

Fra Forsvarets forskningsinstitutt

HISTORIE

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



Datateknologi



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

Datateknologi

Lenge ble store matematiske beregninger utført ved instituttets matematikkseksjon v.h.a. elektroniske bordregnemaskiner. I 1957 fikk instituttet sin første digitale datamaskin "Fredric", som representerte et gjennombrudd i løsning av kompliserte matematiske problemer. Siden ble utvikling av datamaskiner forskningsprosjekter ved FFI, og en rekke avanserte datamaskiner er utviklet for forskjellige formål. Flere typer datamaskiner er satt i produksjon og har fått stor betydning også for sivil norsk industri.

I begynnelsen

Astronomen, matematikeren og entusiasten Jan W Garwick var nok den som forstod hvilken teknisk utvikling som var på vei, og som først gjorde noe med det. I begynnelsen av femtiårene hadde han som sjef for matematikkseksjonen ansvar for en del større beregninger, bl.a. baneberegninger for raketter. På det store, prektige rommet, kalt biblioteket, i annen etasje på fysikkbygningen foregikk det. Langt borte i gangen kunne man høre underlige lyder, og ved å gløtte inn døren kunne man se rader av flittige mennesker som tastet og kjørte sine elektromekaniske bordregnemaskiner. Store systemer av partielle differensialligninger ble i de dager



Astronomen og matematikeren Jan W Garwick

løst ved numeriske metoder som kunne realiseres ved "endeløse" rekker av tall-operasjoner. I kjelleren hadde Garwick et vidunder av en hullkortmaskin som kunne automatisere mange av de tusener av repeterte tastetrykk som til daglig laget støy i biblioteket.

Men virkelig fart i sakene ble det først da matematikkseksjonen fikk sin første elektroniske datamaskin. Garwick hadde kontakter ved University of Manchester, et miljø som på den tid var ledende i utviklingen av datateknikken. Han hadde selv vært med i utviklingsarbeidet der i 1952. Garwick var tidlig ute med å sikre seg mulighet til å få kjøpt den første datamaskin som ble industrialisert fra Manchester-miljøet: Maskintypen ble kalt Mercury, ble fabrikkert av Ferranti, og produktionsnummer O ble levert til FFI i 1957. Den fikk navnet Fredric (Ferranti Rapid Electronic Defence Research Institute Computer) og ble nok oppkalt etter FFIs første direktør Fredrik Møller.

I et intervju med Farmand i 1981 forteller Garwick at han og Ernst Selmer arbeidet med Mercury mark II under selve utviklingsfasen og kjente maskinen "ut og inn." "Allerede i 1954 funksjonerte den med core-hukommelse, og det var ingen tvil om at vi måtte sikre oss en slik maskin på Kjeller," sa Garwick. Han forteller at maskinen kostet en million kroner, en sum instituttet ikke hadde. Men Forsvaret "fant" en konto i England fra krigens dager, som ble brukt til formålet. "Men til toll og avgifter hadde vi ingen penger", sier Garwick, "så maskinen måtte vi smugle inn i Norge, bokstavelig talt. Maskinen fylte flere store lastebiler, og selv fulgte jeg med på lasteplanet fra Manchester til Hull, hvor den ble skipet ut. Jeg var utstyrt



Harald Keilhau med FREDRIC, FFIs første digitale datamaskin med 2000 vakuumsrør og 20 kW varmetap.

med diplomatpass, men aldri hadde tollerne sett så omfangsrik diplomatpost. Da kassene endelig kunne losses i Oslo, måtte tollerne bøye seg for den norske Londonambassadens segl, men de skrek fælt. Maskinen var "blank", alle de nødvendige programprodukter måtte utvikles på Kjeller." Han nevner Ole Johan Dahl, Harald Keilhau, Ernst Selmer, Svein Øvergaard og Per Kjeldaas i den sammenheng.

Ferranti Mercury maskinen var utrolig hurtig etter datidens målestokk, ja, en faktor 10 eller mer i forhold til de aller første datamaskiner som kunne kjøpes. "IBM 650" var vel den aller første av industrielt fremstilte maskiner for praktisk bruk. Den fikk stor utbredelse i verden tidlig i femtiårene. Mercury var et langt skritt videre i utviklingen.

For å huse Fredric fikk fysikkbygningen et påbygg i fulle tre etasjer. Maskinrommet opptok første etasje. I kjelleren ble et kjøleanlegg installert for å lede varmetapet på 20 kW fra de 2000 vakuumsrør ut i fri luft, noe som ved visse værtyper var lett synlig som dampskyer utenfor bygningen. I annen etasje holdt Garwick til med sin stab. Det var et miljø som skulle vise seg å få mange ringvirkninger. Mange entusiaster og meget grunnleggende innsikt kan spores tilbake dit.

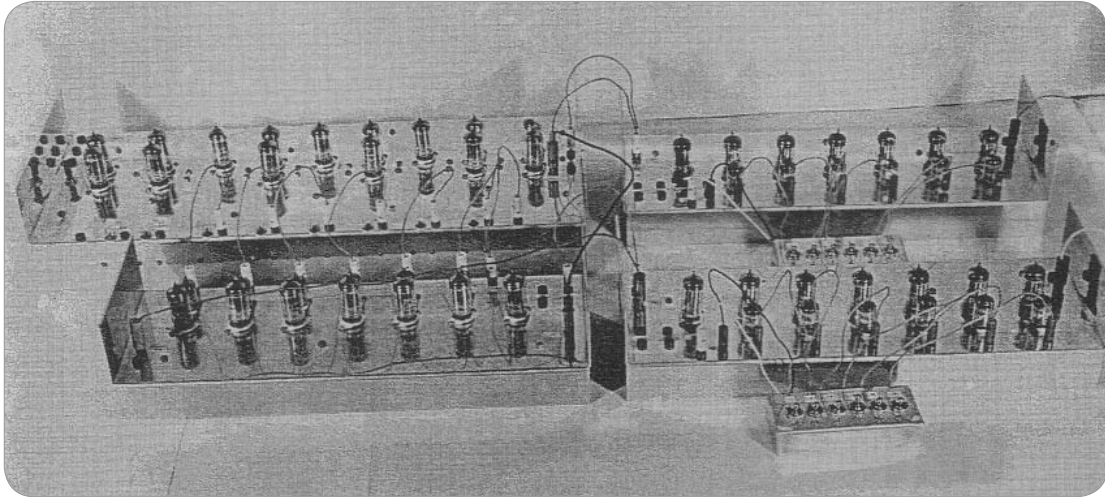
Blant de mange dyktige medarbeidere i de lokalene har spesielt Ole Johan Dahl og Kristen Nygård gjort seg bemerket. Programmering foregikk i femtiårene ved noen svært kryptiske koder, eksempelvis av typen "610" (addér to 10-bits tall) og "630" (addér to 30-bits tall). Programmene ble skrevet inn på papirhullbånd ved hjelp av fjernskrivere. Hullbåndet ble så lest optisk av en papirhullbåndleser direkte inn i maskinens registre på binær form. Ole Johan realiserte et program kalt MAC for meget mer automatisert programmering. Entusiasmen og pågangsmotet fra Garwicks matematikkseksjon var utvilsomt en inspirasjonskilde da Dahl og Nygård senere utviklet sine banebrytende metoder i objektorientert programmering, spesielt med programmeringsspråket Simula, som var verdens første objektorienterte programmeringsspråk.

Datateknologisk forskning og utvikling ved FFI

Instituttet engasjerte seg tidlig innen det nye feltet datateknologi. Det var i første rekke forskningssjef Karl Holberg som var drivkraften, her som på så mange andre områder.

Analogteknikk

Mange typer beregning kunne ikke gjøres



Eksperimentell datamaskin med radorør fra 1956.

hurtig nok med datidens digitale regnemaskiner - selv om Mercury-maskinen ble betraktet som lynhurtig.

For simulering av dynamiske systemer, beregning av siktevinkler for våpensystemer og andre anvendelser, hvor det var avgjørende at beregningen måtte skje fort nok, var derfor analog regneteknikk uerstattelig. Våpensystemet Terne er et eksempel. For å beregne siktevinkler for rakett-"launcheren" (utskytingsrampe) ble en meget avansert analogregnemaskin utviklet. Den ble kalt "prediktor" og den forutberegnet målets posisjon ut fra observasjoner av dets kurs og fart. Observasjonene ble gjort av sonar ("asdic") (undervanns lokaliseringsutstyr) og beregningene skjedde i sann tid ved presisjonskomponenter som ble beveget ved servomekanismer, tannhjul og avansert forsterker-teknikk.

Alle disse presisjonskomponentene ble sammenkoblet elektrisk og mekanisk i presisjons girbokser av bronse. Som helhet kunne et slikt elektro-mekanisk system beskrives ved nøyaktig det samme sett av ligninger som ville beregne rakett-siktevinklene. Denne analoge beregningen skjedde tilstrekkelig hurtig til å kunne rette inn våpnet.

Girboksene var i seg selv ikke lite av en teknologisk nyvinning. Presisjonskomponentene ble fremstilt på Fv (Fellesverkstedet). De måtte maskineres til nøyaktigheter som krevde at temperaturen i verkstedet ble holdt så stabil som mulig for å unngå feil som

skyldes materialenes varmeutvidelse. Det var Thorleif Schiander som var sjef på Fv med Asbjørn Larsen som driftsingeniør, Olav Vangen som verksmester og Knut Øfstaas som arbeidsformann. Blant mekanikerne på verkstedet var Walter Gulbrandsen, Per Olsen, Bjørn Christensen og Gunnar Granlund. Arne Halvorsen var på den tiden lærling, men ble fort en sentral medarbeider. Fellesverkstedets mannskap gjorde en pionerinnsats innen fremstilling av presisjonskomponenter og ga et vesentlig bidrag til det vellykkede resultatet.

Karl Holberg ledet utviklingen av Terne-prediktoren og videreførte teknikken til industrien. En svært viktig del av denne utviklingen var kontakter med amerikanske miljøer og leverandører av presisjonskomponenter, eksempelvis "synchroer" og "resolvere".

Uten disse kontaktene og derigjennom adgang til amerikanske teknologiske forskningsresultater ville denne avanserte teknikken aldri ha blitt etablert i Norge med våre begrensede ressurser til forskning. Den amerikanske utvikling på dette område hadde sitt sentrum ved MIT (Massachusetts Institute of Technology), spesielt ved Servomechanisms Lab og ved Instrumentation Lab, begge i Cambridge, Massachusetts. Disse miljøene hadde en rask vekst fra annen verdenskrig og dannet grunnlag for flere avanserte industribedrifter som kunne levere slike komponenter.



Karl Holberg sørget for anskaffelse av en mer generell analog simulator til Avdeling for elektronikk i begynnelsen av sekstiårene. Den ble kalt Aniara og var brukt til å dimensjonere viktige deler av dynamiske systemer slik som Penguin-raketten.

Siffergruppen ved FFI

De "fantastiske elektroniske hjerner" ble i femtiårene fra tid til annen nevnt i norske aviser. Kapasiteten ble gjerne målt i "matematiker-år". En maskin kunne eksempelvis gjøre "på en time det samme som tredive matematikere kunne gjøre i løpet av et år". Dette kunne vel ha mening når man så Garwicks medarbeidere dundre i vei med sine bordmaskiner, kanskje i noen dager i fellesskap, i stor iver for å løse en komplisert differensialligning. Men publikum i sin alminnelighet og norsk industri i særdeleshet la neppe merke til slike sensasjonspregede vitenskapelige nyheter av tvilsom sannhetsverdi. Ja, de etablerte industriledere i Norge ga fra tid til annen velmente vennskapelige råd om ikke å bruke tid på slike fenomener som "ikke kunne etableres i Norge" (uttalelse av fremtredende norsk industrileder etter foredrag av Lars Monrad Krohn i Polyteknisk Forening i 1967).

Da Yngvar Lundh, som senere kom til å spille en viktig rolle ved utvikling av datamaskiner ved FFI, skulle "ta diplomene" ved NTH, ønsket han seg en oppgave i elektronisk regnemaskinteknikk. Men det var ingen, verken ved NTH eller ved Universitetet i Oslo, som ville foreslå noen oppgave på det området. Men så fikk hans professor, Jens Glad Balchen, respons fra FFI. Der hadde Karl Holberg laget et oppgaveforslag. Lundh reiste til Kjeller samme uke, september 1956, og ble deretter ved FFI til 1984. Diplomoppgaven gjaldt undersøkelse av et spesielt prinsipp for digital regneteknikk kalt "operational digital techniques". Prinsippet, som var foreslått i en tidsskriftartikkel, skulle kunne brukes til å bestemme grunnleggende beregninger og ville kunne realisere digitale regnemaskiner langt billigere enn de mer generelle maskiner a la Fredric. Det ble bygget en slik maskin. Den kunne multiplisere, dividere, trekke kvadratrotter osv. Prinsippet viste seg senere å ha enkelte praktiske anvendelser. Lundh kalte prinsippet for Siffer-Frekvens-systemet eller SF-systemet. Slike maskiner var ikke programmerbare, programmet lå i sammenkoblingen.

Etter eksamen fikk Lundh fortsette på FFI, først for å avtjene resten av militærtjenesten, deretter ble han ansatt. Holberg lot ham få nokså frie hender og han studerte ivrig utviklingen av elektronisk kretsteknikk. Spesielt gjaldt det transistorer og spesielle magnetiske komponenter. Han var opptatt av om disse en dag skulle kunne avløse vakuumbørene. Han så det som ønskelig å få kontakt med amerikanske tekniske miljøer og fikk tildelt et stipendium til University of Pennsylvania i Philadelphia for et års videregående studier. Da Holberg hørte om det, fikk Lundh det råd å vente et år til i håp om å få et forskerstipend til MIT. Det ville gi en helt annerledes adgang til interessante miljøer på et mer interessant nivå.

