunne garantere at vakuomet i termosflasken vil holde seg i minst 10 år. Dette stilte meget spesielle krav til materialene, for eksempel til limet som ble brukt til å feste detektorelementet inne i termosflasken. Det må også utvises ekstrem renslighet under innmonteringsprosessen. For ytterligere å sikre levetiden ble det montert et "getter" inne i termosflasken. Getteret var fremstilt av en spesiell metallegering med evne til å binde restgasser og de gasser som med tiden måtte diffundere inn gjennom glassveggene. De materialvalgene som den gang ble gjort har vist seg å være gode. Det finnes detektorer fremstilt i 1967 som 35 år senere har sitt vakuum intakt.

Spektralfiltre på safirvinduet

For å kunne gi søkersystemet i Penguinraketen de optimale spektrale egenskaper som krevdes for å skille skipsmålenes varmestråling fra strålingen fra solen og høytemperatur narrekilder, var det nødvendig med et filter på safirvinduet som reduserte uønsket stråling innenfor det spektrum som detektoren var følsom for. Det var Christian Holm som fremstilte de interferensfiltre som var nødvendig. Det ble gjort på "Tynnfilmfab'en", som var innredet for slik virksomhet med det nødvendige vakuum- og måleutstyr. (Se "Spesielle teknologiområder" i denne hefteserien.)

Detektoren skal produseres

Detektoren for Penguin Mk1 var ferdig utviklet og miljøtestet i 1967, og man så for seg en norsk produksjon av denne komponenten. Dette ville kreve flere medarbeidere i detektorgruppa, og høsten 1967 ble Ragnar Kristiansen ansatt. Utviklingsarbeidet med infrarøde detektorer hadde så langt mye gått ut på å vise at det var mulig å lage slike komponenter ved instituttet. Skulle detektorene produseres i antall ville dette kreve mye mer systematikk for å utvikle reproduerbare fremstillingsprosesser. Kristiansen var "rett mann til rett tid". Han var meget arbeidsom, systematisk og med velutviklet praktisk teft. Prosessbeskrivelser og tegninger ble utarbeidet og det ble etter hvert enighet om å velge Akers Electronics i Horten som samarbeidspartner for produksjon av Penguin-detektoren. Akers Electronics ansatte så Tor Solem og Olav Svankvist for å bli lært opp i fremstillingsprosessen ved FFI og bygge opp en produksjonslinje i Horten. Dette arbeidet startet i 1968, og allerede året etter var Akers Electronics i stand til å produsere



Mk1-detektor montert i primærspeil med forforsterker.

Penguin Mk1-detektorer, med noe bistand og produksjonsovervåking fra FFI.

Parallelt med detektorutviklingen ble det også utviklet et kjølesystem basert på overføring av flytende nitrogen fra en beholder med svakt overtrykk gjennom en plastslange til detektoren. Allerede i 1963 hadde Sunde laget et enkelt kjølesystem etter dette prinsippet for FFIs måleekspedisjoner. For operativ bruk av Penguin ble det anskaffet et engelsk kjølesystem som arbeidet etter samme prinsipp.

Ny søker med stillestående detektor

Ettersom en fikk operativ erfaring med Mk1-søkeren, oppsto ønske om å utvikle en ny søker der detektoren sto i ro. I Penguin Mk1 roterte detektoren sammen med primær-speilet, og detektorsignalene ble overført til elektronikken over sleperinger, som ga støy. Dessuten så en store problemer med kjølesystemet, der en til enhver tid måtte medbringe flytende nitrogen og etterfylle systemet, også under barske værforhold. En ønsket i neste detektorgenerasjon å kunne kjøle med en "minikjøler" basert på temperaturfallet en får ved ekspansjon av høytrykks argongass, en såkalt Joule-Thomson-kjøler som er plassert i detektoren. Den store fordelen ved et slikt kjølesystem er at argongassen blir oppbevart i en forseglet høytrykks beholder i missilet. Der kan den lagres hele missilets levetid uten at den må etterfylles.

Når detektoren skal kjøles åpnes en ventil slik at gassen kan strømme til minikjøleren.

Arbeid med nye materialer

Penguindetektoren var som nevnt basert på Indiumantimonid og følsom ved ca. 3,5-5,5 μm bølglengde. Det ville være ønskelig med detektorer som er følsomme ut til ca. 10 μm for å detektere objekter ved vanlige omgivelsestemperaturer. Utover i 1960-åra ble det ved utenlandske forskningsinstitutter arbeidet med materialer som bly-tinn-tellurid og kadmium-kvikksølv-tellurid. Den store fordelen ved disse halvleder-materialene er at følsomhetsområdet kan tilpasses ved å endre sammensetningen av materialene. For å følge med i dette fagfeltet, selv om det ikke hadde noen umiddelbar innvirkning på Penguin, ble det besluttet å arbeide med disse materialene også.

I 1968 ble Harald Rygg og i 1969 Per Otto Løpen ansatt i detektorgruppa. Den var nå blitt så stor at en kunne ta opp mer forskningspregede aktiviteter ved siden av det som krevdes for Penguin videreutvikling, og spesielt utvikle detektorer for bølglengder omkring 10 μm . Det ble satset på epitaktisk groing av bly-tinn-tellurid ved en vakuum pådampingsteknikk, og målsettingen var å fremstille Schottky-dioder. Dioder ble valgt fordi de elektroniske parametrene for dette materialet gjorde det lite egnet som fotoleder, slik som InSb. Dette arbeidet pågikk i noen år, og vi klarte å gro materiale med høy renhet og

gode elektroniske egenskaper. Groteknikkene for kadmium-kvikksølv-tellurid hadde vært vanskelige å mestre, men etterhvert forbedret disse seg, og da denne halvlederen avgjort hadde flere fordeler fremfor bly-tinn-tellurid, satset alle store detektorfabrikanter på dette materialet for sin detektorproduksjon. Vårt arbeid med bly-tinn-tellurid ble avsluttet, og vi begynte i stedet å tenke på å utvikle en fremstillingsteknikk for detektorelementer basert på kadmium-kvikksølv-tellurid. Allerede i 1973 gjorde Kristiansen og Sunde forsøk på å fremstille en 32-elementers rekkedetektor av kadmium-kvikksølv-telluridmateriale som Jæger hadde fått i England. Materialet var ikke av beste kvalitet, men resultatene viste klart at dette ville vi mestre så snart bedre materiale ble tilgjengelig.

Videreutvikling av søkeren

Videreutvikling av Penguinsøkeren krevde etter hvert større innsats. Det var for det første ønskelig med et nytt kjølesystem basert på høytrykks argongass. Hymatic i England utviklet et slikt kjølesystem i samarbeid med FFI. Løpen ledet dette arbeidet fra FFIs side. Joule-Thomson-minikjøleren som ble utviklet i dette samarbeidet ble meget vellykket.

