

Fra Forsvarets forskningsinstitutt

# HISTORIE

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



Ionosfæreforskning



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 prosjektaktivitetene 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



# Ionosfæreforskning

## Fra Kjeller til Saturn

*Studier av ionosfæren har lange tradisjoner i Norge, først og fremst knyttet til nordlyset. Det var Leiv Harang som ledet denne forskningen ved Nordlysobservatoriet i Tromsø. Etter at Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) hadde etablert seg på Kjeller etter Den annen verdenskrig ble disse målingene overtatt av Avdeling for telekommunikasjon (Avd T). Siden har det vært en kontinuerlig utvikling i ionosfæreforskningen ved instituttet. Dette er et av de stedene på FFI hvor det har vært drevet grunnforskning, og herfra er det kommet mange doktorgrader. Instituttets ionosfæreforskere har i flere sammenhenger vært ledende på dette området, både når det gjelder forståelsen av ionosfæren og de praktiske forsøk. Gruppen har også deltatt med utstyr i satellitter og internasjonale forsøk rundt omkring i verden. Det var denne gruppen som tok initiativet til opprettelsen av Andøya Rakettskytefelt (ARS). Her kunne de skyte raketter med måleutstyr inn i ionosfæren og gjøre sine målinger der. Etter hvert har ARS utviklet seg til å bli et viktig internasjonalt skytefelt med forskere fra en rekke land. Ionosfæregruppen har også hatt forskjellige oppdrag i forbindelse med bruk av satellitter.*

*Eivind Thrane har vært en fremtredende forsker på dette området og har fått Kongens fortjenestemedalje i gull for sin mangeårige innsats for ionosfæreforskningen i Norge. Han har fortalt om virksomheten i ionosfæregruppen ved FFI. Andre bidragsytere er Finn Lied, Bjørn Landmark og Jan Trøim.*

### Begynnelsen

Etter at Marconi i 1901 hadde sendt sitt berømte radiosignal over Atlanteren, postulerte den britiske fysikeren Heaviside at det måtte eksistere et elektrisk ledende lag i den øvre atmosfære som kunne reflektere radiobølgene. Teoretiske beregninger av bl.a. Sommerfeldt hadde vist at bølgene ikke kunne nå frem langs den krumme jordoverflaten uten et slikt lag. "Heaviside-laget" ble senere påvist eksperimentelt i høydeområdet 60-500 km og fikk navnet ionosfæren. Den ekstremt tynne luften i dette høydeområdet er et grenseskikt mot det interplanetare rom. Dette skiktet skulle vise seg å ha stor betydning for jordens strålingsbalanse og i tillegg gi muligheter for utviklingen av global radiokommunikasjon og navigasjon.

I boken "Kunnskap som våpen" gis en kortfattet innføring i FFIs virksomhet innen radio-geofysikk. Virksomheten ble her satt inn i en større sammenheng der både forsvarsmessige og industrielle forhold var viktige. Vi skal her se litt mer i detalj på ionosfæreforskningen ved FFI og dens betydning for utviklingen av radiokommunikasjon, navigasjon og deteksjon. Denne forskningen dannet også

en plattform for FFIs og Norges inntreden i romalderen. Bare fem år etter Sputnik ble den første forskningsraketten skutt opp fra ARS i regi av FFIs forskere og ingeniører.

Grunnlaget for forståelsen av hvordan ionosfæren dannes og varierer i tid og rom ble lagt fra ca. 1920 og frem til Den annen verdenskrig. Britiske forskere med Edward Appleton i spissen førte an i dette arbeidet. Appleton fikk Nobelprisen i fysikk i 1947 for sitt arbeid i utforskningen av ionosfæren. Det ble tidlig klart at det er en nær sammenheng mellom ionosfæren ved høye bredder og nordlyset, og Appleton utrustet i 1932 en ekspedisjon til Tromsø for å studere de kompliserte variasjonene i nordlyssonen ved hjelp av radioekkometer (ionosonder). Hans kontakter i Tromsø var bestyrer Leiv Harang ved Nordlysobservatoriet og bestyrer Peter Thrane ved Værvarslinga for Nord-Norge. Da Appleton forlot Tromsø, overlot han apparaturen til Harang som førte målingene videre. Harang var assistert av en tysk flyktning, Willy Stoffregen, og laborator Reidulf Larsen. Samarbeidet mellom Nordlysobservatoriet og de britiske forskere ble viktig i de senere år og dannet

grunnlaget for utviklingen av norsk ionosfærefysikk. Her skulle Leiv Harang spille en sentral rolle.

### Ionosfæren fikk militær betydning

Under Den annen verdenskrig ble det satt inn store ressurser for å forbedre radiokommunikasjon og navigasjon, samtidig som de første radarsystemer ble utviklet av britene. Som kjent spilte radar en avgjørende rolle i "Battle of Britain". Etter krigen hadde ionosfæreforskningen oppnådd en høy prestisje, en prestisje som den skulle få beholde gjennom hele den kalde krigen. I Norge ble det ikke mulig å fortsette med radiosendere, og Stoffregen reiste til Sverige. Den tyske okkupasjonsmakt tok kontroll over Nordlysobservatoriet og Leiv Harang ble i krigens siste år arrestert og sendt til Tyskland. Tyskerne, under ledelse av dr. Dieminger og dr. Rawer utførte ionosfæremålinger ved hjelp av ionosonder både på Kjeller og i Tromsø. Det var kommunikasjonsbehovet i kortbølgebåndet som var bakgrunnen for den militære interessen. Både engelskmennene og amerikanerne etablerte, med samme begrunnelse, ionosondestasjoner over hele verden. Britene etablerte en stasjon på Svalbard, der telegraffullmektig Skribeland tjenestegjorde en tid.

I 1946 ble FFI opprettet og Harang ble ansatt ved radaravdelingen i Bergen, senere ble han den første forskningssjef ved Avdeling for telekommunikasjon på Kjeller. Finn Lied var en av de første som ble ansatt som stipendiat. Han hadde under krigen vært i England som kaptein i Hærens Samband, og hadde tatt en hovedfagsoppgave om rombølgeforplantning ved Marconi. Videre hadde han deltatt i frekvensvarsling i HF-båndet. Han hadde dermed nær kontakt med forskningsmiljøet i Storbritannia.

Harang og Lied initierte ionosfæreforskningen ved FFI. I 1948 begynte Bjørn Landmark som vernepliktig soldat ved FFI i Bergen, og dermed var den tredje hovedpersonen i dette forskningsmiljøet kommet inn i bildet. Landmark ble senere ansatt som stipendiat ved Nordlysobservatoriet og ble senere forsker og forskningssjef ved FFI på Kjeller. Han var i 1955 den første ved instituttet som tok sin doktorgrad i ionosfærefysikk.

Ionosfæreforskningen ved FFI utviklet seg raskt. Det ble bygget opp et meget aktivt intellektuelt og teknologisk miljø som stimulerte forskere og ingeniører til innsats, og det ble oppnådd betydelige fremskritt innen feltet, i et utstrakt samarbeid med internasjonale partnere. Det er naturlig å dele beskrivelsen i to, de første 15 årene da bak-



Fire prominente deltakere i planleggingen av den norske rompolitikk. Fra venstre: Finn Lied, Leiv Harang, Karl Holberg og Svein Rosseland (mai 1960).



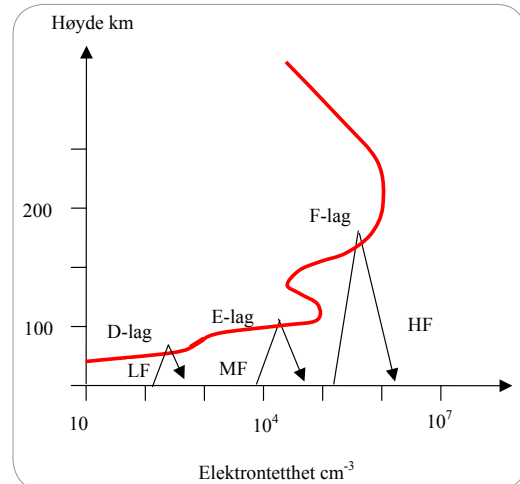
*Bjørn Landmark var den tredje hovedpersonen i dette forskningsmiljøet.*

kebaserte teknikker var de eneste tilgjengelige eksperimentelle metoder, dernest "romalderen" som for FFIs vedkommende startet i 1962 med raketten Ferdinand 1, samt med forsker Bernt Mæhlums opphold hos professor James van Allen i USA der han fikk være med på utviklingen av de første amerikanske forskningssatellitter. Van Allens oppdagelse av strålingsbeltene som fikk hans navn, var et gjennombrudd i sol-jord fysikk. FFI var tidlig ute med å utnytte raketter og satellitter som instrumentplattformer, og i løpet av 1960-årene var det en glidende overgang til en situasjon der hovedvekten ble lagt på rombaserte eksperimenter. I det følgende skal vi først gi en oversikt over noen av de viktigste prosjektene, dernest beskrive miljøet og resultatene.

## Forskningsprosjekter før romalderen

### Litt om ionosfærefysikk

Radiotransmisjon langs jordoverflaten kan over sjø nå ut til ca. 300 km. Over kupert terreng med dårlig ledningsevne (ikke uvanlig i Norge!) kan jordbølgeforplantning imidlertid være begrenset til noen få titalls kilometer. Før romalderen var derfor radiokommunikasjons- og navigasjonssystemer over større avstander helt avhengige av signaler reflektert fra ionosfæren. Ionosfæren kan defineres som den del av jordens atmosfære



*Høydevariasjonen av elektrontettheten i ionosfæren med betegnelser på ionosfærelagene.*

der det finnes en betydelig konsentrasjon av frie elektroner som kan påvirke radiobølger ved brytning, absorpsjon og spredning. Dette området strekker seg fra ca. 50 km til ca. 500 km høyde. Den "normale" ionosfæren dannes ved at energirik ultrafiolett stråling fra solen spalter molekyler og atomer og danner frie elektroner og positive ioner. Et slikt medium kaller vi et svakt ionisert plasma. Forskjellige deler av solspektret påvirker forskjellige typer atomer og ioner, slik at det dannes tre hovedlag av ionisasjon, D-laget fra 50 til 90 km høyde, E-laget fra 90 til 150 km og F-laget fra 150 til ca. 500 km.