Lundh reiste til MIT høsten 1958 og arbeidet der som gjest i Servomechanisms lab i et år med stipend fra NTNF (Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd). Da han skulle hjem fikk han tilbud fra MIT om et halvt års ansettelse som prosjektleder. Han skulle ha ansvaret for utvikling av en ny type "pulsed analog" datamaskin - en ide som var ment å bygge over gapet mellom digital og analog regneteknikk. Det prosjektet mistet sin statlige finansiering og ble nedlagt etter få måneder før det egentlig hadde begynt, men oppholdet ved MIT og erfaringene fra amerikansk forskningsledelse hadde gitt mange impulser, kontakter og inspirasjon.

Størstedelen av tiden ved MIT ble tilbragt ved et laboratorium som hadde en eksperimentell datamaskin - kalt TXO - bygget med transistorer og diverse andre helt nye teknikker. Disse skulle senere vise seg å bli av grunnleggende betydning for datateknikkens videre utvikling. Lundh ble sterkt inspirert av datateknikken og alle de muligheter han mente å se. Han samarbeidet med flere andre unge entusiaster i tiden på MIT, personer som han i større og mindre grad senere skulle møte igjen og samarbeide med. En av dem var Larry Roberts, som holdt på å avslutte sitt doktorarbeid i tilknytning til TXO. En annen var Ralph Scheidenhelm som senere ble forskningssjef hos Minneapolis Honeywell i Florida. En tredje var Thomas Stockham, senere professor i Utah og pioner innen foredling av lyd.

Lundh var opptatt av å medvirke til at den nye teknikken kunne gi grunnlag for nye in-



dustrielle muligheter. Det ble et valg for ham da permisjonstiden var omme: Skulle han bli i Boston, som så ut til å være det sted hvor de fleste nye teknikker hadde sitt utspring, eller skulle han dra hjem hvor det han nå hadde lært virkelig kunne bety noe nytt og stort. Han dro hjem med "julebåten" i 1959. Den gang gikk amerikabåter mellom Oslo og New York i rute omtrent annenhver uke. Overfarten tok ni døgn. Stipendiater måtte ta båten som den billigste reisemåte.

Allerede før hjemreisen hadde Lundh bestemt seg for at en transistorisert, programmerbar datamaskin *skulle* utvikles. Den skulle være direkte tilgjengelig for forskere, som kunne kommunisere med maskinen direkte via dataskjerm og hurtig skrivemaskin. Dette til stor forskjell fra det som da var den gjengse måten å bruke datamaskiner på: Såkalt "closed shop". Kun driftspersonalet for de dyre maskiner fikk kontakte maskinen direkte. Brukerne måtte levere sine programmer og data, punchet på hullkort, i en luke. En "kjøring" resulterte i noen siders utskrift fra en linjeskriver. Denne kunne så den brave programmerer studere de neste timer eller dager for å finne frem til feilene han som regel hadde begått (eller de resultater programmet til slutt leverte). En slik driftsform var nødvendig for økonomisk utnyttelse av de dyre datamaskiner.

Lundh var opptatt av hvor effektivt og inspirerende det var å arbeide direkte med maskinen slik han hadde kunnet med TXO. Eksempelvis hadde han laget et program hvor brukeren kunne sitte og spille "tripp trapp tresko" med maskinen ved å peke på en dataskjerm med en "lyspenn". Noe slikt var uhørt i de dager, og vakte også oppsikt i Boston-pressen da det var åpent hus på MIT en gang våren 1959¹.

Men da han stilte på FFI i januar 1960 fikk han ikke finansiert sine ideer om billige og effektive minimaskiner. Han hadde vel heller aldri fått dem til noen gang uten Karl Holberg som støttespiller. Nå var et nytt stort prosjekt under oppseiling. Det gjaldt å realisere noen ideer til å gjenfinne svake lydsigna-

ler som var overdøvet av støy. Til det krevdes betydelig regnekapasitet, ja, langt mer enn hva datidens programmerbare datamaskiner kunne makte. Disse var dessuten altfor dyre i forhold til prosjektets budsjetter.

Det var Asdic-avdelingen, senere Avdeling for undervannsforsvar, i Horten som stod for dette prosjektet. Der var en sterk gruppe med betydelig innsikt i undervanns lydforplantning. Leder var Henrik Nødtvedt. Og kort tid etter hjemkomsten fikk Lundh i oppdrag å utvikle en siffer-regnemaskin som kunne gjøre beregningene i sann tid og ble jobbleder for å utvikle signalbehandlingsmaskinen "Lydia". Og det hastet med å få maskinen utviklet og satt i drift.

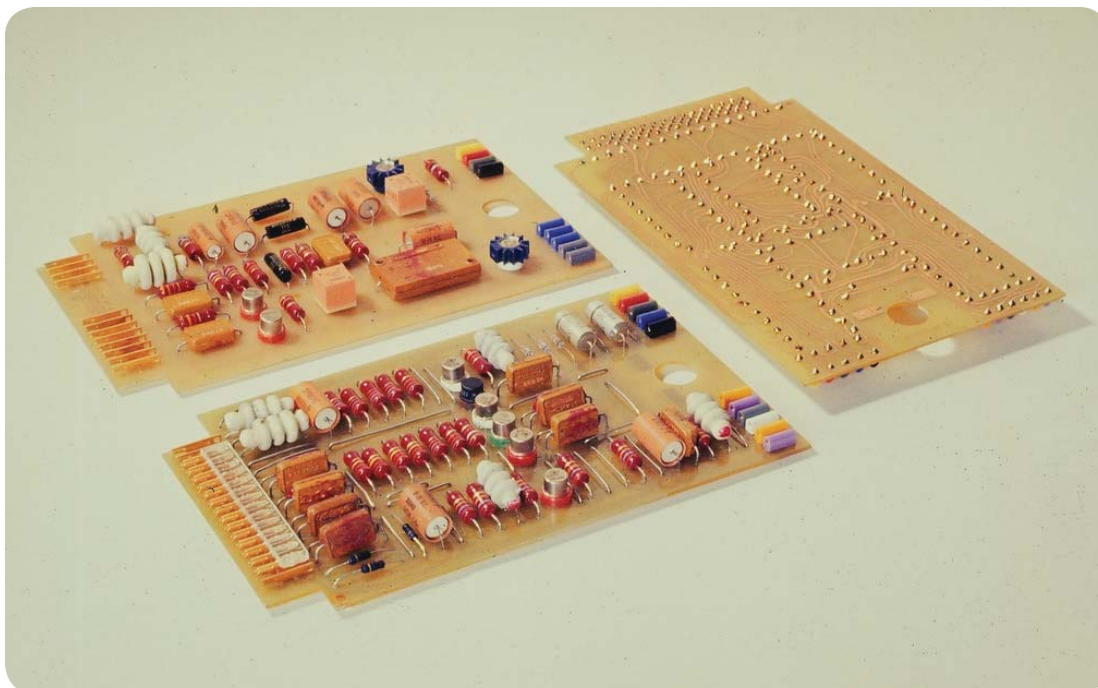
I virkeligheten var hastverket en del av FFIs måte å arbeide på. De entusiastiske ledere ved FFI hadde sine erfaringer fra viktige forskermiljøer i England under annen verdenskrig. Basert på disse ble alt arbeid ved FFI organisert i form av "jobber" eller "prosjekter". De hadde en definert målsetting, samt budsjett av penger, tid og - ikke minst - personer. Betydelige forhandlinger, optimisme, personlig prestisje og inspirerende diskusjoner lå bak vedtak i "Forskningssjefenes Råd" om å sette i gang et prosjekt.

Lydia skulle installeres "et sted i Nord-Norge" til et definert tidspunkt. Lundh fikk med seg dyktige medarbeidere, som sammen med ham utgjorde kjernen i det som kom til å bli omtalt som Siffergruppen ved FFI. Lars Monrad Krohn, Per Bjørge, Per Bugge Asperheim, Olav Landsverk, Asbjørn Horn, Per Klevan og Svein Strøm var de første og utgjorde gruppen fra våren 1960.

Lydia

Å lage en datamaskin basert på transistorer var noe helt nytt. Bare noen få grupper hadde gjort det før, først og fremst MIT hvor en gruppe under ledelse av Kenneth Olsen ved Lincoln Lab hadde bygget maskinene TXO og TX2. Det var før Olsen gikk ut og startet sitt firma "Digital Equipment Corporation" (DEC). Han lanserte sin første "programmed Data Processor" - PDP1 - høsten 1959. Det var

¹Økonomisk og praktisk løsning med å arbeide direkte med maskinen ble utviklet i 1960-62 ved MIT. Det gjaldt tidsdeling av maskinen mellom et antall terminaler. Hver bruker med sin terminal fikk derved inntrykk av å ha maskinen alene.



De logiske kretsene i Lydia brukte 100 KHz klokkefrekvens, pakketetthet en flip-flop pr.kort. Kretsene i SAM var bygget på samme måte , men var 250 ganger hurtigere.

den første "minimaskin". Den var transistorisert og betydde innledningen til en ny, stor epoke i datateknikken.

Det var allerede ved starten klart at Lydia skulle baseres på transistorer og trykte kretskort. Begge deler var noe nytt i Norge den gang. Ansvaret for selve kretsene fikk Lars Monrad Krohn. Lars' utrolige arbeidskraft og tilsynelatende uutømmelige energi var en av de avgjørende faktorer som la grunnlaget for suksess. Det ble fort klart at Lydia ville komme til å bestå av flere hundrede trykte kort og så mange som et par tusen transistorer. Lars lot ingen sten være usnudd i sin iver etter å sikre maskinens pålitelige driftssikkerhet. Spesielt la han meget i å benytte såkalt "worst case design". Det gjorde at kretsene kunne kobles sammen på enkel måte i alle aktuelle konfigurasjoner uten å feile, selv om de enkelte transistorer hadde betydelige forskjeller som følge av grove toleranser i produksjonsprosessen.

Like stor iver la han for dagen i å finne pålitelige plugger og kontakter som skulle sikre at alle kortene hadde pålitelige ledningsforbindelser. Lydia bestod av fire mer enn mannshøye skap fulle av trykte kort, så det ble mange tusen kontaktpunkter og ledningsforbindelser. Resultatet av Lars' bestrebelsers

på disse områdene var at maskinen virket uten feil i hele dens levetid. Til tider kunne Lars overgå seg selv i å søke ekstreme løsninger. Per Bjørge var den rolige og ikke mindre omtenkssomme og innsiktsfulle kretskonstruktør. Disse to konstruerte de aller fleste av kretskortene i Lydia. Kretsene virket, ble dokumentert, produsert og montert i høyt tempo, og resultatet ble en knallsuksess.

Lydia var ikke programmerbar. Dens program lå i selve sammenkoblingen av de logiske kretskortene. Dette ga mindre fleksibilitet enn hva en programmerbar maskin ville hatt. Men datidens programmerbare maskiner, selv de aller hurtigste ville ikke kunne utføre beregningene hurtig nok til å levere resultatene i sann tid. Maskinen skulle arbeide kontinuerlig døgnet rundt og presentere resultatene direkte som del av et operativt system.

Suksessen for Lydia var klarest for selve det kretstekniske og datatekniske. Også resultatene av anvendelsen var av stor verdi både som forskningsresultat og som bekreftelse på forskjellige antagelser om lydforplantning og på signalteoriene. Lydia fikk allikevel snart konkurranse av annet utstyr på det området, og som viste seg å være mer praktisk for selve anvendelsen i den operative sam-



"Lydia" og en del av siffergruppen. Fra venstre: Per Bugge Asperheim, Per Bjørge, Lars Monrad Krohn, Svein Strøm, Yngvar Lundh, Asbjørn Horn, Olav Landsverk og Per Klevan.

menheng. Men forståelsen av hvordan man skulle lage sifferkretser, som kunne kobles sammen i hundrevis og virke pålitelig, var grunnlagt. Den ga siffergruppen innsikt og selvtillit som gjorde gruppen motivert for stadig større og mer utfordrende oppgaver. Da Lydia var installert våren 1962 var den oppgaven fullført og gruppen klar for nye utfordringer. Lundhs ide om å utvikle en generell, programmerbar maskin var underhånden også "kjøpt" av Karl Holberg, som i mellomtiden hadde funnet fram til hvordan et slikt prosjekt kunne startes.

SAM

I begynnelsen av sekstiårene startet et av FFIs virkelig store prosjekter: Utviklingen av overflate til overflate rakettvåpenet Penguin. Det bestod først og fremst av en styrt raket, som ble utviklet ved FFI helt fra starten. Mange prøveskudd med raketten måtte gjøres i løpet av utviklingen. Og hvert prøveskudd genererte en mengde data bl.a. ved telemetri. Dataene måtte analyseres grundig for å gi forståelse for alt som skjedde i løpet av avfiringen og flukten.

Siffergruppen fikk i oppdrag å lage en datamaskin for å analysere data fra prøvefyringer av Penguin. Holberg likte selv å si i ettertid at han "stjal et mindre beløp" (ca. 700 000 kr) fra Penguins budsjett for å få laget en norskbygget maskin, i stedet for å kjøpe en importert minimaskin for formålet. Dette var en av de mange dristige handlinger som Holberg og andre i FFIs ledelse gjorde. De ga FFIs medarbeidere utfordringer i internasjonal klasse. Dette representerte en tillit fra instituttets ledelse vis a vis de enkelte ingeniører og forskere som styrket miljøet og dets skaperevne og ansvarsevne.

I dette tilfelle fikk FFI og Norge i pose og sekk. Prosjektet fikk den datamaskin det trengte, og FFI satt igjen med en kunnskapsrik og motivert gruppe av personer på et lovende satsningsområde for ny teknologi.

Den egentlige motivering for å bygge SAM (Simulator for Automatisk Maskineri) var de store muligheter som alle medarbeidere i siffergruppen og Holberg så i selve teknikken: Det gjaldt muligheten for å kunne produsere datamaskiner i Norge med tiden.