Å utvikle missilsøkere vil alltid være en kamp mot motmiddelutviklingen. De første Penguinsøkerne (Mk1 og Mk2 Mod2) hadde relativt enkle detektorer. Utviklingen av motmidler

utover i 1970-årene krevde mer kompliserte detektorløsninger for å kunne skille mellom reelle og falske mål. En ønsket derfor å gjøre bruk av flere spektralområder, noe som satte langt større krav til spektralfiltrene enn det som hittil hadde vært nødvendig. Filtrene måtte limes fast foran detektorelementene som lå inne i vakuum og kjøles til flytende argontemperatur (ca. -190°C). Dette satte naturligvis nye strenge krav til hvilke materialer som kunne benyttes i filtrene. Oppgaven var vanskelig, men Christian Holm var dyktig både teoretisk og praktisk og oppgavene ble løst med stor suksess. Oppbygningen av detektorene ble også mye mer komplisert for å hindre overhøring mellom de forskjellige spektralområdene og det ble et langvarig utviklingsarbeid med mye testing før vi kunne si oss fornøyd med konstruksjonen.

På denne tiden ble Ulv Skafle ansatt som laborant. Han utdannet seg senere til ingeniør og kom deretter tilbake til detektorgruppa i 1981 og har siden vært en nøkkelperson innen detektorutviklingen. Skafle likte også "større" utfordringer. I 1996 kunne han observeres i Romerikssåsen trekkende på to bildekk i tau. Det var forberedelse til en tre ukers skitur over Grønland sammen med fire andre hardhauuser. Siden ble det bl.a. bjørnejakt i Canada. Det var i det hele tatt stor friluftaktivitet i detektorgruppa. Det var både fjellklatrere, sportsfiskere og orienteringsløpere. Det var særlig Rygg, Løpen og Skogen



Fra detektorlaboratoriet. Fra venstre: Erling Malvin Sunde, Ragnar Kristiansen, Ulv Skafle.



som drev med disse aktivitetene. Kristiansen, Skogen og Skafle var også Birkebeinere.

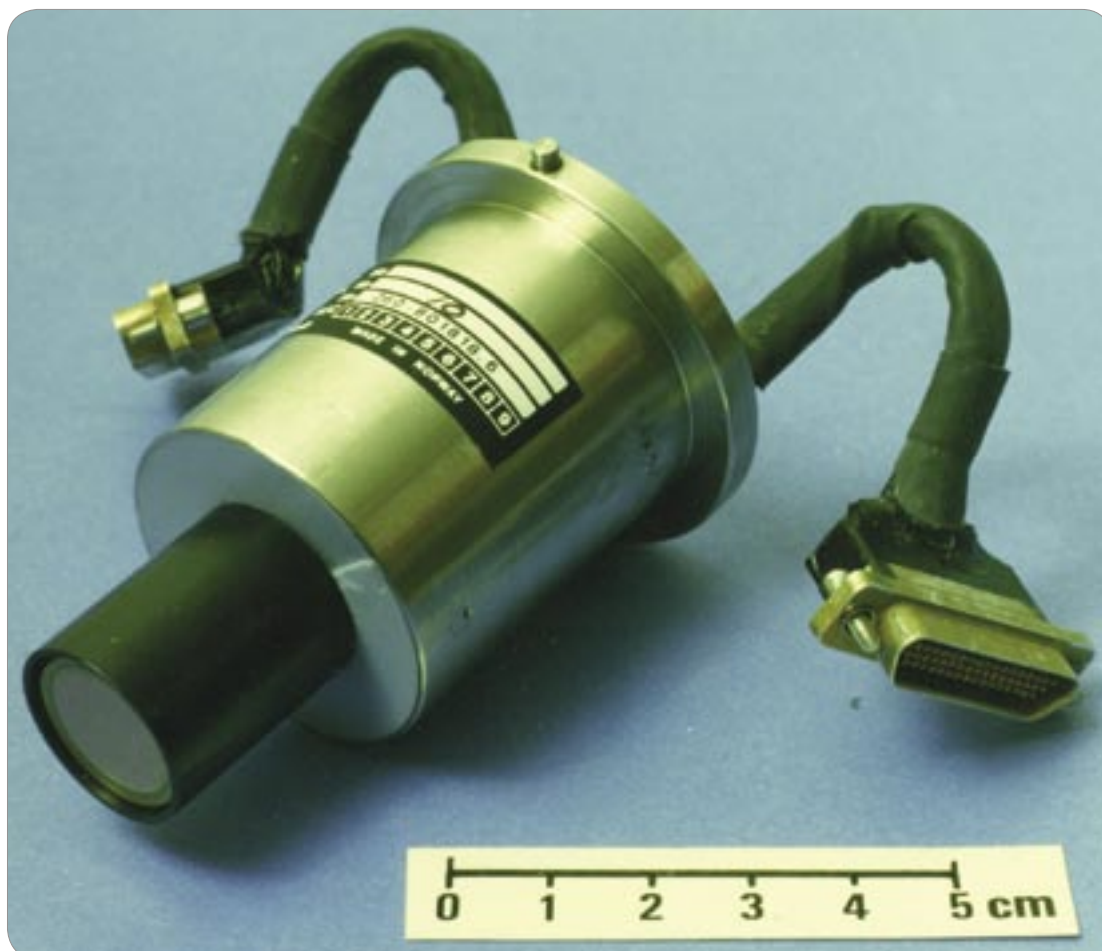
Kongsberg etablerer søkeravdeling på Kjeller

Penguinraketten hadde vært en suksess for KV og de ønsket etter hvert å ta hånd om all videreutvikling og produksjon. Dette ledet til KVs ønske om å etablere en søkeravdeling på Kjeller. Slik kunne de best dra nytte av den ekspertise som fantes ved FFI. I 1983 ble denne avdelingen en realitet med Birger Kommedal som leder. Dette ble også et tidskille for detektorgruppa ved instituttet, idet både Ragnar Kristiansen og Per Otto Løpen og senere også Harald Rygg ble ansatt ved KVs Avdeling på Kjeller. Der ble det etablert en produksjonslinje for detektorer, slik at KV ble selvforsynt med denne nøkkelkomponenten for de senere søkermodellene.

Nye utfordringer

Tilbake på FFI satt Skafle og Sunde og lurte på hva fremtiden ville bringe. Det hadde i noen tid pågått et utviklingsprosjekt for et termisk avbildningsutstyr (TC10) i elektro-optikk-miljøet ved Avd E. Til dette trengtes en spesiell infrarød detektor som var følsom ved 10 μm bølgelengde. Dette ble den nye arbeidsoppgaven for detektorgruppa. Detektoren skulle være en mangeelements rekke-detektor av kadmium-kvikksølv-tellurid. Slike elementer kunne vi på dette tidspunktet ikke lage, så de ble innkjøpt fra General Electric i England. Det øvrige utviklingsarbeidet ble gjort hos oss, og vi produserte også et antall av disse detektorene da TC10-kameraet ble satt i produksjon ved Simrad Optronics.