Disse lagene har en regulær variasjon med solens høyde over horisonten, dvs. en variasjon over døgnet og året, og en variasjon med breddegrad. I tillegg påvirkes ionosfæren av energirike partikler (vesentlig elektroner og protoner) fra solvinden som trenger inn i atmosfæren i polområdene. Denne partikkelnedbøren danner nord- og sydlis og forårsaker store irregulære variasjoner i ionosfæren ved høye bredder. Ionosfæren vil ved vertikalt innfall kunne reflektere radiobølger med frekvenser opp til ca. 15 MHz, mens ved skrått innfall vil frekvenser helt opp til 30 MHz kunne brukes. Høyere frekvenser vil trenge gjennom ionosfæren. Det var derfor av fundamental interesse å forstå hvordan radiobølger med frekvenser lavere enn ca. 30 MHz blir reflektert og absorbert i ionosfæren. Generelt vil signaler i kortbølgebandet (HF 3-30 MHz) og mellombølgebandet (MF 0,3-3 MHz) bli reflektert fra F-laget

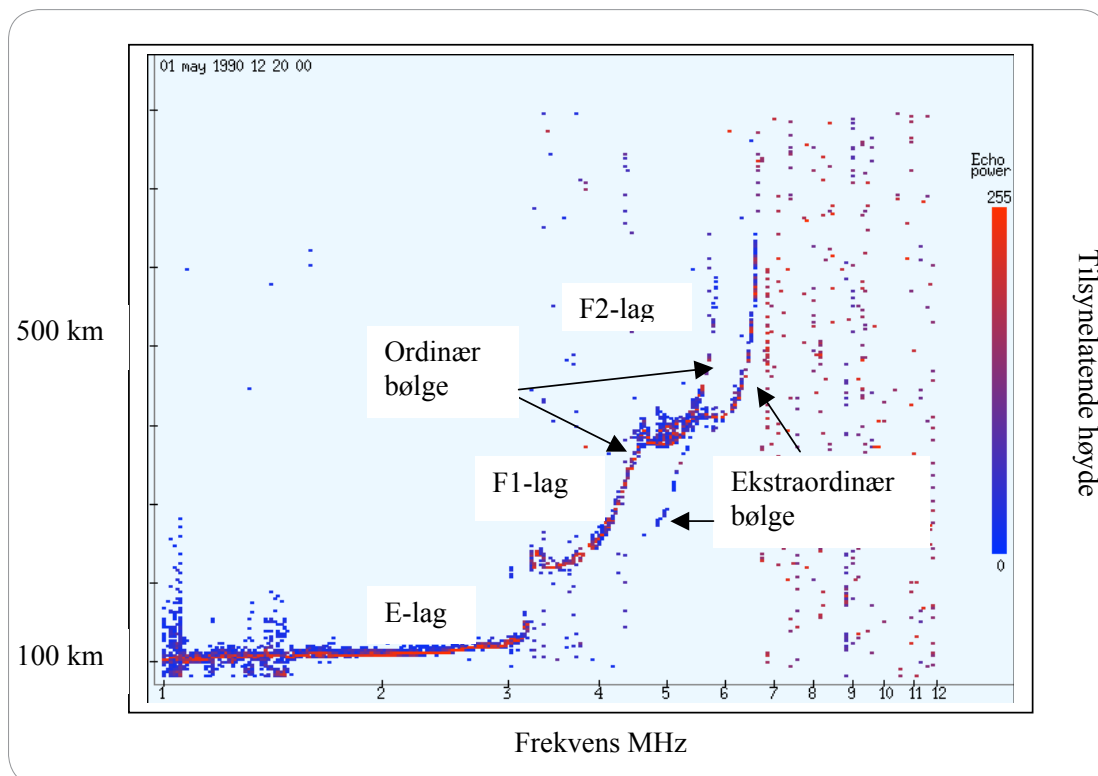
og E-laget, mens disse bølgeene vil bli absorbert i D-laget. Lavere frekvenser vil både bli reflektert og absorbert i D-laget. Fordi nordlyssonen om natten ligger over Nord-Norge, er det spesielt viktig for oss å forstå hvordan nordlysrelaterte fenomener virker inn på radiokommunikasjon og navigasjon. To hovedproblemer måtte løses: Hvordan dannes ionosfæren, og hvilke lover gjelder for radiobølgeutbredelse i dette mediet?

## De første undersøkelsene

Under Harangs og Lieds ledelse ble det bygget opp et forskningsprogram som omfattet både grunnleggende og anvendte studier av kommunikasjon og navigasjon ved radiobølger reflektert fra ionosfæren. Her var det naturlig å konsentrere virksomheten om forholdene ved høye bredder og spesielt i nordlyssonen. Det ble lagt vekt på eksperimentelle undersøkelser for å kartlegge ionosfæreforholdene i disse områdene, som fra før var lite utforsket. Det anvendte aspekt ved disse undersøkelsene ble styrket gjennom et nært samarbeid med Televerkets Bølgeforplantningskontor (B-kontoret) som ble lagt til FFI. Telegrafbestyrer G. Skribeland

ledet dette kontoret de første årene og ble etterfulgt av telegrafbestyrer K.W. Eriksen. Stoffregen ble kalt tilbake fra Sverige for å utvikle nye ionosondestasjoner. Hovedoppgaven var å utarbeide frekvensvarsler for kortbølgesamband. Varslene var basert på aksepterte ionosfæremodeller og globale rutinemålinger ved hjelp av ionosonder. En ionosonde er en kortbølgeradar som måler ionosfærens reflekterende egenskaper, vanligvis i båndet 2-30 MHz.

Ionosonder var i drift nær rensholdsverket ved Kjeller og ved Nordlysobservatoriet i Tromsø, og dataene fra disse ble brukt i frekvensvarslingen. B-kontoret hadde to ansatte damer, Kate Lien og Inger Marie Torgersen som leste av ionogrammer og utarbeidet varsler, samt to vernepliktige "ionosfæresoldater" (eller B-soldater) som passet ionosonden og utførte andre målinger. B-soldatene fikk en grundig opplæring og måtte ta eksamen i et kurs der Skribeland og Lied underviste. Dette kurset var utarbeidet av Finn Lied og representerte sannsynligvis den beste undervisningen i elementær ionosfærefysikk i Norge på den tiden. Flere fremtidige ionosfærefysikere fikk sin første



Et typisk ionogram som viser tilsynelatende refleksjonshøyde som funksjon av radiobølgens frekvens.



kontakt med faget på denne måten. Frekvensvarslingstjenesten var viktig for Forsvaret og for sivil kommunikasjon, både når det gjaldt kringkasting og samband. På den sivile sektor var kommunikasjon med handelsflåten over hele verden av særlig betydning. Bølgeforplantningskontoret ble nedlagt i 1970, da FFI overtok ansvaret og fortsatte tjenesten ved hjelp av nye avanserte dataprogrammer utviklet i USA. Studiene av HF-kommunikasjon og frekvensvarsling fortsatte imidlertid, og FFI hadde et nært samarbeid med Institute for Telecommunication Sciences i Boulder, Colorado, om videreutvikling av frekvensvarsling for høye bredder.

### Absorpsjonsmålinger

I 1950 startet Finn Lied en serie målinger av absorpsjon i ionosfæren. Det var viktig å forstå de mekanismer som forårsaker at radiobølger i mellombølge- og kortbølgebåndene svekkes i ionosfærelagene. Det var tidlig klart at absorpsjonen i det vesentlige skjer i D-laget og har både en regulær variasjon med solhøyden og flere typer irregulære variasjoner. Radiobølger absorberes når de frie elektroner svinger i bølgefeltet og mister sin energi ved kollisjoner med nøytrale molekyler. Absorpsjonen er proporsjonal med produktet av elektrontettheten  $N_e$  og kollisjonsfrekvensen, og en økning i en eller begge av disse parametrene vil derfor gi øket svekking av radiobølgen. Spesielt viktig var det å kartlegge de såkalte polare "blackouts", perioder der sterk absorpsjon ved høye bredder kan



*Forsøksstasjonen i Domba, der den første antennemasten var et kvistet tre på rot.*

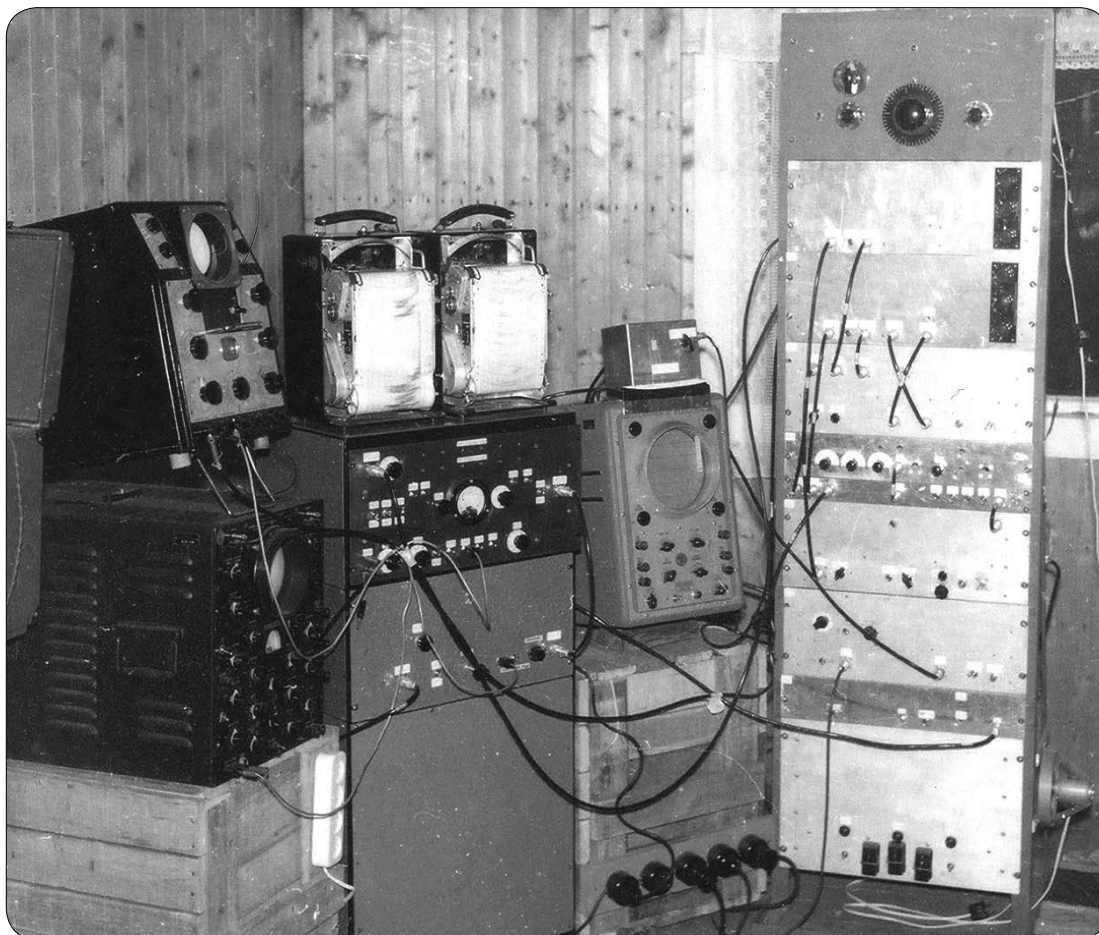
stoppe all kommunikasjon og navigasjon i disse båndene. Slike blackouts opptrer irregulært og kan i ekstreme tilfeller vare opptil ti dager. Videre ønsket man å forstå årsakene til "vinteranomalien" i absorpsjonen. Ved midlere bredder er absorpsjonen om vinteren både sterkere og mer irregulære enn om sommeren. FFIs studier var basert på feltstyrkemålinger av vertikalt reflekterte, pulsede signaler i frekvensområdet 1 til 15 MHz, den såkalte A1-metoden. Sender og mottakersystemene var bygget ved instituttet og målestasjonen lå i Domba.