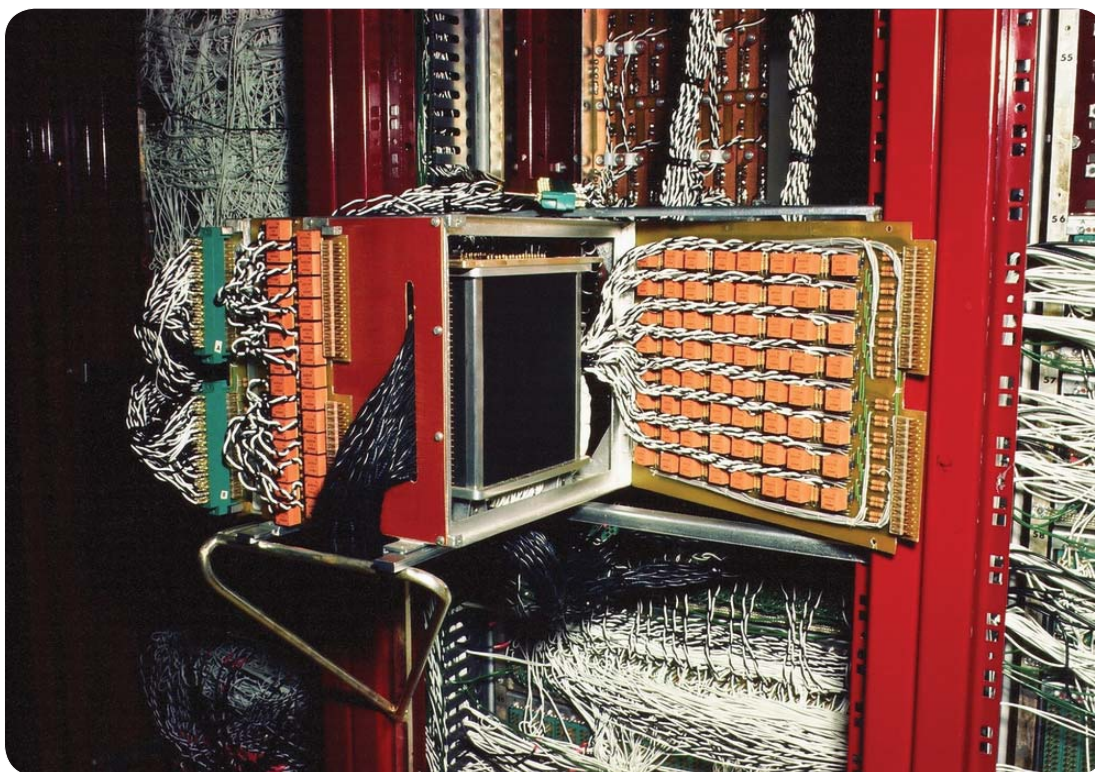
Videre gjaldt det de fantastiske muligheter som entusiastene mente å se for anvendelser både innen telekommunikasjon og forskjellige former for automatiserte systemer. Denne visjon var på det tidspunkt begrenset til FFI-miljøet. Så sent som i 1961 holdt Lundh foredrag av typen "Siferteknikk, teknikken med de store muligheter", men fikk ofte den "informerte opplysning av de som visste hva som egentlig foregikk i verden" at beregninger hadde vist at EN datamaskin var tilstrekkelig til å dekke Europas behov for matematikkmaskiner. Besluttende internasjonale organer ville med det første antagelig bestemme at Europas sentrale matematikkmaskin ville bli plassert i Roma. Så Lundh ble vennlig anbefalt å bruke skattebetalernes penger til noe mer nyttig.

Formelt var målsettingen med SAM-prosjektet å utvikle "en programmerbar maskin, så hurtig som mulig". Dvs. gruppen fikk bare ett år på jobben, og selve datamaskinen skulle også være hurtigst mulig. Det ble tidlig klart at transistor-kretsene fra Lydia var altfor langsomme. Siffergruppen ville lage en maskin med regnehastighet i internasjonal klasse. Det ble valgt silisiumtransistorer i stedet for germaniumtransistorer, som var

det vanligste på den tiden. Her spilte Per Bugge-Asperheim en viktig rolle. Utviklingen gjorde det nå mulig å lage kretser som var mer enn 200 ganger raskere. Men forøvrig var innsikten og erfaringene og det meste av de rent mekaniske løsninger fra Lydia fremdeles brukbare. En helt ny generasjon av logiske kretskort ble utviklet for SAM.

"Arkitekturen" ble formulert ut fra ideer om at denne skulle være overlegen DEC's PDP1-maskin. Dessuten ville en prøve en del nye komponenter og lovende teknikker. Maskinen skulle i utgangspunktet ha tre forskjellige hukommelser: Selve hurtighukommelsen var basert på den lovende magnetkjerne-teknikken. Olav Landsverk fikk hovedansvaret for å utvikle de intrikate transistor-kretser som skulle til for å få hukommelsen til å virke.

Selve matrisen av magnetiske ringkjerner ble innkjøpt fra Philips. Alle drivkretsene og leseforsterkerne ble utviklet fra grunnen av på FFI. Så fikk SAM en mindre, men superhurtig hukommelse for indeksregistre. Den var basert på magnetisk tynnfilmteknikk. Den mest luftige ideen var den tredje hukommelsen. Den skulle være assosiativ, dvs. den skulle kunne lese ut innholdet



Hurtighukommelsen i SAM besto av magnetkjerne og spesielle drivkretser.



direkte, basert på selve innholdet. Den skulle bygges av magnetkjerener med to hull, såkalte "multi-aperture cores". Men under arbeidet med å utvikle instruksjonssettet osv. for de assosiative funksjonene, ble det klart at selve den prosessen kunne gjøres meget enklere i selve hurtighukommelsen vha. helt andre, litt mer sammensatte instruksjoner. Så ideen om en spesiell assosiativ hukommelse ble skrinlagt. SAM fikk heller aldri noen sekundærhukommelse, dvs. tromme eller disk. Det strakk budsjettet ikke til. Men SAM skulle fremfor alt ha en direkte drevet interaktiv skjerm. Den skulle være hurtig og virke begge veier både som output- og inputmedium. Og den skulle kunne vise både tekst og vilkårlige figurer. Dette var krav som den gang var temmelig stive.

En fant frem til en helt spesiell type kato-destrålerør kalt Charactron Shaped Beam Tube. Det var en svært kostbar komponent

og den krevde meget spesielle drivkretser og spenningsforsyninger. Røret, som var mer enn en meter langt måtte dessuten bygges fullstendig inn i en stor skjerm av den meget magnetiske legeringen "mymetall" for ikke å bli påvirket av jordmagnetismen.

En ny medarbeider i Siffergruppen, Knut Korsvold, fikk ansvaret for denne omfattende dataskjermen. Fra studietiden hadde han erfaring fra "umulige" elektronikkprosjekter fra den berømte gruppen FK (forsterker komiteen) i Studentersamfundet i Trondheim, og han gikk løs på oppgaven systematisk og målbevisst. Til slutt virket det hele som det skulle. Dataskjermen var vel den enkelte egenskap ved SAM som gjorde maskinen spesielt attraktiv for en del brukere.

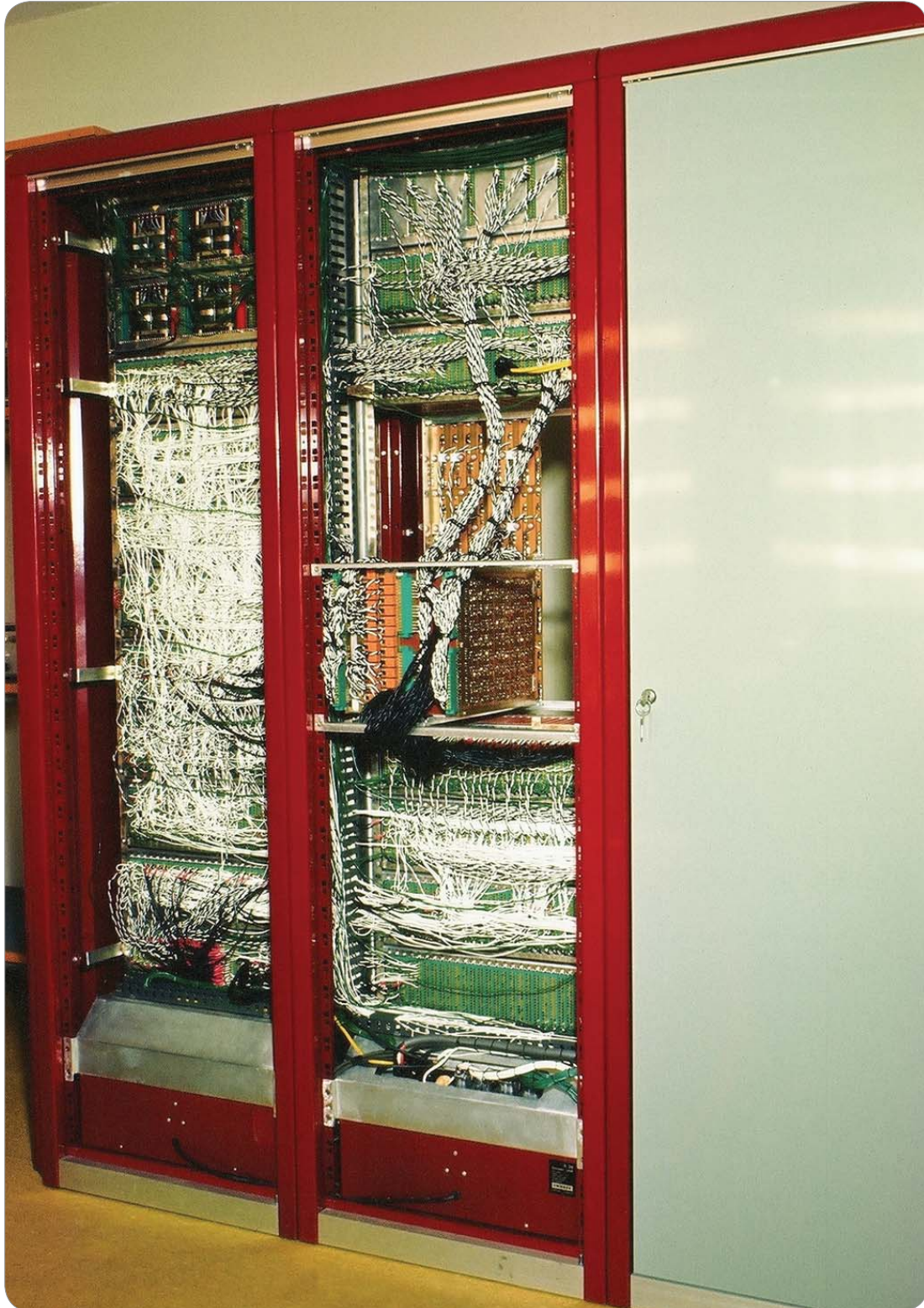
På det tidspunkt hadde ingen maskiner dataskjerm. Det ble ikke vanlig før ti år senere og da basert på andre, langt billigere teknikker.



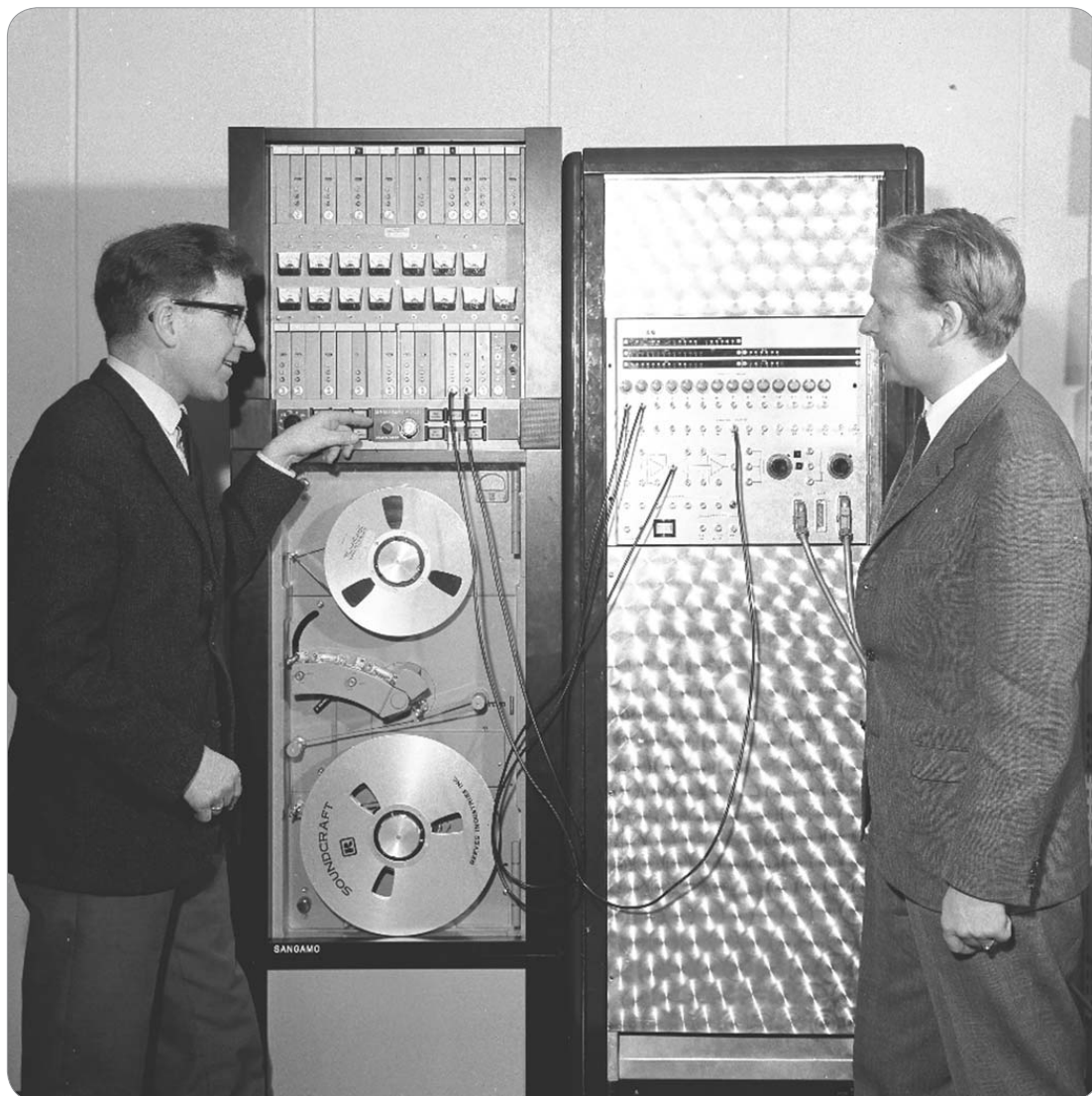
SAM hadde en spesiellaget operatørpult. Innholdet av regneregistrene ble vist av lamper og kunne endres ved et sett av brytere for feilfinning. Innmating av programmer skjedde via papirhullbånd eller direkte via "Flexowriter". En avansert dataskjerm kunne vise tekst og figurer og kunne også styres ved hjelp av "lyspenn". SAM er fra 1973 utstilt på Norsk Teknisk Museum i Oslo. Bildet viser Rolf Skår i arbeid med SAM.