Gjennom dette prosjektet fikk vi erfaring med det nye detektormaterialet kadmium-kvikksølv-tellurid. Det ble etter hvert mulig å kjøpe slike krystaller fra Cominco i Canada,



Detektoren til TC10-kameraet besto av to 32-elementers kadmium-kvikksølv-tellurid rekke-detektorer.



vår gamle leverandør av InSb-materiale. Materiale ble innkjøpt, og Skafle og Sunde begynte å utvikle egne fremstillingsprosedyrer for elementtrekker, basert på den erfaring de hadde fra tilsvarende utviklingsarbeider. Dette dannet i sin tur basis for utvikling av infrarød detektor for NSM (Nytt Sjømåls Missil, senere Naval Strike Missil) da dette ble aktuelt i 1990-årene.

Detektoren til NSM krevde utvikling av mye ny teknologi, ikke minst for termosflasken som de nye rekkeelementene skulle monteres i.

Flere elementer krevde flere elektriske gjennomføringer i termosflasken, og detektor-

elementer for mer langbølget stråling gjorde det nødvendig med andre vindusmaterialer.

Fremstilling av infrarøde detektorer har gjennomgått en stor utvikling, både når det gjelder kompleksitet og kvalitet i de 40 årene det er blitt utviklet og produsert slike komponenter ved FFI og KV. Prosesseringsutstyret har selvsagt endret seg enormt, men de grunnleggende ferdigheter som ble utviklet i Penguins pionertid midt på 1960-tallet er fortsatt aktuelle.

Bidragstere: Erling Malvin Sunde, Erling Skogen.

IR-KAMERA (FLIR)

Bakgrunnen for FFIs aktivitet innenfor teknologiområdet IR-avbildning (FLIR – Forward Looking Infrared) er noe uklar, men Rolf Utne kan erindre en uformell forespørsel fra Sjøforsvarets overkommando (SFK) om assistanse i forbindelse med deres Marconi Low Light TV-system på MTB-fartøyene. Billedkvalitet og funksjon var ikke som forventet, og "blooming" på grunn av fyrlykter og andre lyskilder i deres operative miljø, var et problem.

En annen viktig grunn kan være at noen av de ressurspersonene som hadde vært aktivt med under utviklingen av IR-søker for Penguin-raketten og påfølgende assistanse i forbindelse med at videreutvikling og produksjon ble overført til KV, nå var tilgjengelig for nye oppdrag.

Våren 1974 tok Tycho Jæger initiativet til det som skulle danne grunnlaget for utvikling og senere serieproduksjon av TC10 Thermal Camera for overvåking av havområder samt deteksjon og gjenkjenning av overflatefartøyer. Utne fikk tildelt ansvaret for å realisere Tychos idéer og drive frem en laboratoriemodell for å presentere IR-bilde på en TV-monitor.

Rolf Utne ledet utviklingen av IR-kameraet helt frem til produksjon og har fortalt om dette.

FFI var tidlig på banen med hensyn på billeddannende IR-kamera, og et konsept basert på en enkelement detektor fra Hafo ble utviklet og demonstrert på senere halvdel av 60-tallet. Dette instrumentet hadde både vertikal og horisontal avsøking av synsfeltet, og IR-bildet ble presentert på et katodestrålerør (CRT). Oddbjørn Haug og Harald Schiøtz var involvert i utviklingen.

Under tidsperioden (1970-80) var det et vel etablert støtteapparat på instituttet, slik at en var selvhjulpen i forbindelse med de fleste praktiske arbeidsoppgaver. På Avd E fantes:

- Laboratorium for fremstilling av flerlags plettete kretskort i kjelleren.
- Tynnfilmlaboratorium for filterfremstilling og renlaboratorium for mikromønsterprosessering i 3. etg.
- Tykkfilmlaboratorium i kjelleren.
- Detektorlaboratorium i 3. etg.
- Mekanisk avdelingsverksted i 1. etg.
- Glassteknologisk laboratorium i kantinekjelleren.

Det skulle vise seg at instituttets aktivitet i forbindelse med utvikling, feltprøver og markedsføring av FLIR-konseptet samt tek-

nologioverføring til industrien, kom til å vare over en periode på hele 10 år med følgende hovedfaser:

- Fase 1** Utvikling av laboratoriemodell
- Fase 2** Eksperimentfase
- Fase 3** Utvikling av B-modell
- Fase 4** Utvikling Produksjonsmodell (Simrad Optronics)

Blant de mange entusiastiske ressurspersonene som bidro til at prosjektet ble vellykket kan nevnes:

Detektorlaboratoriet:

Erling Sunde, Ragnar Kristiansen, Ulv Skafle.

Optikk:

Halvor Heier, Paul Narum

Elektronikk:

Terje Heggøy, Kjell Vikan, Paul Narum

Tynnfilm laboratoriet:

Christian Holm

Renlaboratoriet:

Erling Skogen

Mekanisk verksted:

Gerhard Berg

Glassteknologisk laboratorium:

Jan Knudsen

Fase 1

Hvilke kravspesifikasjoner som lå i bunnen for det første designkonseptet er ukjent, men basiskomponenten var en CMT (Kadmium Kvikksølv Tellurid) rekkedetektor fra Mullard (32 elementer med 50 x 50 µm areal og 12,5 µm mellomrom).

Halvor Heier hadde ansvaret for optikken, og for å oppnå høy termisk følsomhet og kort byggelengde, ble det valgt et Cassegrain system, dvs. foldet speiloptikk med et relativt stort parabolisk primærspeil (Ø 150 mm) og plant sekundærspeil. Speilene ble fremstilt av zerodur, som er et temperaturstabilisert keramisk materiale og pådampet en tynn gullfilm for å oppnå optimal refleksjon i det aktuelle bølgelengdeområde 8-10 µm.

Teoretisk skulle dette konseptet gi en støyekvivalent temperaturopløsning (NETD) på 0,02°C og romlig oppløsning på 0,5 mrad.