Målingene ble utført manuelt av ionosfæresoldatene etter et nøye oppsatt program som omfattet daglige observasjoner året rundt. På særlig viktige helligdager som julaften og første juledag fikk soldatene fri og Lied selv utførte minimumsprogrammet, to timers observasjon fra kl 11 til 13. Målet med observasjonene var å kartlegge frekvensvariasjonen av absorpsjonen og hvordan den avhenger av tid på døgnet, året og aktiviteten på solen. Dette observasjonsprogrammet varte i ni år, altså nesten en solflekkperiode. En del av perioden ble tilsvarende målinger også utført i Tromsø.

### Variasjoner i D-laget

Absorpsjonsmålingene ga et vesentlig bidrag til kartlegging av D-lagets variasjoner ved høye bredder. Det ble klart at elektroner og protoner, ofte assosiert med nordlys, trenger ned i E- og D-lagene der de øker produksjonen av elektroner. Disse variasjonene kan være dramatiske, som når ionosfæren over hele polkalotten ned til 60°N totalt absorberer alle radiosignaler i LF, MF og HF-båndene i en hel uke. En slik begivenhet kalles en PCA (Polar Cap Absorption event) og vi vet i dag at den skyldes et utbrudd på solen som sender høyenergetiske protoner inn i jordatmosfæren. Disse kan trenge helt ned til 40 km, altså ned i stratosfæren under D-laget. En av de første PCAer som ble godt dokumentert i global målestokk fant sted den 23. februar 1956. Dette var en torsdag og den ukedag da absorpsjonsmålingene i Domba forgikk kontinuerlig fra kl 00 til 24. Ionosfæresoldat Thrane hadde 12 timers vakt fra midnatt og målte sterke, klare signaler reflektert fra F-laget. Nær klokken fire om morgenen begynte signalene å bli svakere, og i løpet av en halv time var ikke bare ekkoet forsvunnet, men bakgrunnsstøy-





*Absorpsjonsmåleapparaturen.*

en var også dramatisk redusert. Målingene av bakgrunnen fortsatte etter at antenneimpedansen var sjekket og det var klart at antennen ikke var falt ned. Klokkeren syv ringte forskningssjef Lied og spurte om det var observert noe unormalt. Soldaten var nok glad over at han ikke hadde sovet på vakt, og målingene fra Kjeller ga et bidrag til studiet av denne viktige begivenheten.

I militær sammenheng var selvsagt en ukes total lammelse av alt kortbølgesamband i nordområdene dramatisk, og en eventuell prediksjon av slike forstyrrelser av stor betydning. Fra Natos, og sikkert også fra Sovjets side, ble det brukt store ressurser i studier av slike naturlige black-outs. Det ble også etter hvert klart at en atombombe detonert i den øvre atmosfære kunne fremkalle en kunstig black-out, om enn av kortere varighet. Virkningene av atombombeekspløsjoner i atmosfæren ble også studert ved FFI, og forsker, senere forskningssjef Per Thoresen tok sin doktorgrad på dette emnet i 1970.

## Navigasjon

Mens mellom- og høyfrekvensbåndene 300 kHz - 30 MHz primært var viktige for kommunikasjon, ble lavfrekvensbåndene VLF 3-30 kHz og LF 30-300 kHz anvendt til radionavigasjon. Omegasystemet på ca. 10 kHz var et verdensomspennende system der en av stasjonene var lagt til Aldra i Nord-Norge. Omegasignalene ble reflektert i den nederste del av D-laget og absorpsjon under forstyrrelser var derfor ikke et problem for signalstyrken. Derimot var høyden av det reflekterende laget variabel under forstyrrelser. Høydeforandringer var viktig for fasen av signalene og dermed nøyaktigheten av navigasjonen. FFI var engasjert i målinger av fase og feltstyrke for Omegasystemet og viste blant annet at posisjonsfeil på opptil 10 km kunne oppstå under ekstreme polare forstyrrelser. Forsker Trygve Røed Larsen tok sin doktorgrad i 1973 på studier av ionosfærens virkning på Omega. FFI var også interessert i nøyaktigheten av LORAN-C



som bruker båndet nær 100 kHz. I prinsipp skulle dette navigasjonssystemet være uavhengig av ionosfæren innenfor avstander på 300-400 km, fordi det primært bruker jordbølgen. Imidlertid ble det påvist at over nordnorsk terreng blir jordbølgen så svekket at ionosfæresignalet kan dominere og gi feil under PCA-forhold. Betydningen av navigasjonssystemene vakte politisk debatt fordi det ble hevdet at disse kunne brukes av amerikanske ubåter til oppskyting av ballistiske missiler. FFIs studier kunne imidlertid påvise at nøyaktigheten ikke var god nok til dette formål. De meget lave frekvensene kan brukes til kommunikasjon under forstyrrelser, men den tilgjengelige båndbredde er liten. Videre vil selv disse lange bølgene bare trenge noen få meter ned i sjøvann, og kan ikke i praksis brukes av en neddykket ubåt. Eivind Thrane hadde i 1962 tilbrakt et år ved Radio Research Station i England og deltatt i utviklingen av et større regnemaskinprogram som beregnet en full bølgeløsning for refleksjon og utbredelse av meget lave frekvenser i ionosfæren. Dette programmet representerte et gjennombrudd i feltet og de første beregninger ble publisert i det prestisjetunge Phil. Trans. Roy. Soc. Det ble senere anvendt på FFI i studier av Omega og LORAN-C.

#### Ulineære fenomener i ionosfæren

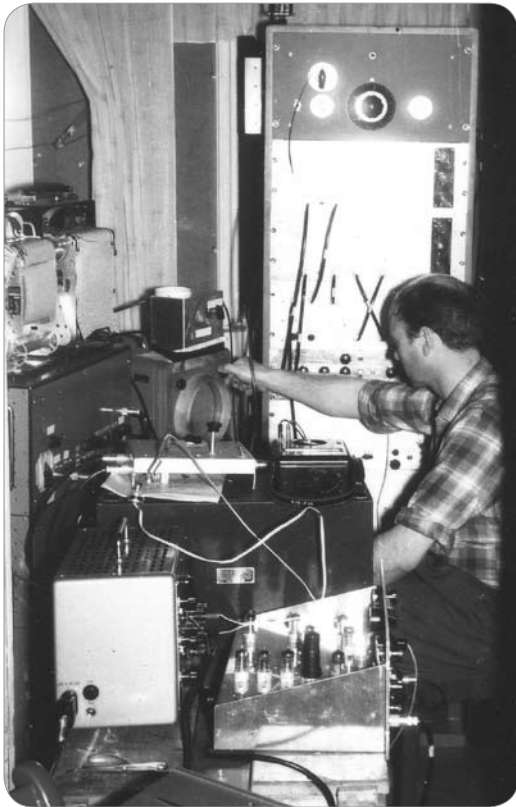
Ionosfæren er et ulineært medium, dvs. en radiobølge i ionosfæren vil forandre mediets brytningsindeks og derved påvirke sin egen utbredelse (selvmodulasjon) og utbredelsen av andre bølger som passerer gjennom området i ionosfæren der radiobølgen passerer (kryssmodulasjon). Det siste fenomenet er også kjent som "Luxembourgeffekten". Det ble oppdaget ved at kringkastingsprogrammene fra Beromünster i Sveits mottatt i Haag, ble modulert av den kraftige kringkastingssenderen i Luxembourg som ligger rett under refleksjonspunktet for disse signalene. Fenomenet skyldes at en kraftig radiobølge vil varme opp elektronene i ionosfæren og dermed øke kollisjonsfrekvensen slik at absorpsjonen øker i takt med bølgens amplitude. I D-laget er kollisjonsfrekvensen allerede høy slik at virkningen her blir størst. For å studere fenomenet ble det midt i 1950-årene bygget en meget kraftig HF pulssender på FFI som kunne gi en effekt på nær 1 MW i pulsene. Finn Lied og Kåre Malmjord var nøkkelpersoner her. Senderen var stasjonert i kjelleren på det senere kantinebygget, der

soldatene var forlagt i etasjen over. En dipol senderantenne var satt opp rett utenfor. En initiativrik soldat koblet en dag soldatenes Sølvsuper radio til feederen til denne antennen for å høre på radio Luxembourg. Da senderen ble slått på, gikk det ikke så godt med Sølvsuperen som ikke var bygget for å motta megawatt pulser direkte på inngangen. En noe uventet Luxembourgeffekt!

Den store interessen for D-laget førte til utvikling av nye målemetoder. Den sør-afrikanske forskeren Fejer konstruerte et kryssmodulasjonsekperiment, som ble kopiert og videreutviklet ved FFI. Prinsippet var å bruke to HF-pulssendere med forskjellig frekvens. Begge sender vertikalt. Det ene signalet, den ønskede bølgen, som har en pulsrepetisjonsfrekvens (PRF) på 50 Hz, reflekteres fra E- eller F-laget og mottas på bakken. Den andre, den forstyrrende bølgen, varmer opp ionosfæren med kraftige pulser med en PRF på 25 Hz. Ved omhyggelig synkronisering av signalene kan man oppnå at annen hver av de ønskede pulsene passerer gjennom et D-lag som er oppvarmet under en gitt høyde, slik at amplituden av signalet moduleres med 25 Hz. Denne modulasjonen var meget liten, rundt en promille av amplituden av det mottatte signal, og eksperimentet satte store krav til følsomhet og deteksjonsteknikk. Birger Bjelland hadde ansvaret for den tekniske utviklingen i samarbeid med Lied og Landmark. FFIs tekniske løsninger på problemene var meget avanserte og ga data som kvalitetsmessig var blant de beste i verden. Analysen ga ny og nøyaktig informasjon om elektrontetthet og kollisjonsfrekvens i D-laget. Vi skal komme tilbake til omfanget av selve målingene.