De dataskjermer som kom i bruk fra begynnelsen av syttiårene kunne skrive tekst, men ikke figurer.

I tilknytning til dataskjermen fikk SAM også en "lyspenn". Det var en fotodiode med tilhørende elektronikk. Den kunne "se" det hurtige blink som elektronstrålen laget på skjermen



De "edlere deler" av SAM fylte tre skap. Backwiring ses i to av skapene.



Datalaboratoriet besto av en stor og presis analog magnetbåndstasjon og en analog-digital omformer styrt av en SAM-maskin. En viktig målsetting med SAM var å kunne analysere telemetridata fra Penguin-raketten. Ynvar Lundh (t.v.) og Lars Monrad Krohn kunne derved tilby bedre analyse av slike og andre data fra forskjellige eksperimenter enn hva som ellers var tilgjengelig den gang (1965).

og lede et signal tilbake til maskinen. Ved hjelp av et lite program kunne brukeren tegne direkte inn i maskinen. Programmer kunne for eksempel vise bilder av funksjonsknapper på skjermen som brukeren kunne peke på ved hjelp av lyspennen. Per Bugge Asperheim og Svein Strøm stod for den noe spesielle elektronikk som skulle til for lyspennen.

Maskinen skulle også ta seg godt ut, og en fikk en dyktig student fra linjen for møbel-design ved Statens Håndverks- og Kunstindustriskole i Oslo, til å ta som ekstrajobb å konstruere en operatørpult med spesielt kabinett for dataskjermen. Utsigt, som var

snekker på Avd E på den tiden, bygget det som et finmøbel i den da så populære tresort Jakaranda.

Programmeringen måtte i utgangspunktet gjøres ved hjelp av binære koder på hullbånd. En realkandidat fra Universitetet i Oslo, Martin Vånar kom til Lundh og ønsket seg en hovedoppgave. Han fikk laget det første "assembly programmet" for SAM, kalt SAMBA (SAM's Binary Assembler). Den gjorde det mulig å skrive instruksjonene i form av tre bokstavforkortelser som var lette å huske. Man sa at instruksjonene fikk mnemotekniske navn. Det gjorde programmeringen



langt mer arbeidsbesparende, men i såkalt assembly-programmering var det fortsatt selve maskinens elementære operasjoner og registrenes representasjon av informasjon ved binære koder programmereren måtte forholde seg til.

Vånar ble også påvirket av Garwick, som på det tidspunkt var svært opptatt av strukturering av programmer. SAMBA ble et elegant programmeringssystem etter datidens målestokk. På den fronten begynte utviklingen videre omsider å skyte fart. Lars Monrad Krohn hadde vært i USA et år under det meste av SAM-utviklingen og kom hjem full av ideer om programmeringsmetoder. Han syntes SAMBA var for tungvint og skrev i stedet en forenklet assembler kalt ASEM. Den ble i praksis det mest brukte programmeringshjelpemiddel så lenge SAM var i bruk.

Alle de sentrale temaer i SAM-utviklingen ble presentert i form av en rekke foredrag på den nordiske konferansen NordSAM i Stockholm i august 1964. De vakte interesse og fikk mange positive kommentarer.

SAM kom i drift 1964 etter knapt to års utviklingstid og virket utmerket. Siffergruppen hadde etter hvert fått en viss positiv oppmerksomhet og fikk derfor fortsette en videre utvikling i form av et utstyr for tilkobling av forskjellige analoge signaler, slik de forelå som registreringer på magnetbånd eller direkte signaler fra eksperimenter. SAM med dette tilleggsutstyret ble etter hvert kalt *Datalaboratoriet*.

SAM kom på Teknisk Museum i Oslo etter en vellykket driftsperiode på ca. ti år. Men først tjente den både sitt opprinnelige formål for Penguin-prosjektet og som inspirasjonskilde for mange av de unge forskere som i disse årene arbeidet med beslektede problemstillinger. Det kan trygt sies at utviklingen av Lydia og SAM la det egentlige grunnlag for industriell datamaskin-fremstilling i Norge. Selv om ingen av disse maskinene ble produsert i den opprinnelige form og altså heller ikke egentlig var prototyper, så ga de en håndfull mennesker den innsikt og motivering som var nødvendig for å kunne sette i gang kommersiell fremstilling av datamaskiner for et marked.

Odin

I 1965 ble et amerikansk system for ildledning presentert for det norske feltartilleri. Dette ble en ny mulighet som Karl Holberg ikke lot gå fra seg. FFI burde kunne lage et langt bedre system med den datatekniske kunnskap vi nå hadde. Han tok kontakt med ledende personer i våpengrenen og fikk Lars Monrad Krohn og Yngvar Lundh til å interessere seg for saken.

Høsten 1965 fikk disse sammen med Martin Vånar og Olav Landsverk samt Kjell Roderburg fra Systemgruppen en ukes intensivkurs i Feltartilleriets teoretiske grunnlag, denne etter sigende eldste av alle anvendte vitenskaper. Landsverk og Roderburg var opprinnelig offiserer i Luftvernartilleriet, og stilt således med gode forkunnskaper. Kurset foregikk på Haslemoen, og ble startpunktet på den første større anvendelse av norsk datateknikk, nemlig utviklingen av feltartillerisystemet som senere fikk navnet Odin.

Utviklingen bygget på kunnskapene og erfaringene med SAM. Men den resulterende maskin kom til å representere et betydelig skritt videre. Elektronisk kretsteknikk hadde utviklet seg og de første integrerte kretser begynte å komme på markedet. Det ga nye muligheter for bedre ytelse, mer for pengene og mer kompakt og praktisk utstyr. Selve maskin-arkitekturen ble også forenklet og forbedret, basert på erfaringene. Noen av disse faktorene ble ført videre av Lars Monrad Krohn og Tore Lund-Hanssen i en maskin som ble utviklet på oppdrag for Nordlysstasjonen i Tromsø. Dette forsterket kunnskapsgrunnlaget ytterligere før feltartilleriprojektet.

Olav Landsverk og Lars Monrad Krohn begynte i nært samarbeid med de ledende faglige offiserer i Feltartilleriet en ny og hektisk utviklingsperiode i siffergruppen. (Lundh forlot siffergruppen høsten 1965 for å bli prosjektleder for fase 2 av Penguin-prosjektet.) Nå hadde man både en solid faglig plattform å stå på og en betydelig industriell mulighet å se frem mot. Her kom også inn enda en ny mulighet, nemlig laser avstandsmåling. Tycho Jægers elektrooptikk-gruppe var i gang med utvikling av en laser avstandsmåler til bruk for observatører. Datamaskinen og avstandsmåleren ble hovedkomponentene i Odinsystemet, som ble utviklet fra grunnen med



Fra regnemaskinrommet på Avd E 1969 med SAM 3 prototyp og feltartilleri operatørpanel.

forståelse for hele Feltartilleriets operasjon og ny teknikkens muligheter.

Sanntidsanvendelse av Odin-maskinen

Mens Odin-prosjektet var i en avsluttende fase ved instituttet i 1969 dukket et nytt prosjekt opp. Evalueringer hadde vist at det nederlandske ildledningsanlegget som var levert med Sjøforsvarets 15 nye, tyskbyggede undervannsbåter - Kobben-klassen - var ubrukelig og måtte erstattes. Utviklingen av det nye ildledningsanlegget, som fikk betegnelsen MSI 70U, omtales i et annet hefte i denne serien. Her skal imidlertid nevnes at det ble besluttet å basere utviklingen på datamaskinen i Odin, dvs. SM 3 som var Kongsberg Våpenfabrikks betegnelse. Valget var begrunnet med at SM 3 var så godt som ferdig utviklet i utførelse til militære spesifikasjoner og derfor det eneste alternativ med nødvendig kapasitet for det ekstremt tidspressede MSI 70U-prosjektet.

Da en prototyp ankom FFI oppdaget MSI-folket snart at "så godt som ferdig" kan være et tøyelig begrep. En større utfordring var det at basis programvare for det krevende sanntidssystemet ikke eksisterte. Under Tore Lund-Hanssens prosjektledelse ble program-

systemet bygget opp fullstendig fra grunnen. Martin Vånar ble påmønstret. Han hadde forlatt FFI i 1967 og begynt i L M Ericssons utviklingsavdeling i Oslo. L M Ericsson var på den tiden engasjert i et intenst kappløp med de internasjonale konkurrentene om utvikling av datastyrte telefonsentraler. Det ga erfaring med store sanntidssystemer - midt i blinken for MSI-prosjektet. Vånar forlot L M Ericsson og startet firmaet Informasjonskontroll som med Martin og tre medarbeidere ble engasjert for prosjektet og bidro vesentlig til utviklingen av det til da mest omfattende norskutviklede sanntidssystemet.

Industrialisering

Det hadde hele tiden vært en drøm i siffergruppen å kunne produsere datamaskiner i Norge for salg, ja kanskje for eksport. Med den markedsmulighet som feltartilleri-prosjektet åpnet begynte flere i gruppen å se dette som et realistisk startgrunnlag for å starte en industriell virksomhet omkring datateknikk. Tanken modnet seg i de unge entusiastenes hoder, og sommeren 1967 hadde tre mann gjort seg klar til å gjøre vågestykket og realisere drømmen. Det var Lars Monrad Krohn, Per Bjørge og en hovedfagsstudent fra NTH, Rolf Skår. Rolf hadde



nettopp fullført sitt diplomarbeid med bruk av SAM og med Lars som veileder.

De hadde kontakt med en ung kjenning, Terje Mikalsen, som hadde adgang til noe kapital. Sammen med Yngvar og noen til fra siffergruppen møttes disse hjemme hos Lars Monrad Krohns mor den 7. juli 1967. Alle satte noen sparepenger i en eller flere aksjer og firmaet "A/S Norddata – Norsk Data Elektronikk" ble startet. Etter en del navneforandringer ble det endelige navnet noen år senere Norsk Data AS. Firmaet hadde en langsom og vanskelig fødsel, men ble etter hvert et "flaggskip i norsk industri". Bøker og artikler er skrevet om dette.

Feltartillerisystemet ble allikevel ikke Norsk Datas første produkt. Flere aktører både fra politiske og industrielle lederposisjoner mente at Kongsberg Våpenfabrikk måtte få denne forsvarsleveransen. Og slik ble det. Olav Landsverk ble den ledende person i en gruppe som snart kom til å utgjøre den viktigste del av datadivisjonen ved KV. Odin-systemet ble utviklet og levert, og medvirket sterkt til å skape et ry for det norske feltartilleri som et av de beste i verden.

Siffergruppen kunne notere seg som opphav til enda en industrisuksess.

Der var betydelig rivalisering mellom disse to leverandørene i flere år. Datamaskinene de leverte var - ikke forbausende - meget like, men noen få detaljer i instruksjonskodene var forskjellige og hindret en utvikling av felles basis programvare. Etter hvert som det ble klart at programvaren ville bli en meget viktig økonomisk faktor i datamaskinmarkedet, forsøkte mange velmenende personer å megle og få i stand samarbeid, men til liten nytte. (Rivalisering på hjemmebane er en norsk elitegren.)

NORD 2, SM 4, kretsteknikk og nye tekniske muligheter

Penguin-systemet utviklet seg til å bli et fullstendig og sammensatt våpensystem. Både raketten og anlegget ombord i de relativt små kanonbåtene som skulle avfyre dem trengte diverse beregninger. For ildledningssystemet ombord var det naturlig å ta utgangspunkt i analogteknikken som var utviklet for Terne-systemet 10-15 år tidligere. Den var etablert som en viktig og stor

spesialitet ved Kongsberg Våpenfabrikk. En rekke studier ble utført og en skissemessig løsning ble laget for en prediktor til å beregne de data som skulle overføres til raketten like før avfiring. Da konstruktøren av Storm klasse kanonbåter, orlogskaptein Henriksen ved Håkonsvern, fikk høre vekten av prediktoren og fikk i oppdrag å lage en passende montering om bord meldte han pass. En så tung enhet kunne ikke en så lett båt klare hvis den samtidig skulle tåle de påkjenninger fra sjøgang og andre sjøkk som den var spesifisert for.

En gjesteforsker ved FFI hadde i mellomtiden fått i oppdrag å studere mulighetene for å lage en digital prediktor. Forsøksvis ble en mindre og spesialisert datamaskin bygget på oppdrag hos Norsk Data. Den fikk navnet Nord 2. Den representerte også firmaets optimistiske håp om et mindre og billigere produkt som kunne være en oppfølger etter firmaets første datamaskin Nord 1. Ønsket om å gjøre en slik konstruksjon hos KV var mindre, forståelig nok. Det var i strid med et sterkt ønske fra firmaets spesialiserte finmekaniske verksted, som ønsket seg nye oppdrag for analogmaskiner når Terne-produksjonen avtok.