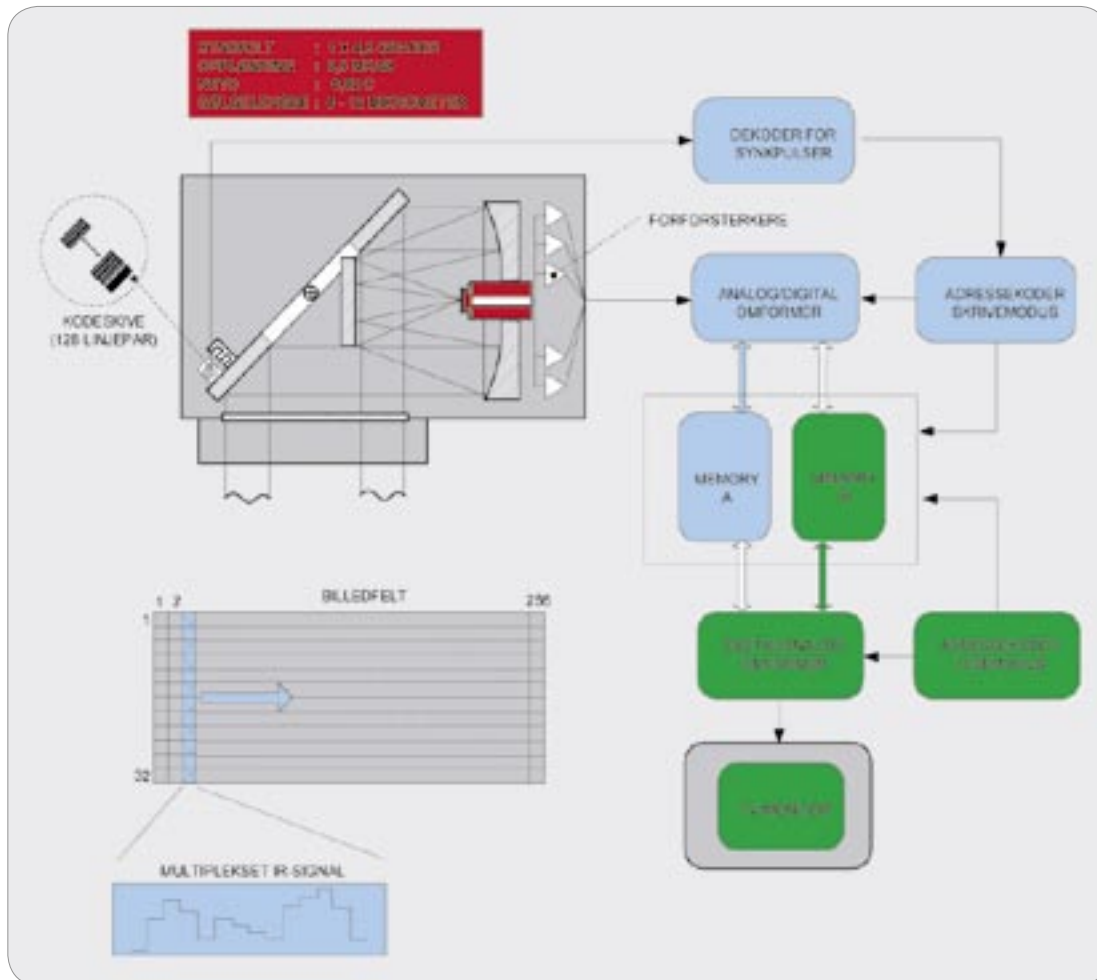
"Gitt det optiske design, fikk Tycho overtalt meg til å ta ansvaret for utvikling og realisering av de øvrige elementene i konseptet", sier Utne. "Argumenter om at denne oppgaven lå noe utenfor mitt kompetanseområde førte heldigvis ikke frem, og det ble noen lærerike og spennende år fremover."

Den største utfordringen var hvordan en skulle realisere skannebevegelsen av det store planspeilet.

"Ideen om å benytte en permanent magnet festet til speilet kom sannsynligvis raskt på



Den første laboratoriemodellen, med optisk hode til høyre, og elektronikken ble konstruert og bygget i løpet av seks måneder, og det første IR-bildet kunne vises på TV-monitor høsten 1974.



Figuren viser prinsippet for signalprosesseringen. Signalprosesseringen baserte seg på en "scanconverter" med to videohukommelser som vekselvis opererte i skrive- og lesmodus styrt av skannespeilets bevegelsesretning. Under skrivemodusen ble så de 32 detektorelementene samlet sekvensielt og tilhørende signalnivåer lagret som en serie av billedpunkter 32 x 256 med åtte bit oppløsning. I parallell med innlesningen ble det generert videosignal til TV-monitoren fra den hukommelsen som opererte i lesmodus.

banen, for jeg kan ikke erindre at vi eksperimenterte med andre løsninger for denne funksjonen", sier Utne. En spole viklet opp på en E-kjerne fungerte som drivkrets. Speilet ble skrudd fast til ett sentrert vertikalt stag som hadde torsjonsfjær i hver ende.

Skannefrekvensen var 12,5 Hz med vinkelutslag på ca. $\pm 1,5^\circ$.

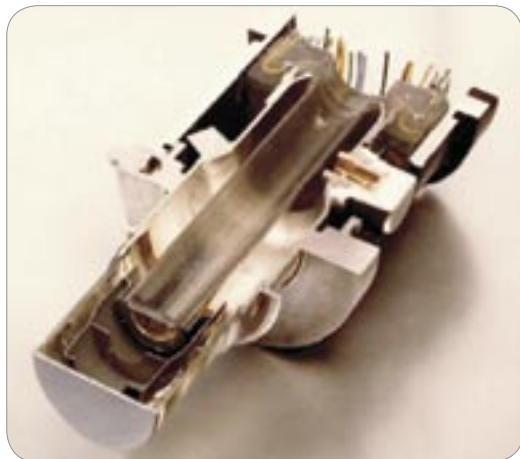
Utfordringer relatert til skannebevegelsen var linearitet innenfor det aktive området, minimalisering av dødtid i snufasen samt generering av posisjonsrelaterte synkroniseringspulser.

Ved å drive speilet mot gummibelagte mekaniske endestopper, ble det oppnådd

en skanneeffektivitet på akseptable 80%. Bildet ble kontinuerlig vist på skjermen ved å lese ut lagret informasjon fra Memory, men detektoren var aktiv på den av søkte scenen kun i 80% av tiden. (Høy skanneeffektivitet gir bedre temperaturfølsomhet.)

Synkroniseringspulser ble generert optisk ved at det ble fokusert en lysspalte ned mot ett finmasket gitter festet til speilet og modulasjonen ble detektert av en tilhørende fotodiode.

Selve gittermønsteret ble etset ut på en krombelagt safirskive, og det var en stor utfordring for Renlaboratoriet å lage disse feilfrie. (128 linjepar med oppløsning $10 \pm 0,5 \mu\text{m}$).



Snitt gjennom en 32 elements detektor fra Mullard.

Microcontrollere var ikke tilgjengelig på dette tidspunkt, så kontrollogikken baserte seg på dekodning av ett større antall binærtellere.

CMT-detektorer er av typen "fotoledende" som innebærer at resistansen (nominelt 40 ohm) endrer seg som funksjon av IR-stråling (temperaturvariasjoner) som fokuseres inn på elementet. For å oppnå akseptable signal-/støyforhold må elementene kjøles ned og stabiliseres på en konstant lav temperatur. Til å begynne med ble det benyttet flytende nitrogen (77°K) som tilsvarende -195°C for nedkjøling. Standardkonseptet for detektorkjøling baserer seg på at detektorelementene er montert i en avansert vakuumtett termosflaske (Dewar), og nitrogen tilføres i et åpent hulrom bak selve detektorelementene, se snittbilde som viser en 32 elements detektor fra Mullard.