#### Partielle refleksjoner

Den andre viktige metoden for studier av D-laget var basert på at det var observert meget svake partielle refleksjoner av MF- og HF-bølger som passerte gjennom D-laget. Ionosfæren er dobbeltbrytende og enhver bølge vil spaltes i en ordinær og en ekstraordinær komponent som har forskjellig brytningsindeks. Gardner og Pawsey (1953) viste at man kunne utnytte forskjellen i spredning og absorpsjon av disse komponentene til å utlede elektrontetthetsprofilen i D-laget. Metoden baserte seg på enkle fysiske forutsetninger og var også forholdsvis enkel å implementere teknisk. Partielle refleksjoner



*Birger Bjelland med kryssmodulasjonsapparatet.*

ble derfor et populært eksperiment som ble utført en rekke steder i verden, fra New Zealand og Australia til USA, Canada og Norge. Igjen var FFI tidlig ute og målinger ble utført på Kjeller og i Lavangsdalen nær Tromsø. Jan Trøim, Olav Holt, Eivind Thrane og Arne Haug var aktive i dette arbeidet, mens Birger Bjelland, Odd Lytømt og Lars Lorntzen sto for den tekniske utviklingen.

Partielle refleksjoner viste seg å være svært nyttige i studier av ionosfæren i og nær nordlyssonen, og nye interessante resultater ble stadig presentert i internasjonale fora. Samtidig pågikk en intens debatt om selve de fysikalske forutsetningene for eksperimentet, hvilke mekanismer forårsaker spredningen av bølgene? En rekke grupper lå i knivskarp konkurranse om å nå først frem. FFIs viktigste konkurrent her var dr. J. S. Belrose og hans gruppe ved Defence Research Telecommunication Establishment i Ottawa. (DRTE), en institusjon som FFI for øvrig hadde god kontakt med gjennom utveksling av forskere. Viktige resultater ble oppnådd av begge gruppene, men selv i dag har vi ikke fullt ut forstått alle mekanismer som partielle refleksjo-

ner. Metoden er imidlertid fremdeles et viktig verktøy i studier av den lavere ionosfæren.

### **Studier av nordlyssonen**

Den polare ionosfæren ble først studert ved hjelp av regulære ionosonder som sender vertikalt i kortbølgeområdet (~ 1-30 MHz). Her vil ofte elektrontettheten i D-laget absorbere de reflekterte signaler i situasjoner med aktivt nordlys. Det var derfor ønskelig å bruke radarsignaler på høyere frekvenser fordi absorpsjonen (målt i desibel) avtar med kvadratet av frekvensen. En radar i VHF-området (30-300 MHz) vil sjelden gi totalrefleksjon fra ionosfæren, men signalene kan spres fra irregulariteter i plasmaet. Disse kan være ioniserte spor etter meteorer, eller irregulariteter skapt av nordlyspartikler som trenger inn i ionosfæren langs de magnetiske feltlinjene. Harang og Trøim brukte radarteknikk med sendere på 40, 80 og 120 MHz. På disse frekvensene var det mulig å anvende yagi-antennene som kunne rette energien i en begrenset stråle. Under nordlysforhold fikk man maksimal tilbake-spredt energi når strålen var rettet  $90^\circ$  på magnetlinjene. Radarstudier mot nord fra Kjeller viste seg å ha en spesielt gunstig geometri fordi bølgene ville treffe  $90^\circ$  på magnetlinjene i nordlyssonen over Nord-Norge.

Et av flere viktige resultater var at de ioniserte områdene beveget seg i øst-vest-retningen. Senderantennen var en yagi-antenne med en relativt vid sender-lobe rettet mot magnetisk nord. For å oppnå høy vinkeloppløsning ble ekkoene mottatt på to rhombantennene (10 grader åpningsvinkel, 12,5 W og 6,3 E). Ved å observere signaler samtidig i de to antennene kunne en estimere bevegelsen over døgnet i øst-vest-retningen. Driften øst-vest hadde en utpreget daglig variasjon, om kvelden mot vest og om morgenen mot øst. Dette var i overensstemmelse med teorien om et elektrisk strømsystem som flyter langs nordlyssonen og som skifter retning i løpet av døgnet. Det viste seg at retningen av dette systemet faller sammen med vekslingen i de midlere driftretninger av de ioniserte områder og de områdene av synlig nordlys som kan observeres med "all sky" kamera i nordlyssonen. Skiftet i retning av strømsystemet fikk senere navnet "Harang-diskontinuiteten". Arbeidet med å forstå hvordan radiosignaler på høye frekvenser blir spredt fra ionosfæren ble videreført av Tor



Hagfors, som ga viktige teoretiske bidrag, og som studerte såkalt "VHF forward scatter" som kommunikasjonssystem. Hagfors var en av hovedmennene bak opprettelsen av European Incoherent Scatter Facility (EISCAT), som i 1970-årene ble etablert i Nord-Skandinavia.

Riometeret (Radio Ionospheric Opacity meter) var også et viktig instrument i utforskningen av nordlysfenomen. Instrumentet måler galaktisk radiostøy, typisk mellom 27 MHz og 40 MHz ved hjelp av en enkel yagi-antenne og en kalibrert mottaker. Under uforstyrrede forhold vil støyen ha en karakteristisk "roligdagskurve", en døgnlig variasjon i stjernetid, ikke soltid, mens antennestrålen sviper over himmelen. Enhver irregulær variasjon i elektrontettheten, spesielt i den lavere ionosfære, vil absorbere radiostøyen og dermed gi et avvik fra roligdagskurven. Et nett av riometere vil derfor kunne kartlegge hvor nordlyspartiklene treffer ionosfæren, og flere slike instrumenter var i drift i Nord-Norge og senere på Svalbard. FFI bygget en hytte i Lavangsdalen nær Tromsø på et sted langt fra bebyggelse og kraftledninger. Denne ble brukt til observasjoner som krevde lavt elektromagnetisk støynivå, som riometermålinger, partielle refleksjoner og målinger av lavfrekvente signaler (VLF og ELF).

#### Globale D-lagsstudier og Nato-prosjekter

FFI var en aktiv deltaker i Natos arbeid innen anvendt forskning og grunnforskning. Finn Lied var bl.a. i mange år medlem av Natos Vitenskapskomité. Gjennom denne komiteen var det mulig å søke om midler til internasjonalt samarbeid mellom Nato-land.

Hensikten med programmene var å stimulere forskning generelt, men spesielt var det viktig å utvikle de teknologisk og vitenskapelig svake partnere innen alliansen, f.eks. Portugal, Tyrkia og Hellas. Sannsynligheten for å få støtte økte altså dersom man kunne finne en god partner i et av disse landene. I 1962 initierte Finn Lied og Bjørn Landmark et prosjekt for å studere D-lagets egenskaper ved forskjellige bredder. Absorpsjonsmålinger hadde vist betydelige forskjeller mellom f.eks. døgnlig variasjon ved midlere og høye bredder, og de tilgjengelige modeller kunne ikke forklare observasjonene. Man diskuterte bl.a. om det fantes et C-lag under D-laget. Det var derfor gode vitenskapelige grunner for å studere høydefordelingen av elektrontettheten ved hjelp av kryssmodulasjon eller partielle refleksjoner. De utenlandske partnerne i prosjektet var Max-Planck-Institut für Ionosphärenphysik i Tyskland ved direktør Walter Dieminger og Ionospheric Institute of Athens ved professor A. Anastassiades. De vitenskapelige og politiske forutsetningene var altså oppfylt og prosjektet ble tildelt \$120,000, en betydelig sum i de dager. Norge skulle lede prosjektet og Eivind Thrane fikk ansvaret for gjennomføringen. Det er interessant å merke seg at Walter Dieminger var den samme som, på vegne av okkupasjonsmakten, installerte ionosonder i Norge under krigen.

Prosjektet var ambisiøst. Man skulle opprette målestasjoner på fire breddegrader: Lavangsdalen ved 69°N, Kjeller ved 60°N, Kreta ved 35°N og Tsumeb i Syd-Afrika ved 23°S. Max-Planck Institut hadde en ionosfære-



Stasjonen på Kreta. I bakgrunnen ligger Malia med ruinpark fra minoisk tid. I dag er kystlinjen dekket av turisthoteller. Foto: Eivind Thrane.



restasjon i drift i Tsumeb. Det ble inngått en kontrakt med David Andersen Radio om bygging av tre sett utstyr for måling av partielle refleksjoner. Disse skulle i første omgang stasjoneres i Lavangsdalen, på Kjeller og i Tsumeb. FFIs kryssmodulasjonsutstyr skulle settes opp på en stasjon på Kreta. Meningen var at man i intensive perioder skulle måle samtidig fra alle stasjoner for å etablere den døgnlige variasjon av elektrontetthetsprofilen.

Tidlig i september 1963 dro Thrane, Bjelland og Lytomt til Kreta for å opprette en stasjon for måling av kryssmodulasjon med FFIs utstyr. De to stasjonene skulle ligge like ved Malia, som ligger på nordkysten ca. 30 km øst for Iraklion. Malia var den gang en liten landsby uten elektrisk strøm, med et pensjonat og et enkelt turisthotell, det siste drevet av en pensjonert general Grammatikakis. Forholdene var meget primitive, men det ble lagt opp strøm til stasjonsområdet, det første stedet i Malia med elektrisitet. På hver av stasjonene sto en enkel bod, og fire master til antennene i et kvadrat 90 x 90 meter.

Det måtte forhandles med fire grunneiere for å få satt opp disse mastene. Ved hjelp av to greske ingeniører fra Ionospheric Institute of Athens og politisk press fra professor Anastasiades ble stasjonen satt i drift etter bare fire ukers intenst arbeid, og i november reiste FFI-gruppen tilbake med en måneds målinger i kofferten. I 1963 kom det en liten turistbuss til Malia en gang i uken med noen få eventyrlystne studenter. I dag er stasjonene borte, hele området dekket av hotell og mange vil kjenne nabobyen Chersonissos der en av stasjonene var plassert. De greske ingeniørene og forskerne skulle kjøre stasjonene på egen hånd, men hadde i praksis lite hell med dette. En av ingeniørene, Manoli Vredodakis, ble kjent med datteren til den lokale kafévert i Chersonissos og giftet seg med henne. Hans svigerfar eier i dag et av de store hotellene.