Enden på denne saken var allikevel at KV utviklet en ny digital datamaskin, som fikk betegnelsen SM 4. Den gjorde både ildledningsberegningen og meget mer og representerte verken noe plass- eller vektproblem om bord i kanonbåtene. En ny liten epoke i den turbulente IT-historien hadde funnet sin fremtidsrettede løsning. Men Nord 2 ble for spesiell for det generelle datamaskinmarkedet, så det neste produkt fra Norsk Data ble videreutviklet og fikk betegnelsen Nord 2B.

Rasmus

Midt under den mest hektiske utviklingen av SAM fikk siffergruppen enda en utfordring. I 1963 startet en håndfull ledere i de nordiske televerkene Den Skandinaviske Tele Satellitt Komite, STSK. Amerikanerne hadde skutt opp to satellitter - "Telstar" og "Relay" - for å undersøke muligheter for å bruke satellitter til bredbånds telekommunikasjon over store avstander. Det var lavbane satellitter med omløpstider på vel en time, og jordstasjonene måtte være svært direkte, tilsvarende en antennediameter på 25 meter, og måtte styres nøyaktig og hurtig etter forutbereg-

nede banedata. USA og de store europeiske land hadde bygget store jordstasjoner for disse eksperimentene.

STSK kunne ikke finansiere tilsvarende store anlegg, men ønsket sterkt å kunne bygge opp kunnskaper og innsikt i dette lovende fagområde. De hadde fått en foreløpig



Den spesielle datamaskinen "Rasmus" ble utviklet ved FFI for å styre antennen etter nøyaktig beregnede siktevinkler, som stasjonen fikk fra USA for en uke om gangen. Bildet viser fronten på Rasmus med antennen i bakgrunnen.



avtale med radioastronomen Olof Rydbäck ved Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg som nettopp hadde bygget en passende antenne på Råö. De kom til Karl Holberg for å undersøke hva FFI kunne bidra med for å lage et styresystem. Etter en del møter og planlegging kom Lundh frem til en løsning for å beregne de nødvendige siktevinkler for antennen. Han påtok seg oppgaven. Siffer-Frekvenssystemet som han hadde utviklet i sin hovedoppgave viste seg å kunne brukes.

Siktevinkler ble beregnet i deklinasjon og timevinkel tilnærmet ved annengradsfunksjoner av tiden. Antennen brukte det koordinat-systemet. Det er særlig egnet for astronomiske observasjoner, som jo antennen var bygget for. Systemet ble for anledningen realisert ved hjelp av de transistoriserte kretsmodulene som var utviklet for Lydia. Råö-antennens styremaskin utviklet for satellittfølging – Rasmus – ble bygget sommeren 1964 og installert på Råö. Den fylte fire store skap med elektronikk-kort, men ble allikevel billig nok til å kunne finansieres. Sommeren 1964 ble meget hektisk for å få maskinen ferdig til avtalt tid. Knut Sørstrand fra Avd U ble utlånt til Kjeller og Erik Olsson, en frittstående konsulent, ble innleid.

Basert på almanakkdata for satellittene beregnet Rasmus siktevinkler med noen få bueminutters nøyaktighet. Blant annet inngikk i Rasmus en klokke som anga tiden med $1/1000$ sekunds nøyaktighet. Det var nødvendig for å kunne følge satellitten etter forutberegnete banedata. Slike almanakkdata kom på hullbånd fra USA for en uke om gangen. De ble omformet til ønsket format ved hjelp av et program utviklet av Lennart Hansson i det svenske televerket, som ledd i det hyggelige nordiske samarbeidet.

Antennen var stor og tung, men ikke beregnet for så hurtige bevegelser. Einar Evensen var den mest erfarne i servoteknikk ved FFI. Sammen med Olav Sandberg og Gudmund Aanesland utviklet han et system med to servomotorer hver på 10 hestekrefter. Ved hjelp av omfattende simuleringer på analogmaskinen Aniara klarte de å utvikle et dynamisk system, som kunne omsette data fra Rasmus til virkelige vinkler for antennen. Det mest kritiske var å unngå at de kraftige servomotorene ristet i stykker antennen når vindkast tok tak i den. Antennens konstruk-

sjon var nemlig egentlig ikke stiv nok for en slik styring, men Einar klarte å modellere antennen som et dynamisk system og finne frem til kompensasjonsmekanismer som hindret de vibrasjoner som en tid truet med å gjøre prosjektet umulig.

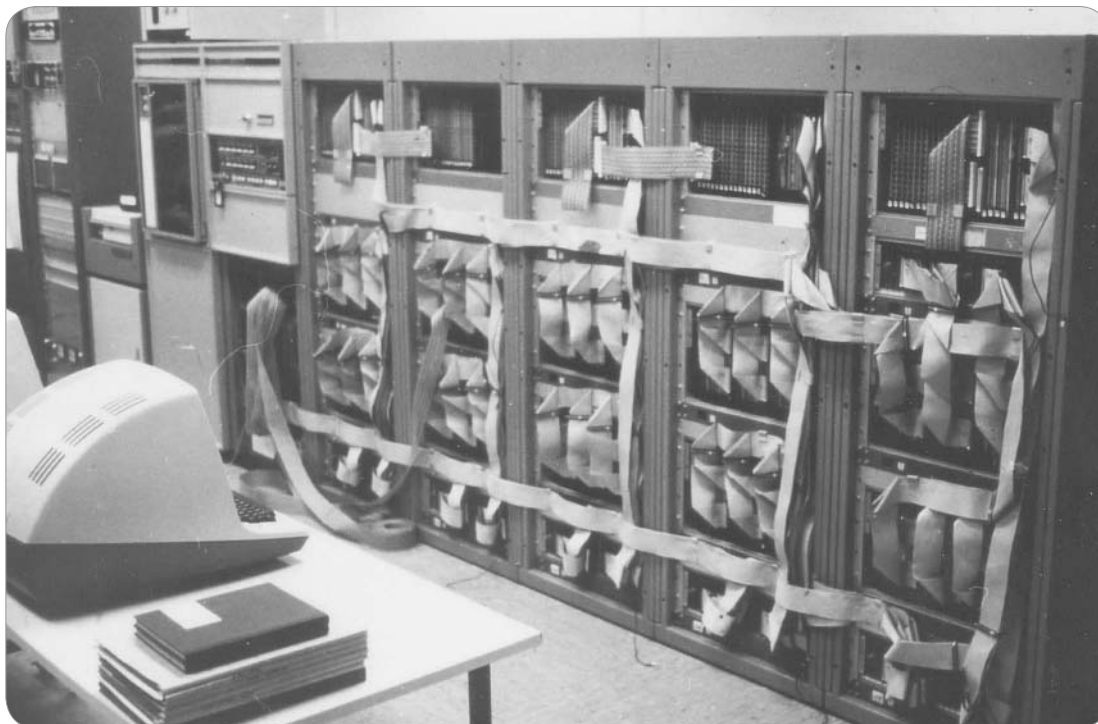
Satellittstasjonen på Råö ytterst på Onsala-halvøen, ca. 50 km syd for Göteborg ble åpnet offisielt høsten 1964, og dermed kunne TV-signaler for første gang overføres direkte til og fra Skandinavia. Kort tid etter ble det mulig å legge telesatellitter i geostasjonære baner, og dermed bortfalt behovet for slik antennestyring. Råö-eksperimentet betydde allikevel at de skandinaviske telemyndigheter kom på banen tidsnok til å være med og bygge opp kunnskaper og innsikt. For Norges vedkommende tror vi at det la grunnen for at Telenor utviklet seg til å bli blant verdens ledende telesatellitt operatørselskaper.

Kraftigere datamaskiner, multiprosessorer, Martinus

Etter suksessen med både SAM og Råö-prosjektene var flere i siffergruppen opptatt av nye og enda mer krevende oppgaver, som kunne løses ved nye tekniske fremskritt. Yngvar Lundh hadde ideer om multiprosessorer som kunne lages som "metervare" og bygges i mange størrelser for å møte forskjellige større og enda større ytelseskrav. Det skulle ta lang tid før dette egentlig førte til noe.

En mulig anvendelse kunne være såkalte seismiske kors, dvs. en teknikk med seismiske array-antener, sensorer plassert over et større areal kombinert med digital signalbehandling. Den teknikken ble oppfattet som lovende for å detektere underjordiske atomprøver. Et behov for slik deteksjon var aktuelt i forbindelse med prøvestansavtale for atomvåpen. Lundh tok kontakt med miljøer i Storbritannia våren 1964 og studerte mulighetene. Dette førte i sin tur til at han ble invitert til USA hvor ARPA (Advanced Research Projects Agency) hadde kommet enda lengre i den utviklingen, og hadde bygget et kjempe-observatorium kalt Large Scale Seismic Array (LASA).

Mange forberedelser og studier ga ham håp om senere å kunne levere signalprosessorer til slike seismiske observatorier. Særlig ble dette spennende da ARPA inviterte Norge til samarbeid om å bygge et slikt observatorium



Multiprosessoren Martinus ble utviklet i 1970-årene. Den besto av 32 enkeltprosessorer pluss en standard minimaskin fra Norsk Data, alle sammenkoblet med et system av busser.

i Norge. Dette samarbeidet kom i gang i 1967, men Lundh vant aldri frem med sine ideer om seismisk databehandling. I dette tilfelle måtte han konkurrere med IBM, som allerede hadde gjennomført en utvikling for ARPA.

Ideen om tilpasningsdyktige multiprosessorer ble imidlertid ikke oppgitt. I 1972-73 begynte man å forutse et behov for en svært kraftig signalbehandlingsmaskin for et nytt prosjekt for Avd U i Horten. Teoriene for selve signalbehandlingen, som skulle trekke ut de etterspurte lydsignaler fra støyen, såkalt "adaptiv prosessering" av antennesignaler, var utviklet av Finn Bryn - en prestasjon av verdensformat som imidlertid ligger utenfor dette heftets tema. Utviklingen av den praktiske løsningen for beregningene sto Knut Sørstrand for. Etter en tid fikk Lundh i oppdrag å utvikle en multiprosessor som hadde den inntil da uhørte kapasitet på 120 millioner instruksjoner pr. sekund - MIPS. Maskinen fikk navnet Martinus. Den bestod av 30 spesialutviklede programmerbare datamaskiner kalt AMA-prosessorer samt en minimaskin innkjøpt fra Norsk Data. Alle disse ble sammenkoblet med et system av overføringslinjer - busser. Minimaskinen hadde diverse grunnleggende

systemprogrammer og utviklingsverktøy for programmer. Videre ble et omfattende programsystem utviklet for å kontrollere alle de tredve AMA-prosessorene. Blant dem som jobbet med Martinus-utviklingen i mange år nevnes Bjørn Solberg, Kjell Viken og Torkel Kåsa. Dr. Bent Aasnæs og siv.ing. Morten Hjelm fra Informasjonskontroll ga også viktige bidrag. Å få hele dette sammensatte maskineriet til å fungere feilfritt var en mer krevende oppgave en forutsett, og det måtte gjøres betydelige konstruksjonsendringer underveis. Men omsider virket alt, og maskinen ble installert et sted i Nord-Norge i juni 1982.

Integrert kretsteknikk

Lundh ble etter hvert opptatt av mulighetene med integrert kretsteknikk. Han så frem til å kunne konstruere sine egne integrerte kretser - hele systemer på en enkelt brikke. Dette var i begynnelsen ikke lett å få gjennomslag for. De fleste så dette kun som miniatyrisering og ville nøye seg med såkalt hybrid-integrering, dvs. kompakte metoder for sammenkobling av mindre kretser. Allikevel ble det mulig å bygge opp en viss evne til egenkonstruksjon av integrerte kretser. Dette ble kalt Application Specific Integrated



Circuits (ASIC). En viss grad av innsikt ble bygget opp da Lundh arbeidet et år, 1970-71, som gjesteforsker ved Bell Labs med konstruksjon av halvlederhukommelser. Under utviklingen av Martinus-maskinen anskaffet FFI et data-assistert konstruksjonssystem - DAK, fabrikkat ComputerVision. Kai Eriksen fikk ansvaret for den. Dette betydde et skritt videre i evnen til å lage "VLSI" (Very Large System Integration). Morten Viktel, med sin gode fysikkbakgrunn fra NTH bidro sterkt til forståelsen av integrert kretsteknikk.

Lundh fikk også utviklet et forslag til standarder for maskegeometrier for integrerte kretser. Den ble kalt "Multisource", og skulle gjøre det mulig å handle med konkurrerende "silisium-smier", dvs. firmaer som kunne prosessere selve brikken etter at maske-mønstret var konstruert av systemkonstruktøren. De viktigste muligheter dette ga for FFI i begynnelsen var et sterkt effektivisert buss-system i Martinus og det sentrale kretselement i det systoliske array i SVOP.

CESAR

I syttiårene oppstod en annen viktig nasjonal problemstilling. Den hadde å gjøre med utvidelsen av landets sjøterritorium som følge av innføring av 200 nautiske miles økonomisk sone. Det innebar behov for overvåkning av sjøområder så store at det langt overgikk landets muligheter ved konvensjonelle metoder. På den tiden oppstod en ny mulighet for radarovervåkning fra satellitt ved såkalt syntetisk aperture radar - SAR. Et samarbeid ble inngått med NASA om å få tilgang på data innhentet av en eksperimentell satellitt kalt Seasat A. FFI ville utprøve en ny signalbehandlingsmetode for satellittbåren SAR. Einar Arne Herland utviklet selve signalteorien og algoritmene som skulle til. De ga forbløffende gode bilder og viste at man ved disse metodene kunne se ganske små skip og diverse detaljer på landjorden fra satellitt. Basert på radar virket metodene like bra også i mørke og overskyet vær.