Spenningsvariasjonene, dvs. AC-komponenten, over hvert element ved en konstant biasstrøm vil være proporsjonal med temperaturvariasjoner i den avsøkte scenen, og representerer selve IR-signalet.

Forsterkningen måtte trimmes i henhold til følsomheten på hvert enkelt detektorelement, og kunne variere i forholdet 1 til 3.

Fase 2

I tid kan man si at denne fasen gikk over et par år, og omfattet aktiviteter knyttet til erfaringer og "aha"-opplevelser etter en tids bruk med instrumentet både på laboratoriet og i felten.



Den første varianten kretskort for 32 forsterkere. Detektor med tilledninger plasseres i sentrum.

Reduksjon og eliminering av støybidrag er en vesentlig del av jobben ved utvikling av de fleste elektronikk-systemer, og det var i tillegg en del problemer knyttet til kjølestøy i detektoren.

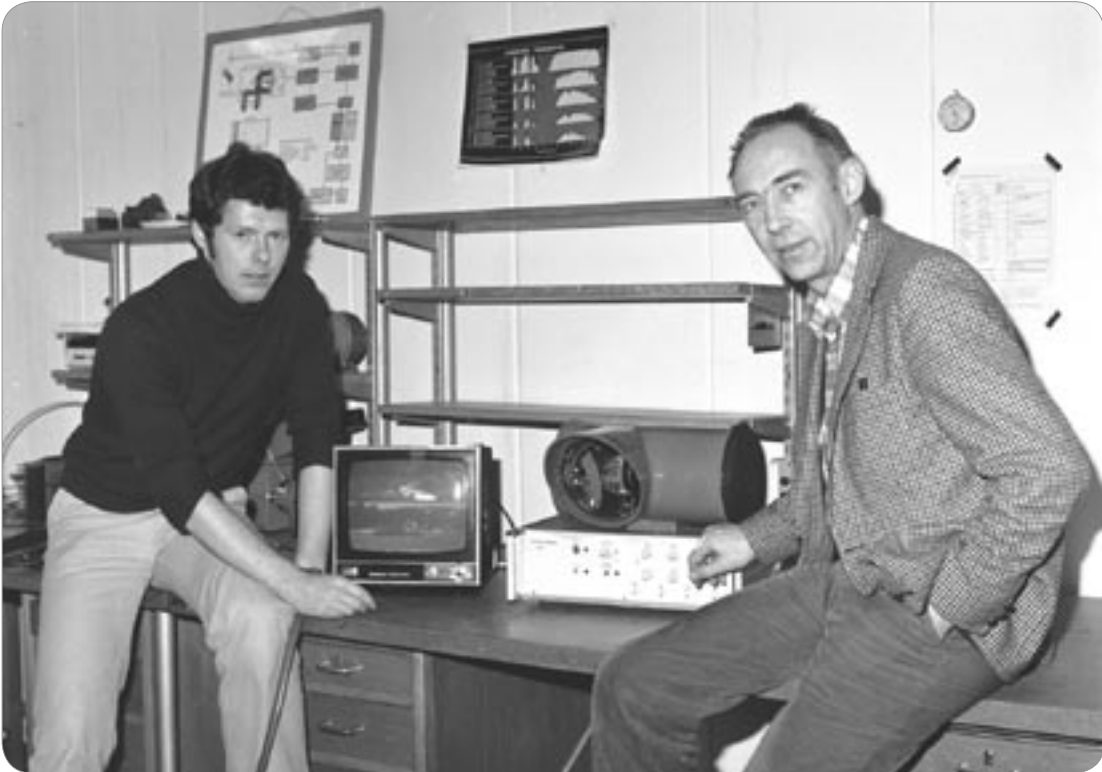
Årsaken var små temperaturvariasjoner grunnet fordampning av kjølemediet, og det ble i begynnelsen eksperimentert med en buffer av små puter av bomull og finmasket netting i bunnen av Dewars innerrør.

Under arbeidet med utvikling av en ny Dewar for våre egenproduserte detektorer ble dette problemet vesentlig redusert ved å innføre en tykk kovarblokk som heatsink bak detektorelementet.

En ble tidlig klar over at det var behov for bedre romlig oppløsning. 0,5 mrad tilsvarende fem meter på avstand 10 km, og for gjenkjenning av fartøyer var dette for dårlig. Det ble jobbet med flere alternative konsepter for optikken, men en fant ingen tilfredsstillende løsning på dette tidspunkt.

På en sort/hvit TV-monitor er det begrenset hvor mange gråtonenivåer man kan oppløse, og det medførte at det tidlig ble bygget en tilsatsenhet for å presentere bilde på en fargemonitor. Ved hjelp av et krysskopplingsbrett kunne en enkelt programmere og velge fargekombinasjoner for definerte nivåer på videosignalet.

Konklusjonen var at farger var til stor nytte når en skulle identifisere områder eller objekter innenfor synsfeltet med samme strålingsintensitet, men for gjenkjenning av objekter var det bedre med gråtonepresentasjon.



Tycho Jæger (t.h.) og Terje Heggøy demonstrerer IR-kameraet på laboratoriet.

Eksperimentmodellen hadde synsfelt på ca. $1 \times 4,5$ grader, og på grunn av detektorens geometri med $12,5 \mu\text{m}$ mellom elementene resulterte dette i 20% tapt informasjon i vertikalplanet. På monitoren bidro dette til at man fikk ett utpreget linjemønster i bildet, og man hadde tidlig idéer om å endre på detektorgeometrien slik at elementene ble plassert i to parallelt forskjøvede rekker, såkalt "staggered", og dermed oppnå 100% dekning. Mullard ble forespurt, men prisen for en slik variant var uakseptabel høy, så ideen ble skrinlagt.

Noen prøver i felten med instrumentet hadde stor innflytelse på den videre skjebne for dette prosjektet, og Utne husker spesielt første gang de fikk vist kameraets evne til å se gjennom tåke. Dette var under en ekspedisjon til Haakonsvern og det lå tett frostrøyk over sjøen. Det var laget et arrangement slik at en simultant kunne ta opptak både av IR-video og vanlig video, og på IR-video kunne en tydelig se landformasjoner med hus i strandkanten. Disse detaljene var helt fraværende i det synlige området.

På denne tid var det også ett prosjekt ved instituttet som omfattet kamouflasjerøyk, og

under en prøve som omfattet kjøretøyer og røyk i forskjellige varianter, ble det demonstrert at denne kamouflasjen var helt uten effekt i $8\text{-}10 \mu\text{m}$ IR-området.

På Haakonsvern ble det gjort tilsvarende prøver mot fartøyer som lå kamuflert med nett inntil land med optimal bakgrunn i det synlige området. For IR var dette lite effektivt, og spesielt personell som befant seg bak nettet var lett synlig.

Opptak fra disse prøvene ble vist ved en hver anledning når det var besøk av høyere militært personell ved instituttet, og bidro til å skape blesst og interesse for teknologien.