Høsten 1964 var alt klart og alle de fire stasjonene ble aktivert en måneds tid. Arne Haug og Odd Lytomt tok med seg et sett utstyr for målinger av partielle refleksjoner til Syd-Afrika, Eivind Thrane og Birger Bjelland dro tilbake til Kreta. I Norge var det satt opp to stasjoner for partielle refleksjoner, en på et myrområde i Gjerdrum, og en ved FFIs

stasjon i Lavangsdalen. Prosjektet ble meget vellykket, tross mange praktiske hindre underveis. Samtlige stasjoner ga gode resultater, som ble publisert sammen med greske og tyske forskere. De ga en del av grunnlaget for Thranes doktorgrad som han tok i 1967.

## Solformørkelse i Hellas

Samarbeidet med grekerne fortsatte helt frem til 1966 da militærjuntaen tok makten. På Kreta ble kryssmodulasjonseksperimentet erstattet med partielle refleksjonseksperimentet som var lettere å operere og vedlikeholde. I mai 1966 deltok forskere fra FFI i en internasjonal vitenskapelig kampanje i Hellas for å studere ionosfæren under en total solformørkelse. På Kreta var formørkelsen bare 90%, men det var likevel av stor interesse å måle partielle refleksjoner under formørkelsen. Lied, Thrane, Haug og Bjelland var på Kreta under formørkelsen og fikk meget gode målinger som ga et viktig bidrag til forståelsen av hvor hurtig D-laget reagerer på en forandring av solstrålingen. FFI deltok med flere artikler i publiseringen av resultatene fra solformørkelsen.

FFIs greske hovedkontakt, professor Anastasiades, var en mann med stor innflytelse i Hellas. Han hadde blant annet vært lærer for dronning Frederica. Etter den internasjonale kampanjen inviterte han forskningsgruppene til et seminar i Athen og alle ble også invitert til en mottakelse på slottet og fikk treffe hele kongefamilien. Dette var ikke mange månedene før juntaen tok makten og kongefamilien måtte rømme Hellas. Etterpå ble det politisk umulig å fortsette samarbeidet med grekerne og stasjonen på Kreta døde i stillhet.

Nato spilte en viktig rolle også i andre sammenhenger, for eksempel ved stipend for utveksling av forskere i Nato-land, ved finansiering av Advanced Study Institutes og Advanced Study Workshops, samt igjennom forskningssamarbeid i AGARD (Advisory Group for Aeronautical Research and Development). Vi skal komme tilbake til noe av dette i senere avsnitt.

## Det intellektuelle miljø

De ledende forskerne i ionosfærefysikk ved Avd T og senere Avd E, var Lied, Harang og



Landmark. Sammen skapte disse et meget aktivt og stimulerende forskningsmiljø der forskere, stipendiater og soldater ble trukket inn. I faste tidsskriftkollokvier, hver lørdag, senere hver fredag kl 0745, fulgte man nøye med i internasjonal fagpresse. Hver og en pliktet å gi sine bidrag ved å lese og kommentere viktige artikler, og alle nye resultater, teoretiske og eksperimentelle, ble gjennomgått, diskutert og sammenholdt med egen forskningsaktivitet. På denne måten ble det sørget for at FFIs egen forskning innen feltet var oppdatert og i forskningsfronten. Det utviklet seg en positiv konkurranseånd der man gjorde sitt ytterste for å være minst like gode som kolleger nasjonalt og internasjonalt. Ved publikasjoner og presentasjoner på internasjonale møter kunne FFIs forskere direkte måle sine resultater og kvaliteter mot andres. FFI-gruppen opparbeidet seg hurtig et godt internasjonalt renommé. Det viktigste var imidlertid at miljøet ga den enkelte en følelse av å være med på noe viktig, spennende og utfordrende. Som Bjørn Landmark alltid uttrykte det: "Det skal være gøy!" Det var også viktig at unge forskere tidlig fikk ansvar, for eksempel for å representere FFI utad. Knappe reisebestillinger måtte fordeles. Ba man om å få reise flere enn én på et faglig møte, fikk man høre Lieds filosofi, som var vanskelig å motsi: Ørner flyr alene, kråker flyr i flokk!

God dokumentasjon av forskningsresultatene er essensiell. Interne FFI-rapporter var det første steg på veien mot publikasjon. Disse ble vurdert og forbedret gjennom diskusjoner med kolleger og ledelse før artikler ble skrevet. Den høyeste klasse av FFI-rapportene var NDRE Reports. Disse var beregnet på ekstern presentasjon og ble brukt til større arbeid, som doktorgradsavhandlinger. Ledelsen stimulerte alle forskerne innen feltet til å arbeide mot en doktorgrad. Dette var mulig fordi forskningsresultatene i alt vesentlig var ugradert. Prosessen frem mot en grad er viktig og stimulerende i seg selv, og den eksterne, uavhengige vurdering som en grad innebærer, er en verdifull kvalitetskontroll av forskningen og kandidatens evne til å formidle sine resultater. Dokortittelen er også respektert i det internasjonale miljø som et kvalitetsstempel. Bjørn Landmark tok den første dr. philos.-graden i 1955, senere fulgte mange etter. Til i dag har 15 forskere tatt sin doktorgrad innen radiogeo-

fysikk ved FFI, dvs. i gjennomsnitt en hvert tredje år. En liste over doktorgradene er gitt bakerst i heftet. Det var også en selvfølge at vitenskapelige resultater i størst mulig grad skulle presenteres utad i internasjonale fora og publiseres i internasjonal fagpresse, fortrinnsvis med referee-ordning. Igjen ga denne prosessen en helt nødvendig faglig kvalitetskontroll.

## Forskerutveksling og internasjonale møter

Det finnes to andre viktige mekanismer for å stimulere forskningsmiljøet. Den ene er internasjonal forskerutveksling. FFI ga forskerne mulighet til å arbeide utenlands et år for å få erfaring, bygge opp et kontaktnett og bringe kunnskap hjem til instituttet, og det ble forventet at man benyttet denne muligheten. De fleste dro til USA og Canada, men noen til europeiske land. Tilsvarende ble utenlandske forskere invitert til FFI. Finansieringen kom stort sett fra Nato- eller NTN-stipender. Utvekslingen var svært viktig og ga interessante og verdifulle faglige og personlige kontakter. Ikke minst ga den en nyttig trening for FFIs forskere i arbeidsspråket engelsk. Noen av disse kontaktene ble av avgjørende betydning for den retning FFIs forskning skulle ta. Et tidlig eksempel er Jan Trøims opphold ved NASA der han fikk ta del i utviklingen av nyttelaster og elektroniske systemer. Han utviklet, sammen med J. Kane, et differensielt absorpsjonseksperiment, som i 1960 ble sendt opp med en sonderakett fra Wallops Island Virginia. Bernt Mæhlum arbeidet hos James van Allen i Iowa, som oppdaget strålingsbeltene ved hjelp av sine satellittinstrumenter. Eivind Thrane var et år hos J.A. Ratcliffe og W.R. Piggott ved Radio Research Station i England der han fikk ta del i grunnleggende arbeid innen radiobølgeforplantning og ionosfærefysikk.

Den andre mekanismen var å utnytte Natos midler til å arrangere NATO Advanced Study Institutes (ASI) og Advanced Study Workshops (ASW). Gjennom en rekke år har FFI og Universitetet i Oslo arrangert en serie slike "Institutes" og "Workshops". Disse ble gjerne holdt på gode hoteller som lå litt isolert, Skeikampen, Spåtind, Lillehammer osv. Her var deltakerne samlet til vitenskapelige diskusjoner med få ytre forstyrrelser. De



sosiale aspekter ble ivaretatt ved å sette av tid til å gå på ski, og ved å fortsette diskusjoner under måltider og i baren. ASI varte opptil to uker, mens ASW varte bare en uke. Møteformen er svært effektiv og de norske Nato-møtene ble svært populære og trakk til seg høyt kvalifiserte forskere. Nok en viktig kontakt med Nato ble pleiet gjennom deltakelse i AGARDs arbeid (Advisory Group for Aeronautical Research and Development). FFI-forskere var for eksempel medlemmer av Electromagnetic Wave Propagation Panel som bl.a. arrangerte konferanser om emner i kommunikasjon og ionosfærefysikk. Her møttes grunnleggende og anvendt forskning i en fruktbar vekselvirkning. Panelet arrangerte også foredragsserier for militært og sivilt personell der instituttets forskere deltok flittig som foredragsholdere. De publiserte Proceedings (Agardographs) og AGARD Lecture Series ble viktige referansedokumenter både for forskere og brukere av kommunikasjons- og navigasjonssystemer.

Det er også verd å merke seg at FFIs forskere alltid har spilt en viktig rolle i organisering og utbygging av det nasjonale forskningsmiljø, gjennom deltakelse i komiteer i forskningsrådene, verv i faglige foreninger og andre organer. Her kan nevnes NTNFs komiteer for romvirksomhet og romforskning, NAVFs romforskningsutvalg og Norges Forskningsråds programstyre for romforskning, Norsk Fysisk selskap og Norsk Geofysisk Forening. Også deltakelse i internasjonale fora som Committee for Space Research (COSPAR), International Association for Geodesy and Aeronomy (IAGA), International Union of Radio Science (URSI) osv. har gitt muligheter for innflytelse og utbygging av kontaktnett. De store internasjonale kongresser som regelmessig ble organisert av COSPAR, URSI, IAGA og andre ga gode muligheter for presentasjon av vitenskapelige resultater.

## Romalderen

Den 4. oktober 1957 ble Sputnik skutt opp i bane rundt jorden og det er naturlig å definere denne begivenheten som begynnelsen av romalderen. Jan Trøim ved FFI fulgte ivrig med og fanget inn signalene fra sin hybel ved FFI. Senere ble signaler fra satellitter brukt til å studere irregulariteter i ionosfæren. Metoden var basert på bruk

av "spaced receivers". To mottakere ble satt opp i en gitt avstand langs satellittens bane. Siden satellittbanen var kjent, kunne man ved å studere tidsforskyvning i de to signalene estimere høyden til irregularitetene som forårsaket amplitudevariasjonene. Det viste seg at irregularitetene lå i høydeområdet ~120 til ~150 km.