Men signalbehandlingen var krevende, og hvis man skulle overvåke hele den økonomiske sone kontinuerlig ville det kreve prosesseringskapasitet som langt oversteg hva som var tilgjengelig. Lundh foreslo å videreutvikle Martinus-systemet for formålet. Han beskrev en maskin basert på de samme grunnleggende metoder. Den fikk navnet

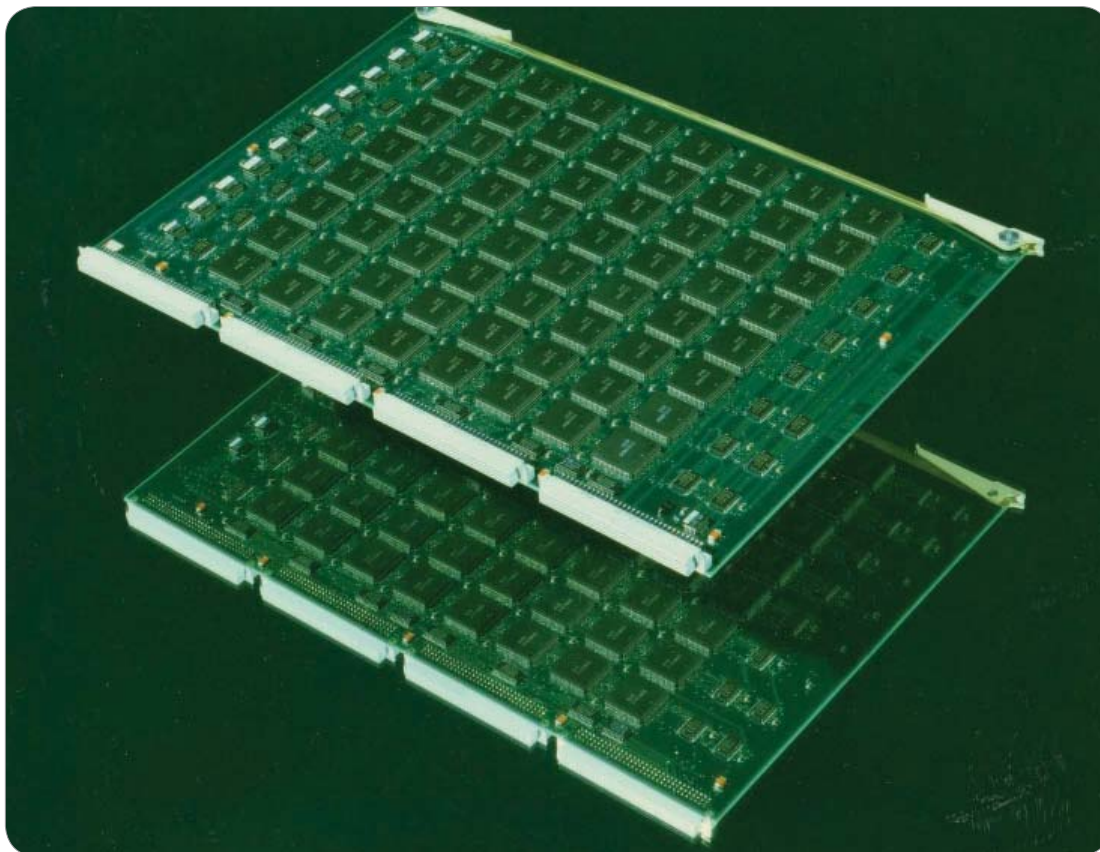
"Computer for Experimental Synthetic Aperture Radar" - CESAR.

AMA-prosessorene skulle erstattes av langt mer kraftige beregningsmaskiner som nå var blitt mulig. Opprinnelig skulle Cesar ta i bruk spesielle "tallknuse-maskiner" som nå var kommersielt tilgjengelig fra Norsk Data. Videre ble en spesiell type vektor-prosessor foreslått. Den ble kalt Speedy Vector Oriented Processor (SVOP) - som ville bety et ytterligere langt skritt videre på ytelseskalaen. Den viktigste delen av denne bestod av en såkalt "Systolic Array" og ble utviklet av Oddvar Søråsen. Lundh arbeidet også med metoder for mer effektivt display som skulle effektivisere det store arbeidet som ville kreves for å analysere alle de SAR-bildene som skulle produseres.

Målsettingen var å produsere SAR-bilder fra den planlagte ESA-satellitten ERS-1 i såkalt "nær sann tid", dvs. i løpet av maksimalt 8 minutter pr. bilde. På den måten ville man rekke å prosessere alle data fra ett omløp før satellitten igjen ble synlig fra jordstasjonen.

Opprinnelig var det tenkt at hvert enkelt regneelement i SVOP skulle settes sammen av tre integrerte kretser i NMOS-teknologi. Det viste seg imidlertid at sannsynligheten for å få produsert tilstrekkelig antall regneelementer ikke var høy nok. I 1985 ble planene gjennomgått på nytt. Løsningen ble å konstruere regneelementene i en integrert krets i CMOS, mens ND-maskinen endte som en ren front-end maskin. Verktøyene for slik konstruksjon var i mellomtiden blitt tilstrekkelig utviklet, slik at man vurderte risikoen som akseptabel selv om nesten hele prosjektteamet hadde sluttet og var erstattet med nye, unge forskere og ingeniører. Blant disse var det flere som var med i alle CESAR relaterte aktiviteter så lenge prosjektet varte. S E Søgård og K O Arntsen jobbet med software på systemsiden, det samme gjorde H Blom og R Skogstrøm med ASIC utvikling. S Johnsrud og I Tansem jobbet med utvikling av kretskort i samme periode.

I 1989 hadde FFI en operativ prototyp av CESAR på laboratoriet, og man følte seg sikker på at man var i mål. Norsk Data hadde i mellomtiden gjennomgått sine kriser og ansvarlig for den maskin som til sist ble levert



Bildet viser et MALU (Multifunctional Algorithm Unit) kort som var regneenheten i en CESAR maskin. Malu består av et systolisk array med 128 regneelementer. Det var 4 MALU kort i en CESAR maskin. Regneelementene var utviklet ved FFI. Et element hadde 95 000 transistorer i 2 mikron CMOS teknologi. MALU kortet var tosidig montert. Bildet viser oversiden av kortet og speilbildet av undersiden.

til Tromsø Satellittstasjon (TSS) var en liten avlegger av Norsk Data, Scientific Project Contractors. Noen egentlig industrialisering av FFIs prototyp ble aldri foretatt, slik at den første maskinen som ble levert TSS var en tro kopi av FFIs prototyp.

Denne maskinen fungerte etter hensikten og satte Norge på en bemerkelsesverdig måte på verdenskartet når det gjaldt fjernmåling ved hjelp av radarsatellitter. Noen kommersiell suksess ble aldri CESAR, kun en håndfull antall maskiner ble laget. En årsak var at med Norsk Datas fall var industrigrunnlaget borte, en annen var at programmeringsomgivelsene for CESAR ikke var gode nok etter den målestokk man etter hvert hadde fått.

Selv om ytelsen av kommersielle regnemaskiner hele tiden ble fordoblet hvert halvannet år, tok det over fire år før CESAR kunne erstattes av en kommersiell løsning, hvilket illustrerer hvor god ideen i sin tid for løsning

av denne typen (deterministiske) regneoppgaver var. Det er svært sannsynlig at uten CESAR hadde TSS ikke hatt radarsatellitter på sitt program i dag. Regnskapene viser også at utviklingsutgiftene til CESAR er inntjent gjennom dette.

I dag foregår all prosessering av radar satellittdata ved hjelp av standard kommersielle datamaskiner.

Vidar Andersen overtok som prosjektleder for CESAR i 1986 og Morten Toverud var delprosjektleder for hardware aktivitetene. Toverud hadde prosjektlederansvaret fra 1989 til 1992 da Per Atle Våland overtok. Våland var prosjektleder fram til 1995 da alle CESAR aktiviteter ble terminert.

Internett

FFI var med i den grunnleggende utvikling av Internett. I slutten av sekstiårene hadde en del forskere i USA blitt opptatt av mulighe-



Kjell Viken foran CESAR med et ferdig produsert satellittbilde fra Lillestrømområdet.

tene med såkalt pakkesvitsjing, en effektiv metode til å utnytte bredbånds datakanaler til flere anvendelser samtidig. I 1969 ble et samkjøringsnett etablert mellom fire datamaskiner ved universiteter i California og Utah. En av de sentrale initiativtagerne var professor Leonard Kleinrock ved University of California Los Angeles (UCLA). Nettet var sponset av ARPA og ble kalt Arpanet. Det utnyttet pakkesvitsjing for å oppnå korte ventetider ved interaksjon mellom samkjørende datamaskiner. To andre viktige nye forhold ble utviklet, lagdelte protokoller og muligheten for maskenett. Datanett var benyttet allerede i mange år, spesielt av flyselskaper, men da mest i form av stjerneneett og med nokså spesialiserte kommunikasjonsprogrammer. Arpanet ble basert på en mer fleksibel teknikk som også utnyttet de dyre overføringslinjene bedre for å oppnå hurtig respons mer økonomisk. Derved ble samkjøring av *forskjellige* datamaskiner meget mer interessant.

Bærende ideer ved Arpanet gjaldt ressursdeling. Og mange generaliserte teknikker ble utprøvet i et bredt anlagt forsknings- og ut-

viklingsprogram under ARPAs ledelse. Flere andre universiteter og forskningsinstitutter ble med i samarbeidet og i løpet av to-tre år var en rekke universiteter knyttet til nettet fra Honolulu til Boston. Dataoverføringen skjedde gjennom et nett av leide linjer. To typer pakke-radiokanaler ble også utviklet.

I september 1972 kom direktøren for Arpa's Information Processing Techniques Office, Lawrence Roberts på besøk til FFI. Han stod bak satsingen på Arpanet. Han pekte spesielt på denne teknikkens muligheter hvis man også kunne pakkesvitsje satellittkanaler. Han mente det måtte ha særlig betydning for Norge med sin verdensomspennende sjøfart. Lundh (som forøvrig kjente Roberts fra sitt opphold ved MIT i 1958) ble invitert til en stort anlagt demonstrasjon av forskjellige aktuelle teknikker. Den foregikk i Washington i oktober 1972.

Lundh ble opptatt av teknikkens muligheter, og begynte å studere den. Han fikk startet et lite prosjekt kalt radio datateknikk - Rada, men FFIs budsjett ga foreløpig ikke rom for flere medarbeidere. I begynnelsen ble det



meste utført av to av Lundhs hovedfagsstudenter fra Universitetet i Oslo og Lundh selv. Han forsøkte også å få til et samarbeid med Televerkets Forskningsinstitutt (TF) for å få låne en ledig kanal i Intelsat IV satellitten. I dette fikk han aktiv støtte av Finn Lied og Karl Holberg. En node (knutepunkt) i Arpanet ble etablert på Kjeller. Fra tidligere var allerede en fast linje leiet mellom Norsar (Norwegian Seismic Array) og Arpa i Washington. Etter avtale mellom de to avdelingene i Arpa ble denne dyre linjen delt mellom Norsar og Arpanet ved fast multipleksing. Noden, en såkalt Terminal Interface Message Processor - TIP - ble plassert i Norsars lokaler på Kjeller og linjer for terminaler og vertsmaskin etablert derfra over til FFI. En fast linje videre til London ble også leiet.

Plasseringen av Arpanet-utstyret i Norsars lokaler har forøvrig ledet til den misforståelse at FFIs deltagelse i Arpanet-utviklingen var diktert av Norsars behov eller omvendt. Det var den ikke. Den var resultatet av noen forskeres interesse for den nye datanett-teknikken og dens muligheter. En helt annen sak er at også noen av Norsars aktiviteter senere benyttet seg av internett-teknikken.

Flere år gikk før det ble noen særlig fart i dette arbeidet. Men i 1975 fikk prosjektet en ny medarbeider, Pål Spilling, på full tid. I slutten av 1976 bestemte TF seg for å la FFI få låne en ledig satellittkanal og en linje til jordstasjonen ved Tanum i Sverige. Denne stasjonen var eiet og drevet i et nordisk fellesskap. Rada-prosjektet ble høsten 1978 erstattet av et nytt med en litt utvidet målsetning, pakkesvitsjede radiokanaler og distribuerte informasjonssystemer - Paradis. I tillegg til Spilling fikk prosjektet også et par soldater, Øyvind Hvinden og Finn-Arve Aagesen (senere professor ved NTNU) og en sivil medarbeider, Åge Stensby, på full tid. Det lyktes imidlertid aldri å få forsvarsgrenene interessert i denne teknikken på den tiden. Finansieringen ble derfor for svak til å videreføre og industrialisere noen av resultatene i Norge den gang.

Utviklingsarbeidet, som endte med den grunnleggende teknikken for dagens Internett

ble utført av et team bestående av følgende ti grupper:

- ARPA - IPTO, Washington, DC - prosjekt ledelse
- Bolt Beranek and Newman (BBN), Cambridge, Mass
- Stanford Research International (SRI), Menlo Park, California
- University of California, Los Angeles, (UCLA)
- Information Sciences Institute (ISI), Marina del Rey, California
- Linkabit Corporation, San Diego, California
- Comsat Corporation, Gaithersburg, Maryland
- Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts²
- University College London (UCL), England
- Forsvarets forskningsinstitutt, Kjeller, Norge

Samarbeidet omfattet et to dagers møte av representanter for alle gruppene ca. hver tredje måned i hele perioden fra 1973 til ca. 1982. Møtet gikk på rundgang mellom de ti samarbeidsgruppene etter tur. Der ble forslag, måleresultater og analyser presentert og diskutert sammen med nye ideer, planer og prioriteringer. Møtene, som typisk hadde 20-30 deltagere, ble alltid holdt i en fin, klar og saklig stil under Arpas ledelse. Larry Roberts sluttet ved Arpa i 1974 og ble erstattet av Robert Kahn. Senere kom Vinton Cerf med som assistent for Kahn. Disse to har i de senere år blitt gjenstand for stor heder for sitt arbeid med den grunnleggende internett-teknikken og har mottatt en rekke priser og utmerkelser for det.