Fase 3

I denne perioden ble det utviklet en mer robust B-modell beregnet for installasjon og feltprøver i det maritime miljøet. Paul Narum, senere administrerende direktør ved FFI, hadde nå startet sin karriere ved instituttet og tilegnet seg raskt de nødvendige kunnskaper innen FLIR-teknologi, slik at han ble en ressursperson som bidro sterkt i den videre utvikling av IR-kameraet.



64 element Dewar under montering. De vertikale "strekene" er tilledninger smeltet i glass og var en stor utfordring.

For B-modellen ble det besluttet å utvide antall detektorelementer til 64, hvilket medførte en intens aktivitet på detektorlabben og i glassblåserverkstedet for å utvikle en ny multielements Dewar. Tycho var fast bestemt på at denne teknologien måtte vi tilegne oss, og i forhold til tidligere produserte Dewars for Penguindetektoren, så var dette en stor utfordring. Aktiviteten fikk større omfang etter hvert og kom til å omfatte prosessering av selve detektor-arrayet basert på innkjøpte dopede CMT-skiver.

En ikke helt ufarlig delprosess under Dewar-fremstillingen var pådamping av en anti-refleksfilm på Dewarvinduet. Christian Holm som var filterekspert hadde funnet frem til at Torium ga gode resultater. "Vi var ikke så opptatt av helse- og miljø sikkerhet på denne tiden", sier Utne, "men Torium var giftig, og Christian ville helst være alene på laboratoriet under denne prosessen."

En dobling av antall elementer i detektoren og behov for bedre romlig oppløsning (mindre pikselelementer) fikk konsekvenser for både optikk- og elektronikkdesign.

Konseptet med et stort skannespeil i objektplanet ble beholdt mens Paul sto bak optimalisering av selve IR-optikken. Resultatet ble et F 1,4 objektiv med et sfærisk hovedspeil, et mangin foldespeil i germanium og en germanium korreksjonslinse foran detektoren. Dette konseptet ga en rommelig oppløsning på 0,25 mrad og ble beholdt i produksjonsmodellen som senere ble utviklet ved Simrad Optronics.

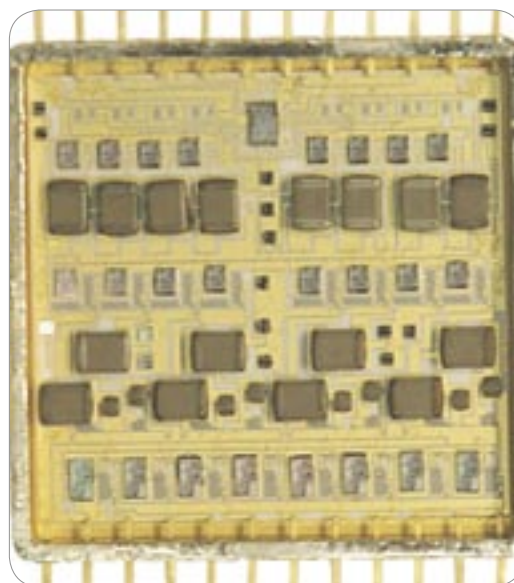


Komplette detektorer levert av FFI tilpasset Philips kjølemaskin for TC10 prod. modell.

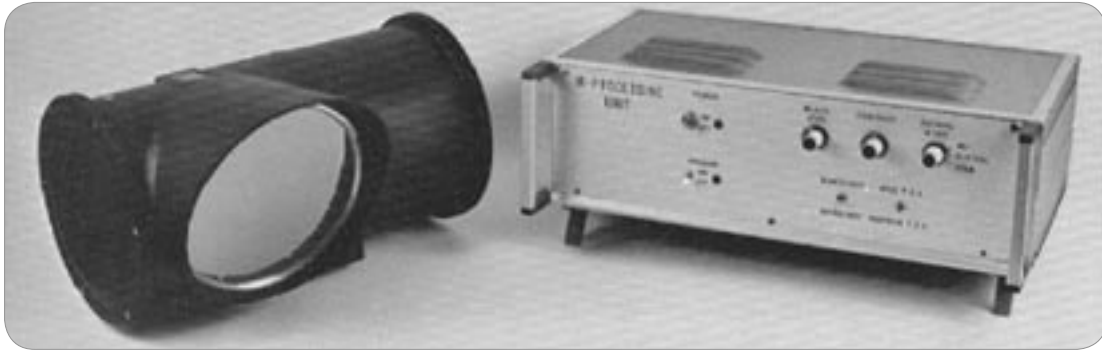
Kjell Vikan bidro til at forforsterkerne ble vesentlig forbedret ved å endre på inngangstrinnet slik at dette fungerte som en temperaturkompensert konstant spenningskilde for å mate biasstrøm gjennom detektorelementene.

I samarbeid med Renlaboratoriet ble konstruksjonen realisert som hybridkretser med åtte forforsterkere og en åttekanals multiplekser i hver kapsel med areal på 25 x 25 mm. Som et eksempel på "spin off"-effekter, så ble denne senere produsert ved Aker Electronics i Horten i ett antall på ca. 500 under serieleveransen fra Simrad Optronics.

Signalprosesseringen forøvrig fikk også en ansiktsløfting ved at detektorens responsvariasjoner som tidligere ble kompensert ved justering på forforsterkerne, nå ble realisert



Hybridkrets med åtte forforsterkere og en åttekanals multiplekser.



B-modell av IR-kamera med elektronikkboks.

digitalt ved hjelp av en multiplikatorrets og tilhørende E-PROM. I denne kunne en programmere inn korreksjonsfaktorer basert på detektorens responskarakteristikk.

For å eliminere sjenerende bakgrunnsstøy, som fremkommer på grunn av krusninger og bølger på sjøoverflaten, ble det innført en funksjon slik at operatøren kunne midle IR-signalet over ett valgbart antall skann (1-4). Funksjonen MTI (Moving Target Indikator) ble enkelt realisert ved at operatøren kunne velge å "fryse" billedinformasjonen i den ene hukommelsen, mens en vekselvis presenterte det lagrede og oppdaterte bilde på monitoren.

Blant andre funksjoner som ble innført var kompensasjon av lavfrekvensresponsen ved å midle IR-signalet i to påfølgende skanneretninger, valgbar elektronisk zoom og siktestolpe (reticule).

For B-modellen som ble fremstilt i to eksemplarer, hvorav den ene skulle installeres ombord i en MTB Hauk-klasse, var detektorkjøling ved hjelp av flytende nitrogen lite attraktivt. Såkalt "Sterling cycle"-baserte "closed cycle coolers" var fortsatt på utviklingsstadiet, så det var naturlig å velge Joule Thompson minikjølere basert på høytrykks argon/nitrogengass (200-300 bar) for kjølekonseptet.

Minikjølere var tidligere brukt på Penguin-detektoren med god erfaring, men på grunn av at vår detektor var montert horisontalt, fikk vi store problemer med å etablere en stabil kjøletemperatur over hele detektorarealet.