## De første forskningsraketene og etableringen av Andøya Rakettskytefelt

For Norges vedkommende kan vi regne romalderen fra den 18. august 1962 da forskningsraketten Ferdinand 1 ble skutt opp fra det nyetablerte skytefeltet i Oksebåsen ved Andenes. Arbeidet med å etablere et skytefelt i Nord-Norge begynte i 1960, bare tre år etter Sputnik. Norge fikk dermed bokstavelig talt en "flying start" i romalderen, og forskere og ingeniører fikk tidlig lære å utvikle og beherske den teknologi som er nødvendig for å sette vitenskapelige instrumenter på en romplattform. Slik kunnskap gjorde det også mulig for norske forskere på et tidlig stadium å delta i utvikling av satellittinstrumenter sammen med amerikanske og europeiske grupper. Fra norsk side var det FFI som sammen med NTNf tok initiativet til å opprette skytefeltet. Nøkkelpersoner i dette arbeidet var Finn Lied, Svein Rosseland, Leiv Harang, Robert Major, Odd Dahl, Karl Holberg og Bjørn Landmark. Bjørn Landmark og den amerikanske professor Fred Singer dro til Nord-Norge for å finne et egnet sted for et skytefelt. Valget av Andøya var godt begrunnet, både vitenskapelig og praktisk. Andenes ligger midt i sonen der nordlyset opptre hyppigst om natten. På 69°N er Andøya Rakettskytefelt fremdeles det nordligste permanente skytefelt i verden. Skytefeltet ble lagt til Oksebåsen, seks kilometer fra tettstedet Andenes. Det var derfor naturlig å gi de sivile forskningsraketene navn etter den fredelige oxen Ferdinand. I Norskehavet nord for skytefeltet er det et enormt nedslagsfelt for raketene, noe som gir stor fleksibilitet i valg av raketbane. Det er også svært viktig at Andenes har gode kommunikasjoner og et mildt klima, selv midtvinters.

FFI hadde en nøkkelrolle i forberedelsene til den første oppskytingen. Her kom instituttets vitenskapelige og tekniske ekspertise til nytte. Nyttelasten ble instrumentert i et sam-



*Integrering av den første nyttelasten. Odd Dahl til venstre og Arne Ryen under den endelige monteringen av instrumentlasten som skal skytes opp med Ferdinand 1.*

arbeid mellom FFI og Jonosfærelaboratoriet ved Danmarks tekniske Højskole. Fra norsk side var Bjørn Landmark den selvskrevne vitenskapelige leder med Jan Trøim ved sin side som ekspert på de elektroniske systemene. Egil Eriksen var den første skyteleder og den tekniske stab med Arne Ryen, Lars Lorntsen, Odd Kristiansen, Odd Lytomt med flere sto for elektrisk integrasjon av nyttelasten. Den mekaniske konstruksjon av nyttelasten ble utført av Odd Dahl og hans stab ved Chr. Michelsens institutt (CMI) i Bergen. På den tid (1962) var det ingen miljøprøving av nyttelastene. Sluttintegreringen foregikk under kummerlige forhold i en brakke i Oksebåsen på Andøya.

I den første spede begynnelse var man avhengig av teknologisk og finansiell støtte fra USA. NASA lånte bl.a. ut telemetriutstyr til de første oppskytningene. Etter hvert fikk ARS sitt eget utstyr, men det nære samarbeid med NASA og NASAs forskere har vart frem til i dag. Norge sto i mange år utenfor den europeiske romorganisasjonen ESRO, men FFI-forskere var likevel meget aktive deltakere i europeiske rakett- og satellittprosjekter. Først i 1987 fikk Norge formelt medlemskap i European Space Agency og Norsk Romsenter (NRS) ble opprettet som en stiftelse under Nærings- og Handelsde-

partementet (NHD). (NRS er fra 2004 en statlig forvaltningsbedrift under NHD). Andøya Rakettskytefelt er i dag et aksjeselskap som eies av Norsk Romsenter (90%) og Kongsberg Satellite Services (10%). Skytefeltet er knyttet til ESA gjennom EASP (Esrangle Andøya Special Project), en internasjonal avtale mellom ESA-land. Denne avtalen sikrer medlemslandene adgang til tjenestene ved ARS og Esrange nær Kiruna og sikrer skytefeltene en basisbevilgning for sin virksomhet.

## Pionertid i rakettforskningen

Forut for Ferdinand 1-oppskytningen hadde Norge allerede en solid tradisjon i studier av ionosfæren og nordlyset. Bruken av forskningsraketter representerte imidlertid et gjennombrudd i dette forskningsfeltet. For første gang kunne man måle elektrontetthet, energetisk partikkelnedbør og selve nordlyset inne i mediet og få ny og nøyaktig kunnskap om mediets struktur og de fysikalske prosessene. Riktignok varer datainnsamlingen i en rakettflukt bare fra 6 til 15 minutter, men i løpet av denne korte tiden kan et detaljert "snapshot" sendes ned til bakken. De første årene var en pionertid da hver rakettopp-skytning ga nye og ofte uventede resultater. Rakettene med Ferdinand-nummer blir alle bygd i Norge, de aller fleste ved FFI, der det ble etablert en "Integrasjonsjobb". I dag er vi kommet til Ferdinand 120. Odd Dahl og Asbjørn Søreide ved CMI i Bergen sto i mange år for den mekaniske konstruksjon av nyttelastene, mens FFI hadde ansvaret for tekniske funksjoner som telemetri og kraftforsyning, samt for den endelige integrasjon av nyttelastene. Bjørn Landmark var den norske pionertidens ubestridte vitenskapelige leder, mens Jan Trøim ledet utviklingen av de elektroniske systemer. De "norske" rakettene var instrumenterte av FFI og universitetene i Oslo og Bergen. De var imidlertid sjelden helt norske, men representerte et samarbeid med f.eks. danske, amerikanske, tyske, østerrikske og britiske grupper. I jubileumsåret 1972 ble rakett nummer 40 skutt opp fra Oksebåsen. Samtlige nyttelaster var integrert ved FFI og forskere fra FFI hadde den vitenskapelige ledelse for 30 av disse.

I forbindelse med utvikling av elektronikk tok gruppen ved FFI tidlig i bruk PCM (Pulse Code Modulation) for overføring av data. Tidligere hadde man brukt analoge systemer



som FM/FM. Analog dataoverføring har store mangler, og overgangen til digitale systemer hadde stor innflytelse på eksperimentatorenes muligheter. Mange sonder baseres seg for eksempel på pulstelling. Overgangen til den digitale verden representerte et stort fremskritt.

Dataenkodere basert på tett integrasjon ble utviklet av O. Hagen og senere T. Angeltveit. Andre som var med på elektronikkutviklingen var O. Kristiansen, K. Bøhle, K. Killingmo og S. Karsrud. Den første enkoderen var basert på hybridintegrerte kretser.

Enkodere som var programmerbare representerte et langt skritt fremover. På skytefeltet kunne man, på et sent stadium, reprogrammere enkoderens format.

På data dekodersiden ble det opprettet et godt samarbeid med firmaet Eidsvoll Electronics.

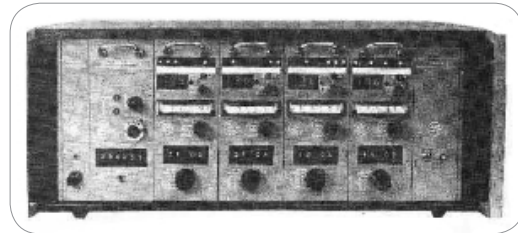
Seksjonene kan velge fire uavhengige kanaler med ordlengder på 8 bit. I tillegg til binært display har hver seksjon fem analoge utganger, slik at signalene kan sendes til skrivere eller oscilloskop. Det binære displayet besto av åtte lysdioder i hver kanal som viste hvert dataord i en oppløsning på 8 bit (1 byte).

I de senere år, med kompliserte formater hvor dataordene kan ha varierende bitlengder, er PCM ordvelgerne erstattet av dekodingsprogrammer på PC.

Integreringsgruppen hadde også stor nytte av ingeniørstudenter som tok forskjellige



Enkoder basert på FPGA (Field Programmable Gate Array). Foto: Terje Angeltveit.



PCM ordvelgere med binær- og analog utgang. Foto: Eidsvoll Electronics.

oppgaver som eksamensøving. Et eksempel var softwareutvikling beregnet på rask databehandling, slik som, for eksempel, dekodeprogrammet: "GPCM" ("Quick PCM").

## Nye teknologiske og vitenskapelige utfordringer

Etter hvert som kunnskapen økte og teknologien ble forbedret, ble også raketinstrumentene mer kompliserte og sofistikerte. I det neste tiår ble det målt detaljerte energispektra av nordlyspartikler, irregulariteter og instabiliteter i plasmaet, elektriske felt, ionsammensetning osv. Spesielt i plasmastudier er det nødvendig å måle mange parametere samtidig for å få et bilde av prosessene. Det ble etter hvert utviklet store, kompliserte og kostbare nyttelaster som var dedikerte til nøye definerte problemer i nordlysfysikk og plasmafysikk. Disse studerte i hovedsak ionosfæren i høydeområdet 60-500 km. Eksempler er seriene POLAR 1-6 og Elektra 1-3 ledet av Bernt Mæhlum. Gode resultater ble oppnådd, men det var ofte vanskelig både å definere og finne de riktige skytebetingelsene. De mest komplekse nyttelastene var mor-datter-eksperimenter der nyttelasten ble splittet i to uavhengige deler under flukten. Mor og datter vil da langsomt fjerne seg fra hverandre og man kan måle romlige forskjeller i mediet. Bernt Mæhlum tok initiativet til å bygge den første norske mor-datter raketten.

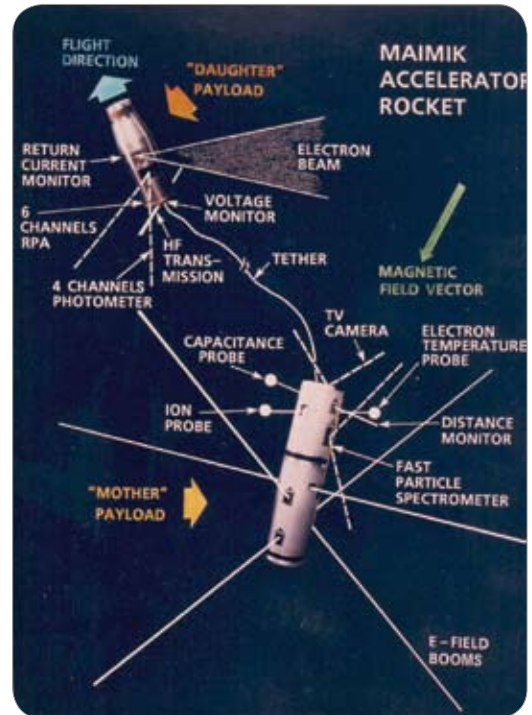
Polar 5 inneholdt en elektronaksellerator med energi 10 keV og pulsstrøm 0.13 A. Datteren inneholdt et antall mottakere som dekket frekvensområdet fra 0,1 kHz til 5 MHz. Ideen var å sammenlikne frekvensspekteret med/uten kunstig stimulert plasma.