Fra FFI deltok Lundh og Spilling i alle møtene. De forskjellige deloppgavene ble utført i et samarbeid på tvers av gruppene. Størstedelen av FFIs bidrag gjaldt målinger på satellittkanalen, men meget av innsatsen gjaldt også generering og observasjon av forskjellige trafikktyper. Blant annet gjaldt det digitalisert tale.

Parallelt med denne utviklingen - av selve internett-teknikken - hadde flere andre uni-

² I en kort periode deltok også representanter for MIT Lincoln Lab. De hadde utviklet en avansert talekodek som ble brukt til å overføre lineær prediktert - LPC - kodet tale på 2,4 kb/s gjennom nettet for eksperimenter med taletrafikk.



versiteter blitt koblet til nettet, for å eksperimentere med anvendelser. Det ga bl.a. verdifull "naturlig trafikk" som også var viktig for nett-eksperimentene.

Under arbeidet ble det tidlig klart at den blanding man hadde av forskjellige kanaler i ett nett var lite optimal. Ved siden av faste leide linjer gjaldt det forskjellige pakkeradiokanaler, pakkesatellittkanaler og senere lokalnett av typen Ethernet. Det ble etter hvert klart at overføringsprotokollene (opp til link-laget) var så forskjellige at det gikk unødig sterkt ut over effektiviteten i utnyttelsen av kommunikasjonskanalene. Arbeidet tok deretter sikte på å skille de forskjellige kanaler, en type i hvert sitt nett og så knytte nettene sammen igjen gjennom såkalte portner-maskiner til et nett av nett, som ble kalt Internet. De opprinnelige protokollene ble videreutviklet og etter hvert erstattet med helt nye. De viktigste nyskapningene var Transport Control Protocol (TCP) og Internet Protocol (IP). Pakkesatellitt utviklingen resulterte i Contention Priority Oriented Demand Access - CPODA.

Når internett-teknikken etter hvert har oppnådd slik stor suksess kan det først og fremst tilskrives den svært grundige utvikling og utprøving som pågikk gjennom mange år før de endelige resultater ble dokumentert i form av standarder. Dette har forøvrig også dannet mønster for mange andre standardiseringsarbeider innen telekommunikasjon. Det foregår nå mest i form av såkalte fora bestående av spesielt interesserte og kompetente firmaer og organisasjoner. Det har erstattet den mer politisk demokratiske prosess som var vanlig for internasjonal standardisering tidligere, under CCITT's ledelse.

Interessen for Internett-teknikken

Norske og andre universitetsmiljøer holdt seg borte fra samarbeidet i syttiårene. Dette hadde antagelig en sammenheng med ideologiske reservasjoner mot forsvar i sin alminnelighet. Den situasjonen endret seg utover i åttiårene, og etter hvert fikk et økende antall amerikanske, europeiske og andre universiteter tilknytning til nettet.

Kommersiell trafikk var i utgangspunktet forbudt i Arpanet og Internet. Nettet var finansiert for forskningsformål. I 1991 ble forbudet mot kommersiell trafikk opphevet.

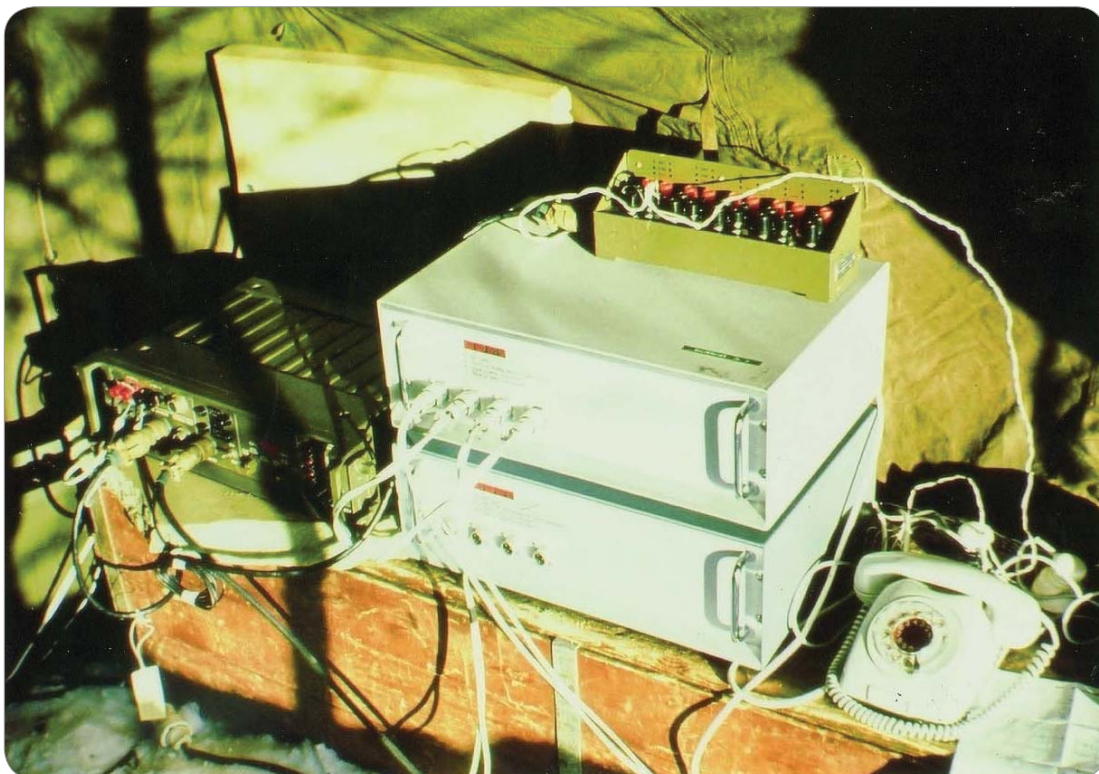
Deretter begynte tilknytninger og trafikk å øke eksponensielt, i begynnelsen tilsvarende dobling ca. hver syvende måned. De grunnleggende overføringsteknikker og samkjøringsteknikker som Internett bygger på er vesensforskjellige fra de tradisjonelle former for telekommunikasjon. De etablerte teleoperatører demonstrerte liten forståelse for internett-teknikken. Det gikk helt til midt i nittiårene før dette endret seg. Men deretter har teleoperatører verden over blitt klar over dens store muligheter og går sterkt inn for å utnytte den på bred front.

Utviklingen av datateknikken har samtidig betydd at datamaskiner benyttes i mange former "nesten overalt". De kan utnytte internett-teknikkens fleksibilitet til samkjøring. Derfor kan vi vente at internett-teknikken vil danne grunnlag for fremtidens telekommunikasjon. Det vil gjelde både tradisjonell telefontrafikk, distribusjon av lyd og bilder, inkludert televisjon og mange nye anvendelser. Overføringen vil benytte både tradisjonelle overføringskanaler og mange andre som vi tidligere har tenkt på bare i spesielle sammenhenger, slik som TV-kabel, lokale radionett i mange former, satellittsamband i flere former og lokale såvel som mer spesielle linjenett. Kort sagt: Internett-teknikken har evne til å imøtekomme mange varierende krav til trafikktyper og utnytte mange ulike overføringsmedia.

Knutepunktsteknikk

I begynnelsen av syttiårene oppstod muligheter for praktiske datastyrt telefonsentraler for militært bruk i felten. Spesielt var det Dag Gjessing som ble oppmerksom på det. Han fikk overtalt Yngvar Lundh til å interessere seg for svitsjing av standard digitalisert telefoni. Tidligere hadde FFI utviklet en multiplekser for standard førsteordens PCM telefoni, dvs. 30 kanaler hver på 64 kb/s ble kombinert til en 2,048 Mb/s kanal.

I september 1973 startet en jobb med Lundh som jobbleder. Den skulle utvikle en datastyrt sentral for PCM telefoni. Målsetningen skulle være kombinert militære felttelefonsentraler og modulært utbyggbare sivile telefonsentraler. Standard Telefon og Kabelfabrik (STK) var samarbeidspartner. De bidro etter hvert med tre prosjektmedarbeidere ved FFI.



Den første knutepunktsentralen og en 30-kanals multiplekser under demonstrasjon i felten.

Flere heldige omstendigheter gjorde at den teknikken som ble resultatet har vært vellykket og konkurransedyktig. For det første var tidspunktet slik at det var mulig å forutse at brukbare mikroprosessorer ville bli tilgjengelig på markedet i løpet av de første to år. For det annet kom prosjektet til å få noen meget dyktige og sterkt motiverte medarbeidere. Dette gjaldt spesielt utviklingen av programmene for sentralen, som fikk navnet "knotepunkt". Et uvanlig nært og produktivt samarbeid med denne programutviklingen gjorde Kjell Knutsen og Hans Petter Jacobsen i løpet av et års tid. Knutsen startet senere et fremgangsrikt firma Kjell G Knutsen AS ved Mandal.

Etter en tid kom Jens Gjerløw fra STK med i utviklingen. Han hadde nettopp fullført sitt lic.techn. arbeid ved NTH, og tilførte prosjektet grundige teoretiske kunnskaper om signalering, trafikkteori og ikke minst en ytterlig god porsjon motivering.

Det med mikroprosessorer var en av flere faktorer som gjorde knutepunktsprosjektet konkurransedyktig sammenlignet med to andre lignende prosjekter som hadde startet noen år før, nemlig "Ptarmigan" i England

og "Rita" i Frankrike, og som kunne ha vært farlige konkurrenter for prosjektet. Disse hadde satset på eldre kretsteknikk og unødig komplisert programmeringsteknikk. Det førte til tyngre og mer kostbart utstyr for dem, for tilsvarende eller mindre kapasitet.

Utviklingen ble fullført for FFIs vedkommende i 1975 med en del overbevisende demonstrasjoner. Deretter ble industrialiseringen ved STK ført videre under ledelse av bl.a. Jens Gjerløw. Videreføringen resulterte i flere produktserier som i mange år har vært viktige for STK. Mange store nett i bedrifter, statsinstitusjoner og i Forsvaret i Norge og i andre land har i dag basert seg på knutepunktsteknikken.

Den første knutepunktsentralen, DIGIMAT 2000, produsert ved STK ble levert til FFI 7. desember 1983. Til stede var bl.a. dir. Tidemann fra STK og dir. Lied fra FFI. Begge uttrykte sin tilfredshet med et utmerket samarbeid og at den første komplette sentralen ble installert nettopp på FFI.

Bidragstere: Yngvar Lundh, Vidar Andersen, Einar Evensen, Tore Lund-Hanssen, Nils Holme.



MIPROC-mikrodatamaskin

På midten av sekstitallet fantes på FFIE "IR-gruppen", ledet av Tycho Jæger. Gruppen hadde som sin primære oppgave å utvikle en målsøker, basert på infrarød-teknikk, for Penguin-raketten. For å få realisert en slik målsøker var det, i tillegg til solide kunnskaper om infrarød stråling og deteksjon, også nødvendig med bred elektronikk-kompetanse. Her ble det bygget opp en liten undergruppe som til å begynne med besto av Øystein Larsen, Harald Schiøtz, Erling Wessel og Rolf Utne. Øystein Larsen var utdannet ved den tekniske høgskolen i Darmstadt og hadde vært ved FFI i en del år. De andre var nyutdannede; Schiøtz fra NTH i Trondheim, Wessel fra University of Boulder, USA, mens Utne kom fra Køpings Tekniska Institut i Sverige.

Jæger var meget bevisst på å la sine medarbeidere få anledning til å gå løs på spennende "bijobber", selv om de kanskje ikke alltid kunne knyttes direkte til gruppens primære oppgave. Utprøving av integrerte kretser var et eksempel på dette. Det ble kjøpt inn noen eksemplarer for å bli kjent med disse byggeelementene, som skulle komme til å revolusjonere den elektroniske kretsteknikk. Schiøtz gikk løs på oppgaven med stor entusiasme, godt støttet av Utne, som raskt fikk et solid grep på de mer praktiske utfordringer med laboratorieoppstillinger, målinger, og ikke minst kretskortutlegg. Det siste var meget viktig å beherske når de nye, meget små komponentene skulle kobles sammen.

I 1970 fikk Schiøtz et NTNf forskerstipend, og tilbrakte året etter i USA hos National Semiconductor, en av de store produsentene av integrerte kretser. Her ble det anledning til å studere disse produktene til dels før de var på markedet, og det ble raskt klart at helt nye muligheter åpnet seg for å konstruere meget kompakte datamaskiner med høy ytelse. National Semiconductor hadde dessuten tilgang til et stort universitets-dataanlegg, noe som fortonte seg som det reneste Mekka for en som nettopp hadde gjennomgått programmeringskurs (Fortran) hjemme i Norge. På denne måten ble det mulig å begynne å lage simuleringsprogrammer som etter hvert skulle vise seg å bli et viktig element i konstruksjon av datamaskiner.

Da Schiøtz kom hjem fra USA, hadde IR-gruppen fått en solid forsterkning på elektronikk-siden. Harald Yndestad var nyutdannet, full av kreativitet og energi. Nå ble det satt fart på å utvikle en kompakt datamaskin (mikroprosessor), basert på de ideer som kom opp under USA-oppholdet. Barnet måtte ha et navn, men her var det ikke så mye kreativitet. Det ble MIPROC, forkortet fra MicroPROCessor.

Med MIPROC så man muligheten for å utføre den elektroniske signalbehandlingen i Penguin-søkeren med digitale metoder. Dette forutsatte imidlertid en etter datidens forhold utstrakt miniatyrisering, og man gikk derfor inn for å realisere prosessoren i tynnfilm hybridteknikk, med uinnkapslede integrerte kretser. Dette var en stor oppgave i forhold til de ressurser man rådte over, selv om det ble investert i nytt utstyr for konstruksjon av tynnfilmkretsene.