I denne fasen av prosjektet var feltprøver og aktiviteter for å markedsføre IR-kameraet overfor Sjøforsvaret en tidkrevende jobb. Det ble mange turer til Haakonsværn og Nes fort i Lødingen. Resultatene fra disse prøvene var overbevisende. På Nes fort, hvor kameraet var installert 40 m over havoverflaten, kunne man detektere innkommende fartøyer på en avstand av 40 km, og prosjekttilnedslag fra 150 mm kanon på 20 km.

Et av anskaffelsesprosjektene som Forsvaret hadde på denne tiden var innkjøp av lyskastere for kystfortene, og vi deltok med IR-kameraet under en demonstrasjon fra en potensiell tysk leverandør. Antall kW som ble tilført lyskasteren er ukjent, men kraftforsyningen var bygget inn i en konteiner på 3-4 m³. Demonstrasjonen gikk ut på å detektere et innkommende mørklagt fartøy.

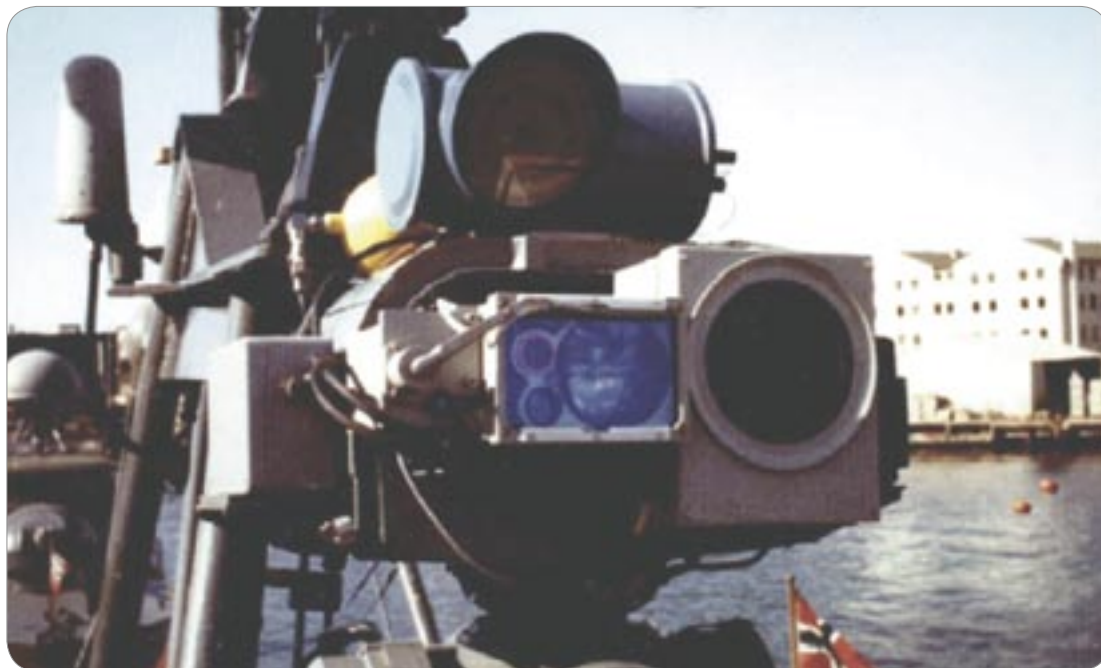
På vår monitor var fartøyet synlig med en gang etter at det rundet en odde ute på 15 km, mens lyskastersøket som best kan sammenlignes med "å søke etter en nål i høystakken", ble en ren fiasko. Fartøyet ble først oppdaget etter ca. ½ time og var da på en avstand av 2 km.

Anskaffelse av lyskastere ble ikke aktuell etter denne demonstrasjonen.

Fase 4

Simrad Optronics ble valgt som industripartner så tidlig som i 1979, og som et ledd i teknologioverføringen bygde de opp eksemplar nr. to av B-modellen.

Terje Heggøy som hadde bistått under utviklingen av IR-kameraet var moden for nye utfordringer innenfor privat industri og



Prototyp installert på MSI 80-plattform ombord i Hauk-klasse MTB sammen med Marconi lavlys TV og Ericson laser avstandsmåler. IR-kamera øverst.

aksepterte ett tilbud fra Simrad Optronics da de skulle bemanne den nye aktiviteten innenfor bedriften. Dette var helt i Finn Lieds ånd, som argumenterte for at FFI skulle være et midlertidig lærested for unge forskere og medarbeidere, slik at de senere skulle være godt forberedt for en senere karriere ute i industrien.

Simrad Optronics B-modell med mindre modifikasjoner ble installert på den stabiliserte MSI 80-plattformen (utviklet ved styrehuset på FFI) ombord i en Hauk-klasse MTB med Haakonsvern som hjemmebase. Installasjon som var i bruk over en periode på tre år (1980-83) hadde få tekniske problemer og bidro med verdifull brukererfaring og dannet grunnlag for å velge TC10 når SFK senere skulle velge instrumentering for den elektrooptiske installasjonen på de nye kystfortene.

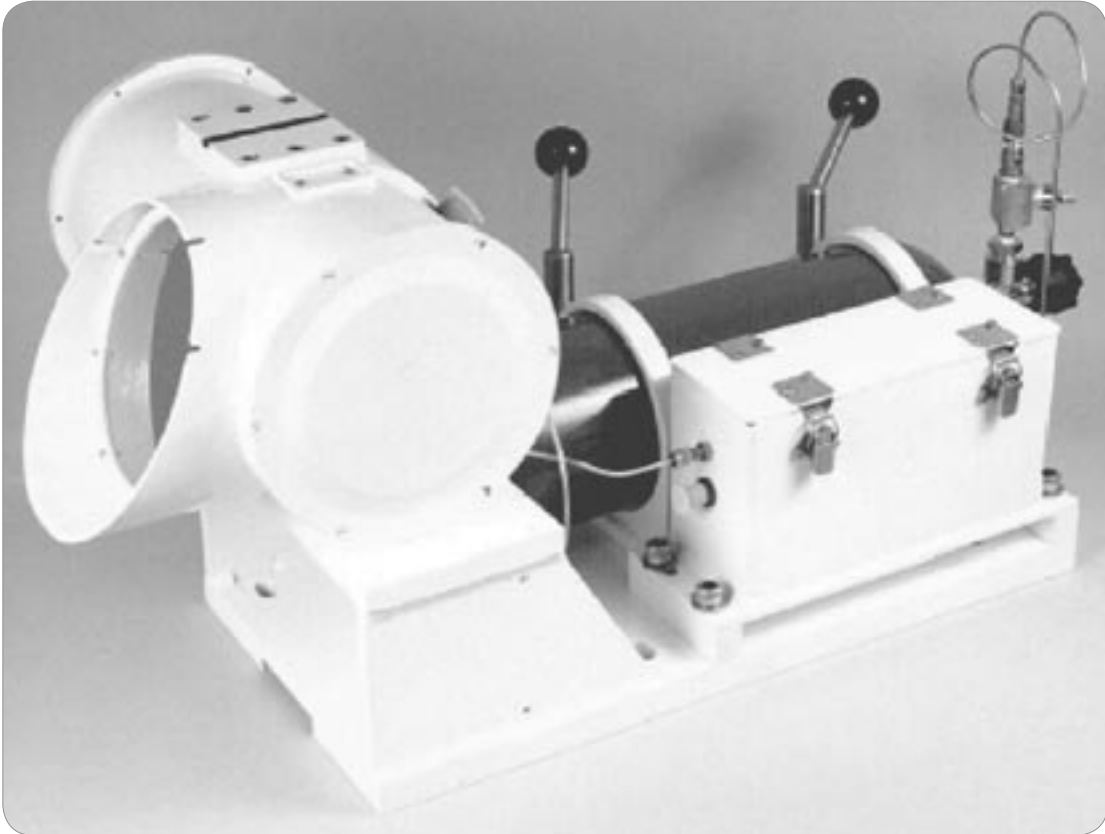
På denne tiden ble det i Luftforsvarets forsyningskommandos (LFK) regi bygget en installasjon for banefølgning av Penguinraketter på Andøya. IR-kamera og laser avstandsmåler med høy repetisjonsfrekvens skulle være en del av denne installasjonen og Simrad Optronics fikk kontrakt på å levere begge instrumentene i to eksemplarer.