Det neste store prosjektet med aktive eksperimenter ble raketten MAIMIK (Ferdinand 62). Raketten som var relativt stor (Black

Brant IX) inneholdt en eksklusiv datter med en elektron akselerator med energi 10 KeV og pulset strøm på 1,0 A. I første del av flukten var mor og datter forbundet med en "tether" – måleledning med den hensikt å måle oppladning av datteren under elektron-pulsene. Senere ble forbindelsen brutt og det eksiterte plasmaet ble observert med mottakere og sonder på moren.

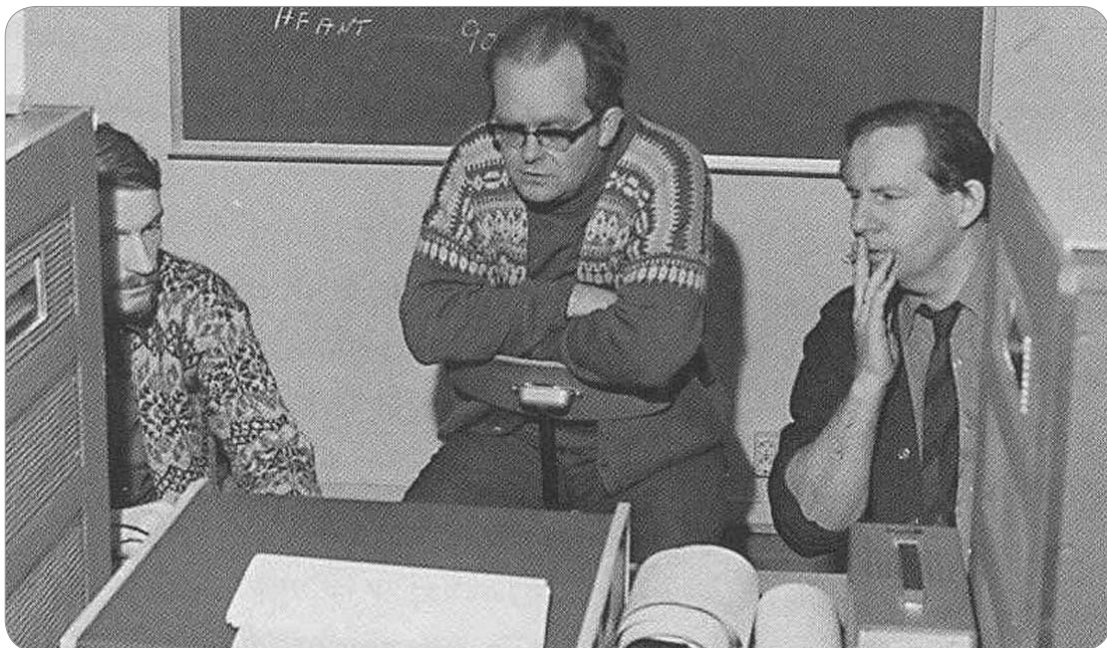
Denne rakettnyttelasten ble skutt opp i 1985. I en viss forstand laget man kunstig nordlys ved å sende en kontrollert stråle av elektroner fra nyttelasten inn i atmosfæren nær raketbanen. Partiklene i denne strålen hadde energier som var typiske for de naturlige nordlyspartiklene. MAIMIK-prosjektet var et eksempel på eksperiment der ny kunnskap ble oppnådd både om selve ionisasjonsprosessene i mediet og om hvordan et romfartøy blir oppladet i plasmaet. Den skulle gi grunnlaget for senere eksperimenter på romfergen.

En av de mest sofistikerte instrumentlastene fra senere tid er RONALD (Rocket for studies of the neutral atmosphere by laser detection). Den nyttelasten, som veide ca. 300 kg, ble utviklet av Universitetet i Bonn og FFI ved hhv. dr. Franz-Josef Lübken og Eivind Thrane. RONALD ble skutt to ganger, i 1995 og 1997. Det norske instrumentet



*MAIMIK-nyttelasten var en av de mest kompliserte som er bygget på FFI.*

TROLL (Transmission and reception of laser light) var det første som anvendte en lidar (light detection and ranging) i en raket for å studere lys spredt tilbake fra molekyler i mesosfæren. TROLL ble utviklet og bygget ved FFI av Torkild Eriksen. Den nye teknologi



*Fra MAIMIK-kampanjen november 1985. Fra venstre Bjørn Narheim, Bernt Mæhlum og Jan Trøim.*



*TROLL-instrumentet.*

i eksperimentet og de gode vitenskapelige resultatene dannet grunnlaget for Eriksens doktorgrad.

### Kommunikasjon i kortbølgebåndet

Selv om satellittsystemer etter hvert domnerte bildet innen global radiokommunikasjon, var kortbølgebåndet fremdeles viktig for forsvaret, både som back-up system og for spesielle formål, som for eksempel samband bak fiendens linjer. FFI fortsatte derfor arbeidet med å videreutvikle teknologi- og frekvensvarslingssystemer som kunne utnytte kortbølgebåndet i den sterkt variable nordlysfæren. På teknologisiden ble det utført forsøk med avansert spredt spektrumssystemer over prøvesamband mellom stasjoner innen nordlyssonen og mellom stasjoner i Sør-Norge og Nord-Norge. Hensikten var å bedre deteksjonsevnen ved høye nivåer av interferens og naturlig støy, samt å undersøke om samband innen nordlyssonen effektivt kunne forbedres ved å bruke reléstasjoner i Sør-Norge. Reidar Skaug, Ingar Koltveit og Trond Hellum utviklet spredt spektrum systemene, mens Vivianne Jodalen og Eivind Thrane fra ionosfæregruppen arbeidet med analyse av målingene og utvikling av frekvensvarslingsprogrammet. Ideen bak et nytt varslingsprogram var å utnytte indekser for

magnetisk aktivitet til å estimere absorpsjon av radiobølgene. Her arbeidet FFI sammen med Institute for Telecommunication Sciences i USA og britiske forskere. Vivianne Jodalen tok i 1996 sin doktorgrad på dette arbeidet.

Samarbeid med og støtte fra Forsvarets fellessamband og sambandsstasjoner var svært viktig i dette arbeidet. I tillegg hadde FFI et verdifullt samarbeid med Storbritannia og Nederland som et ledd i Anglo-Netherlands-Norwegian Collaboration Project (ANNCP). ANNCP representerer en avtale om samarbeid over et vidt felt mellom militære institusjoner, med en rekke arbeidsgrupper som møttes regelmessig. Britene var spesielt interesserte i samband i nordområdene, og FFI støttet en rekke av deres eksperimentelle undersøkelser av kommunikasjon nord for 60 grader. Dette arbeidet tok Jodalen senere med seg til et annet FFI-prosjekt.

### Forskningsfeltet utvides

Kanskje kan man si at pionertiden sluttet med en økende forståelse av at enkeltstående, ad hoc rakettskudd gir et begrenset bilde av virkeligheten. Nordlysfysikk, plasmafysikk og atmosfærefysikk er for komplisert til at en litt tilfeldig serie øyeblikksbilder fra rakettskudd kan gi den nødvendige innsikt. Skulle man komme videre, var det nødvendig å finne effektive kombinasjoner av rakettskudd og observasjoner fra bakken og fra satellitter. Dette kunne gi både bedre diagnoser av skytebetingelsene og en overvåking av tidsutviklingen i mediet. De tilgjengelige tradisjonelle bakkemålingene besto av nordlysfotometre og spektrometre, "all-sky" kameraer, magnetometre og riometere. De siste måler den integrerte absorpsjon av radiobølger nær 30 MHz. I 1970-årene kom i tillegg nye kraftige radarinstallasjoner som EISCAT og PRE, som kunne overvåke tilstanden i ionosfæren. Nordlysforskerne fikk nye muligheter.

Samtidig ble interessen vendt mot vekselvirkningen mellom plasmaet og den ikke-ioniserte del av luften. I de tidlige år ble den nøytrale atmosfære betraktet som en statisk bakgrunn for ionisasjonsprosessene ved elektromagnetisk og partikkelstråling fra solen og verdensrommet. Det ble imidler-



tid stadig klarere at dynamiske prosesser i den ikke-ioniserte luften, som vind, bølger over et vidt frekvensspektrum og turbulens, fører til komplekse variasjoner i tid og rom. Værsystemer, planetare bølger og ledbølger i den lavere atmosfære er energikilder som sterkt påvirker den øvre atmosfære. Videre kan transport av kjemisk aktive gasser, både fra naturlige og antropogene kilder bidra til å forandre tilstanden av den øvre atmosfæren og ionosfæren.

### Turbulensstudier

Turbulens (virvling) i væsker og gasser er blant de viktigste og mest interessante fenomener i naturen, men også et av de vanskeligste å beskrive og forstå. I den øvre atmosfære har det vist seg at turbulent



FFI-instrumenter i Isbjørn. I midten en positiv ionesonde. På sidene "kaldt plasmasonder".  
Foto: Terje Angeltveit.

transport av energi og masse er av avgjørende betydning for den globale energibalanse og luftsirkulasjon. Turbulens er også viktig for transport av støv, aerosoler og kjemisk aktive sporstoff som nitrogenoksider. FFI gjorde en pionerinnsats i arbeidet med å utvikle og bruke raketinstrumenter for måling av fin-skala turbulens i den lavere ionosfære. Den grunnleggende idé var å utlede turbulente tetthetsfluktuasjoner i den nøytrale luften fra målte fluktuasjoner i plasmaet. Fluktuasjoner i ione- eller elektrontetthet er lette å måle med rakettsonder. Et viktig resultat av dette arbeidet var en forståelse av at de partielle refleksjoner i stor grad skyldes spredning fra irregulariteter skapt av turbulens i den ikke-ioniserte luften. Forskningsfeltet viste seg å være meget fruktbart, og ledet til et verdifullt internasjonalt samarbeid. Tom Blix tok i 1988 sin doktorgrad på raketstudier av turbulens, mens Øyvind Andreassen, i samarbeid med Dave Fritts fra University of Colorado, utviklet algoritmer for numerisk simulering av bølger og turbulens. Arbeidet med simulering og visualisering av turbulente prosesser var banebrytende. Andreassen tok sin doktorgrad innen dette feltet i 1994, og leder nå et FFI-prosjekt som viderefører dette arbeidet, også når det gjelder anvendelser for militære formål.