I ettertid må det nok konstateres at man ville ha spart tid ved først å realisere prosessoren med en mer konvensjonell sammenkoplingsteknikk for å få en grundig gjennomprøving av konseptet. I stedet ble det i en periode kjempet med feilfunksjoner som det var vanskelig å finne årsaken til. Var det kretsløsningene, eller var det den fysiske oppbygging av prosessoren, som var skyld i problemene? En omhyggelig gjennomgang av hele konstruksjonen måtte til for å få det hele på rett kjøll. I dette arbeidet hadde Sigurd Myklebust en viktig rolle. Han foretok nitide beregninger av signalforsinkelser gjennom prosessoren; omkonstruksjon måtte til her og der, og så var man på rett vei igjen.

Utviklingen av MIPROC var preget av utstrakt samarbeid med andre forskningsinstitusjoner og med industri. Firmaet Informasjonskontroll AS utviklet nødvendig programvare (assembler og simulator for kjøring på større dataanlegg), mens Norsk Regnesentral kom opp med et effektivt programmeringsspråk, PL/MIPROC, som muliggjorde relativt enkel programmering av prosessoren for en gitt anvendelse. AS Mikroelektronikk (AME) i Horten var partner i prosessen med å tilrettelegge for produksjon i tynnfilm hybridteknikk. Dette arbeidet stoppet dessverre opp av forskjellige årsaker.



Det ble til slutt et utenlandsk firma som brakte MIPROC frem til et industriprodukt. Plessey i England viste stor interesse, og etter en del forhandlinger fikk de i 1975 en ikke-eksklusiv rett til å produsere MIPROC for et internasjonalt marked. Plessey produserte MIPROC med konvensjonell kretskort sammenkopling av de integrerte kretsene. Avtalen med Plessey innbrakte et ikke ubetydelig engangsbetrag til FFI. I hvilken grad Plessey hadde suksess med MIPROC, vites ikke. Men for Schiøtz ble det i hvert fall et gjensyn med "barnet" da han i 1978 besøkte en stor elektronikk-messe i Los Angeles: Der var Plessey med produktet sitt...

Her hjemme led vel MIPROC den samme skjebne som mange andre datamaskiner; den ble for raskt innhentet av den teknologiske utvikling. Det er kanskje noe symbolsk i at MIPROC i denne versjonen kom på Teknisk Museum nesten før den var ferdig.

Hybridisering av MIPROC ved FFI

På midten av syttitallet ble det igjen aktuelt med hybridisering av MIPROC for digital signalbehandling i Penguin målsøker. MIPROC-prosessen hadde de egenskaper en trengte for dette formålet, men en betydelig miniatyrisering måtte til for å få plass i søkeren. På ny satte en i gang med tynnfilm hybridisering. Denne gang på FFI. En ny kapseltype ble valgt (se "Tynnfilmteknologi" i denne hefte-serien). Det var store utfordringer både med hensyn til kapselens mekaniske egenskaper og prosessorens elektriske funksjoner. I 1978 måtte vi nok en gang gå kritisk gjennom konstruksjonen av elektronikken. Nyere komponenter med lavere strømforbruk ble innført. Erling Skogen ledet den teknologiske fremstillingen av prosessen mens Snorre Prytz spesialiserte og overvåket miljøtestingen. Sigurd Myklebust og Erik Brendhagen hadde hovedansvaret for konstruksjon og test av prosessorens elektriske funksjoner.

AME ble etter hvert engasjert i hybridiseringen igjen. De utførte arbeidet med å montere ukapslede integrerte kretser på substratene for FFIs pilotserie. Parallelt produserte de en egen pilotserie med tanke på framtidig produksjon.

En komplisert hybridisering

Det var ønskelig at prosessen skulle få plass på ett kretskort, og det ble satset på

den største type hybridkrets som eksisterte på det tidspunkt, 49 × 41 mm. Slik kunne en få plass til hele prosessen på fire kretser. Det ble et kappløp med tiden. De keramiske substratene (underlag) som tynnfilmkretsene var framstilt på, skapte store vanskeligheter på grunn av sin størrelse. Særlig dreide det seg om tetningsproblemer, da substratene ikke var plane nok, men måtte slipes ned til tilstrekkelig planhet, som igjen ga en rekke nye problemer.

Tynnfilmkretsene ble stort sett framstilt etter standard rutiner ved FFI. En krets hadde 106 ben til sammen ut fra de fire sidene og fra 17 – 23 integrerte kretser, som var limt på substratet. Forbindelsen mellom tynnfilmkretsen og de integrerte kretser ble etablert ved å bonde 25 µm Ø gulltråder mellom komponentene og kretsmønsteret med et spesielt utstyr. Den ferdige kretsen ble loddet til en keramisk ramme med en spesiell loddemaskin og dannet bunnen i en kapsel. Deretter ble det påloddet et lokk. Den ferdige "esken" ble fylt med tørr nitrogen og siden heliumtestet for lekkasje. Hybridpakken ble vibrasjonstestet og til slutt elektrisk funksjonstestet ved ±40°C og +120°C. Dette var inntil da den største tynnfilm hybridkretsen som var blitt produsert. I alle prosesser ble det stilt ekstreme krav, noe som satte store krav også til de som deltok i hybridiseringen.

FFI produserer komplette prosessorer

Etter hvert ble FFI i stand til å produsere komplette prosessorer som oppfylte de militære spesifikasjoner. I 1980 ble 7 prosessorer (som hver besto av 4 hybridpakker) levert Kongsberg Våpenfabrikk. Av disse ble 4 prosessorer benyttet i vellykkede prøvefyringer med Penguin-raketten året etter.

MIPROC - en avansert prosessor

Ordlengden til MIPROC var 16 bit både for adresse og data. Den hadde separate adressebusser for program- og datahukommelse, slik at maksimal størrelse på hukommelsen var 128 kbyte for henholdsvis program og data. Det var store tall på den tiden, og i de realiserte versjoner av MIPROC ble det aldri benyttet så stor hukommelse. Hybridversjonen som ble benyttet i Penguin, ble utstyrt med 12 kbyte programhukommelse og 2 kbyte datahukommelse. Det sier mye om utviklingen senere at det trengtes 16 monolittiske integrerte kretser for å realisere

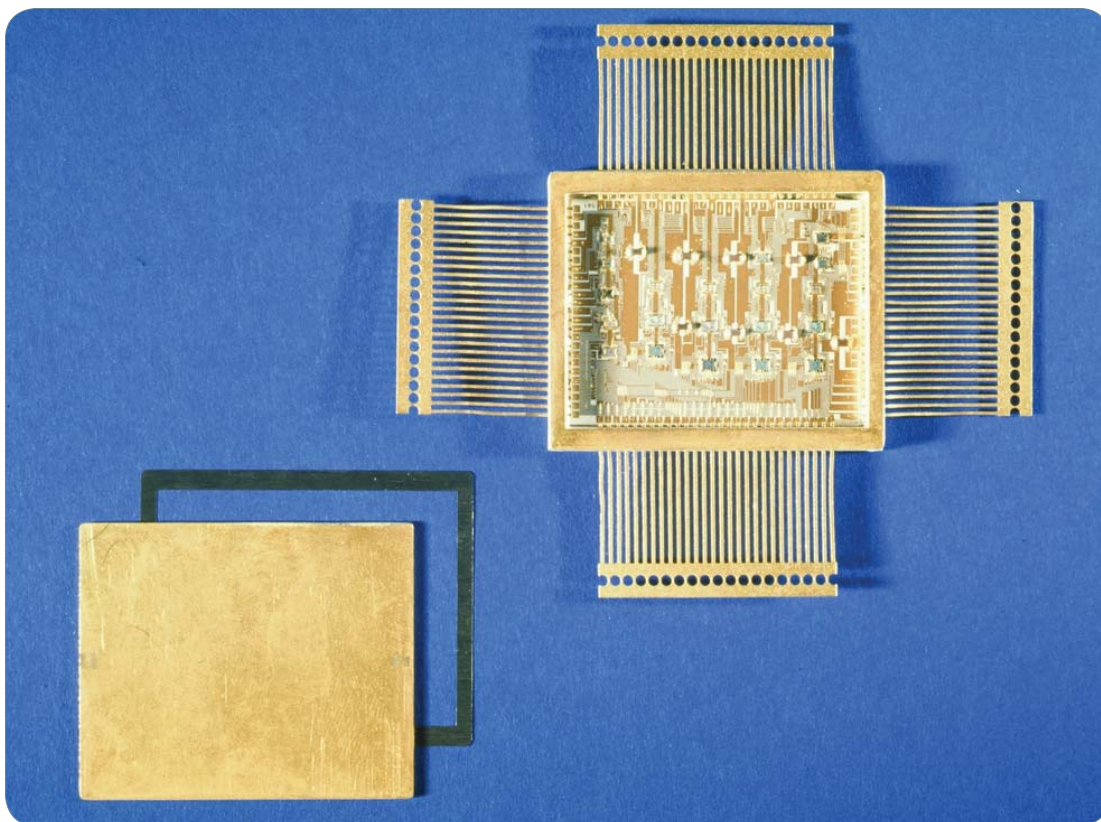
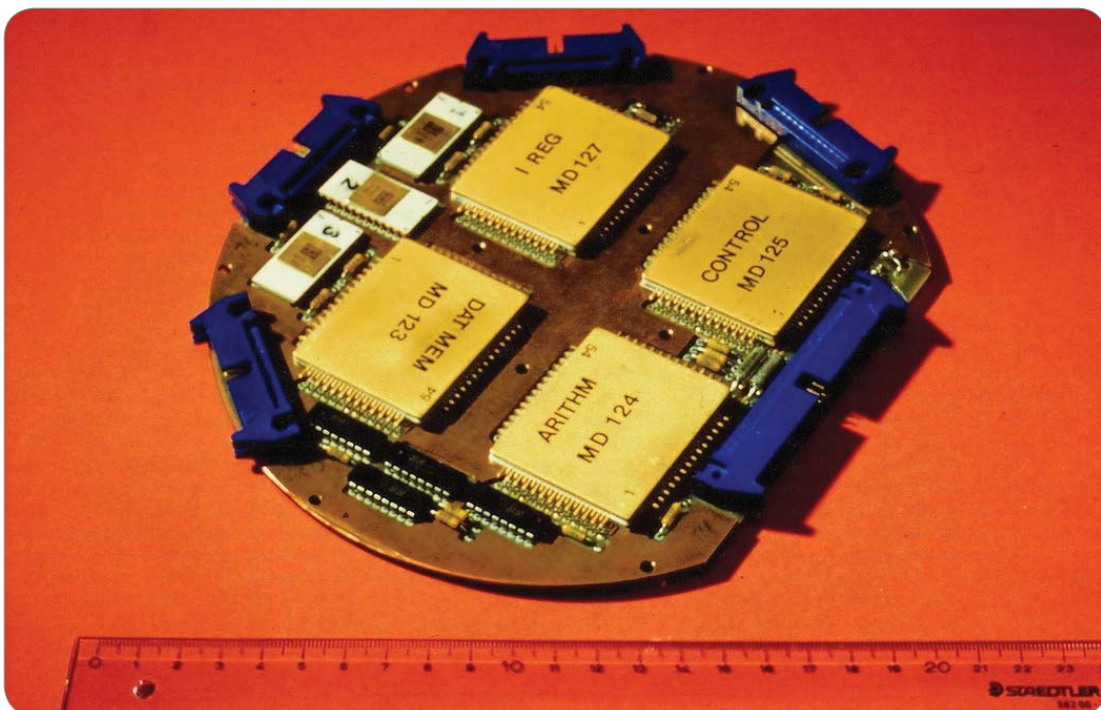


Foto av montert hybridkrets før pålodding av lokk. Lokk og lodderamme ligger ved siden av.



Prosessorkort i Penguin Mk2 Mod 4 søker med 4 hybridpakker. Kretskortet er et multilagskort med 10 gjennomlekkerte lag produsert på Teknologisk lab.



datahukommelsen, som fylte 1 av de 4 hybridkretsene.

Konstruksjonen av MIPROC var optimalisert med hensyn til regnehastighet, slik at enkle operasjoner, så som addisjon av tall, og flytting av data til og fra datahukommelse, ble utført på en enkelt klokkeperiode. Den var begrenset til 800 ns i hybridversjonen pga. datahukommelsens hastighet, men det ble også laget versjoner som fungerte ved dobbelt hastighet. Konstruksjonen ga MIPROC høyere regnekraft enn for eksempel Intels 8086 prosessor, som kom på markedet i denne perioden, og ble benyttet i første generasjon PC.

Ytelsen til kommersielt tilgjengelige monolittiske prosessorer økte hurtig i løpet av den tiden MIPROC ble utviklet. Som følge av denne utviklingen valgte man å skifte ut MIPROC med en prosessor fra Motorola i neste produksjonsversjon av Penguin søker. Slike komponenter var vesentlig billigere og mindre plasskrevende, men det tok ytterligere noen år før MIPROC ble slått med hensyn til regnekraft.

MIPROC var den første

Den versjonen av søkeren som inneholdt MIPROC var den første som benyttet digital signalbehandling av dataene fra detektoren i søkeren. Selv om MIPROC fikk kort levetid som prosessor i Penguin, førte prosjektet til betydelig oppbygging av kompetanse og utvikling av algoritmer og tynnfilm hybridteknologi. Gjennomføringen av prosjektet, med vellykkede prøver som avslutning, var viktige for den videre satsing på Penguin som våpensystem, og etterfølgeren NSM (Norsk Sjømåls Missil). MIPROC ble også benyttet i andre oppgaver ved FFI, så som databehandling for værradaren og Fourier Transform Spektrometeret for måling av infrarød stråling.

Bidragstyttere: Harald Schiøtz, Erik Brennhagen, Erling Skogen.



Tidligere utgitt i denne serien

1. Om FFIs etablering på Kjeller og utviklingen fram til 1996
2. Terne - et anti ubåtvåpen