Parallelt ble det forhandlet kontrakt med SFK, som med opsjon skulle komme opp i totalt 40 IR-kameraer levert over en tre-års periode. 10 av instrumentene ble komplett med en robust TV-monitor med integrert brukerpanel for kontroll av IR-kameraet.

For å realisere LFK-kontrakten samt utvikle produksjonsmodellen var det ønskelig med mer assistanse fra FFI, og Utne fikk innvilget et års permisjon i 1984 for å lede dette arbeidet.

Bortsett fra en ny innpakning av elektronikken og kjølesystemet så ble instrumentene levert til Andøya-prosjektet i en lett modifisert versjon av B-modellen, med kamerakontroll integrert i selve operatørpanelet for plattforminstallasjonen og realisert med en RS422 serielink.

For serieleveransen ønsket SFK kjøling basert på en "Closed Cycle Sterling"-maskin fra Philips, og integrering av denne i optisk hode ble en liten utfordring. Selve kjølemaskinen som krevde 50 Watt/50 Hz input på kompressorsiden for å generere ½ W kjøleeffekt på kjølefingern, medførte i tillegg mekaniske vibrasjoner som måtte elimineres.



Installasjon for banefølgning på Andøy. IR-kamera med kjøler.

Forørig ble produksjonsmodellen basert på B-modellkonseptet i ny innpakning som vist på figuren hvor blant annet kjølemaskinen ble montert innvendig i optikkenheten bak det

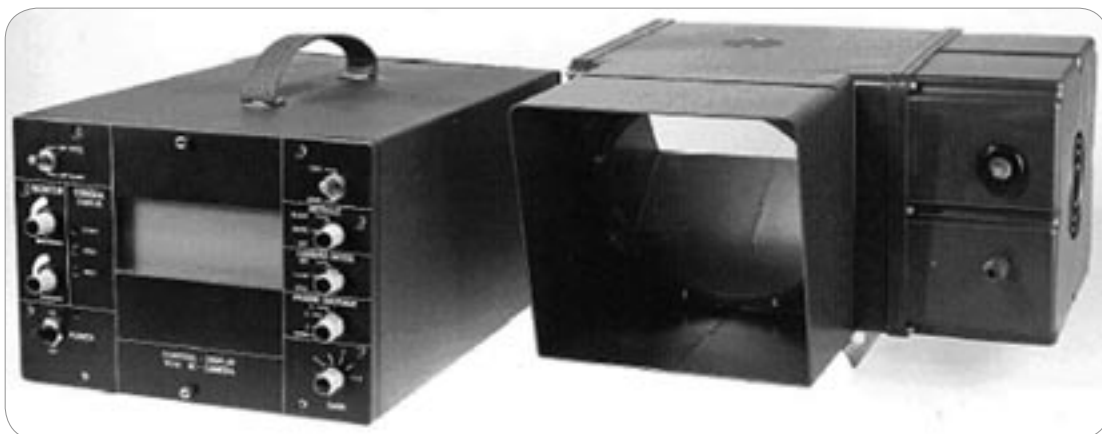
store skannespeilet. Kompressordelen ble integrert med vibrasjonsdempere og varmeavledning.



Rolf Utne med Prototyp på laboratoriet.



Kjølemaskinen som er vist til høyre, består av en kompressor (den store sylindere) og en ekspander (kjølefingere) forbundet med et stålrør. Kjøleeffekten baserer seg på en termodynamisk prosess (Sterling cycle) hvor et lukket gassvolum vekselvis komprimeres og ekspanderer i selve kjølefingere. Bildet til venstre viser en modifisert B-modell for utprøving av kjølemaskinen, hvor kompressoren er montert i et fjærappheng for å dempe vibrasjoner.



TC10 produksjonsmodell

Kameradelen inneholder forforsterkere, drivelektronikk for skannespeilet samt spenningsregulatorer. Den resterende prosesseringselektronikken, kontroll av kjølemaskin og AC/DC omformere befinner seg i Elektronikkenheten til høyre. Enheten til venstre er en tilleggsenhet med innbygget TV-monitor og operatørpanel for kameraet. Den ble levert sammen med de systemene som SFK skulle bruke til mineovervåking. På kystfortene ble det benyttet en standard TV-monitor, og kamerakontrollen ble integrert i panelet for ildledningskontroll.

FFI, og senere KVs avdeling på IFE, fikk kontrakt på leveransen av detektorer for produksjonsserien som varte over tre år (1986-89). En stykkpris på kr 120 000 indikerer at fremstillingen av detektorene var en relativt komplisert og tidkrevende prosess, og det var først under selve slutttesten at eventuelle produksjonsfeil, så som en dårlig bonding (ledningskontakt) kunne avsløres.

Simrad Optronics markedsføring av kameraet utenfor landets grenser ga kun ett tellende resultat ved at vi fikk kontrakt med det portugisiske sjøforsvaret om leveranse av ett

stk. kamera. De hadde opsjon på ytterligere syv instrumenter, men grunnet manglende bevilgninger ble denne opsjonen aldri utløst.

Demonstrasjoner ble også gjennomført i Hellas og Finland uten resultat.

Etter fullføring av leveransen til SFK i 1990 ble IR-aktiviteten ved Simrad besluttet nedlagt. En videre satsning på denne teknologien ville kreve store økonomiske ressurser og måtte basere seg på en kundespesifikk utviklingskontrakt.



Tidligere utgitt i denne serien

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