### De store kampanjers tid

Studier av kompliserte prosesser krever ofte kompliserte verktøy. 1980-årene ble de store kampanjers tid ved Andøya Rakettskytefelt. Disse kampanjene var viet spesielle, veldefinerte problemer innen atmosfære- og ionosfærefysikk, og ble nøye planlagt i et vidt internasjonalt samarbeid der norske forskere, spesielt fra FFI, hadde sentrale roller. Noen av kampanjene var deler av større globale observasjonsprogram koordinert av internasjonale organisasjoner, som Middle Atmosphere Program (MAP) og Middle Atmosphere Cooperation (MAC). I hver kampanje ble en serie raketeksperimenter, gjerne fra flere skytefelt samtidig, kombinert med bakkemålinger i en intens observasjonsperiode som kunne vare flere måneder. Det var fem slike store kampanjer: Energy Budget, 1980-81, MAP/WINE 1983-94, MAC/SINE 1987, MAC/Epsilon 1987 og DYANA 1990. Thrane var nestleder for Energy Budget og DYANA og ledet MAC/SINE og MAC/Epsilon. Navnene og akrony-



*Fem raketter klare til nesten simultan oppskyting under MAC/Epsilon-kampanjen 1987.  
Foto: ARS.*

mene sier noe om hensiktene: Energy Budget (energiutveksling), WINE (Winter in Northern Europe), SINE (Summer in Northern Europe), Epsilon henspiller på en parameter for turbulent dissipasjon, DYANA (Dynamics Adapted Network of the Atmosphere). Mer enn 100 forskere fra 50 institusjoner kunne delta i en slik kampanje. Det ble stilt store krav til ARS, både når det gjaldt personell og utstyr. Som eksempel kan nevnes at det i MAC/Epsilon-kampanjen ble gjennomført en salve der fem store instrumenterte raketter ble skutt opp i løpet av 80 sekunder.

Man trengte altså fem oppskytningsramper og måtte ta vare på (med back-up) telemetrisignaler fra fem uavhengige nyttelaster. Antall forskere og ingeniører som deltok var så stort at skytefeltet måtte leie kommuniststyresalen til noen av planlegningsmøtene. DYANA-kampanjen var spesiell fordi den hadde en global utstrekning med rakettoppskytninger fra baser i en rekke land, Norge, Sverige, Russland, Frankrike, Spania, USA, Japan, Kina og India med flere. Kampanjelederen Dirk Offermann fra Tyskland, valgte imidlertid ARS som sitt hovedkvarter gjennom de månedene kampanjen varte. Som nestleder var Thrane ansvarlig for oppskytninger av norsk-tyske nyttelaster fra Biscarosse i Frankrike. Resultatene fra disse

store forskningsprosjektene ble analysert i et nøye koordinert fellesskap og publisert i spesialnumre av anerkjente internasjonale tidsskrifter.

### Magnetosfære-solvindfysikk – satellitter i romforskningen

Satellittene ga helt fra begynnelsen av forskerne helt nye muligheter til å utforske vårt nære verdensrom. Som nevnt ovenfor arbeidet Bernt Mæhlum tidlig i 1960-årene i USA hos James van Allen som oppdaget strålingsbeltene rundt jorden ved hjelp av sine satellittinstrumenter. I Europa forsto man tidlig at for å kunne konkurrere med de to supermaktene, måtte man samarbeide om utforskning og utnyttning av rommet. Av flere grunner ble Norge ikke formelt medlem av European Space Agency (ESA) før i 1987. Dette forhindret imidlertid ikke at norske forskere helt fra starten deltok i samarbeid om satellittinstrumentering både på europeiske og amerikanske satellitter. I 1968 og 1969 ble ESRO 1A og ESRO 1B brakt i bane med instrumenter fra FFI om bord. Eksperimentet var et spektrometer for måling av vinkelfordelingen av energetiske elektroner. Instrumentet var utviklet av Gunnar Skovli, Jan Trøim og Lars Lorntsen.

## Romferge og plasmatank

I 1983 brakte romfergen Columbia Spacelab 1, den første europeiske nyttelast på romfergen, i bane. Her var Bernt Mæhlum, Jan Trøim og Bjørn Narheim ansvarlige for et aktivt eksperiment der en elektronakselektor ioniserte luften nær romfergen.

Eksperimentene ble testet i laboratorieforsøk ved FFI, der en plasmatank ga muligheter for å simulere prosessene i ionosfæren, f.eks. "kjølvannseffektene" i plasmaet bak en romferge. Plasmataanken ble utviklet fra tidligere laboratorieforsøk, der hovedhensikten var å produsere et termisk plasma til kalibrering av "in situ" elektron- og ionesonder på raketter. I tanken ble det også testet forskjellige varianter av elektronkanoner i et lavenergiplasma som ligner det man finner i ionosfæren.

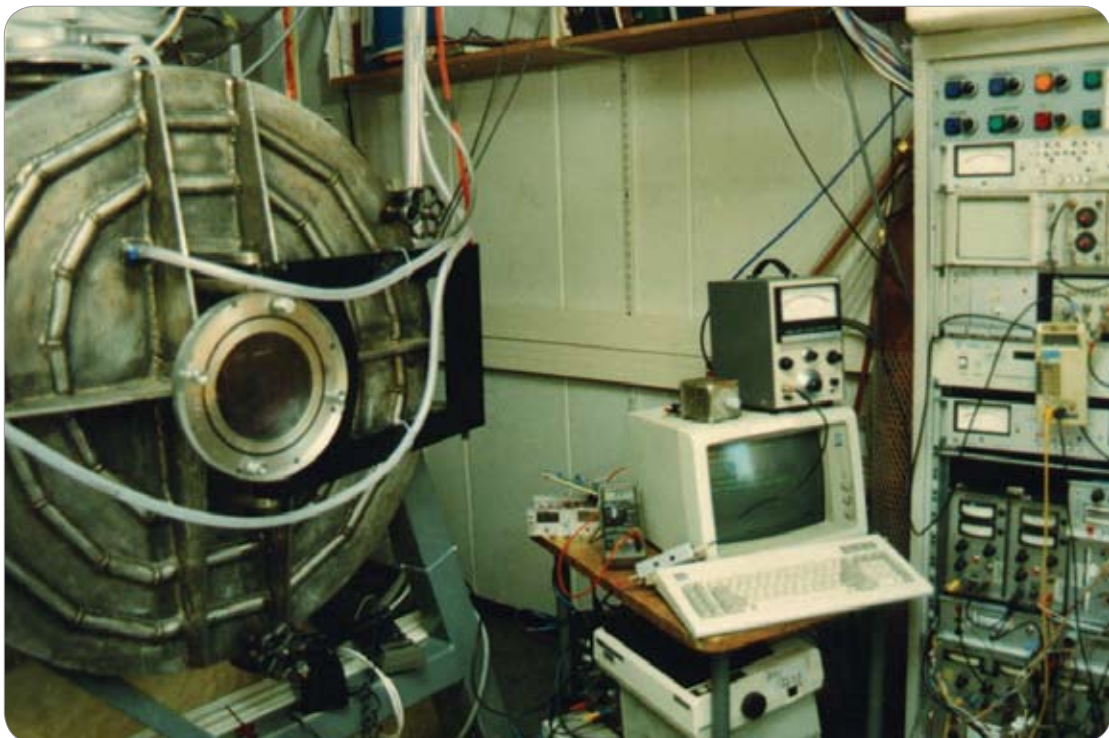
Det ble også utført et stort arbeid for å studere oppladningseffekter av romfartøyer i et simulert ionosfæreplasma. I en kontrakt med ESTEC ble det også konstruert et system av store Helmholtz-spoler slik at magnetfeltet inne i tanken kunne kontrolleres.

Sonden, som er styrt av ett dataprogram, scanner både i transvers og aksial retning.

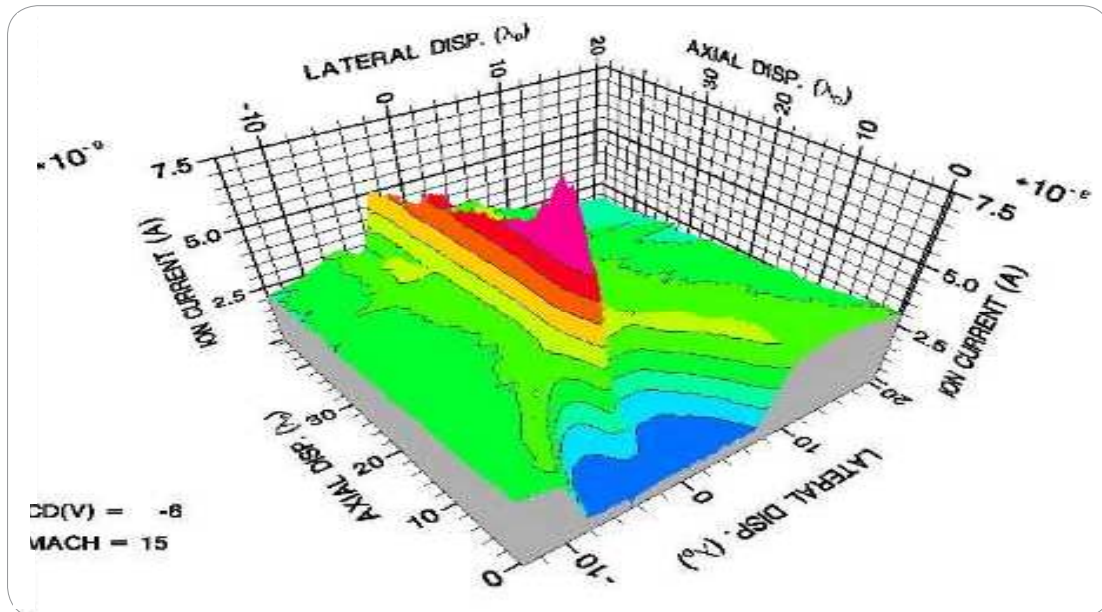


*Spacelab 1 der FFI hadde med passive og aktive instrumentpakker.*

Det ble også foretatt forsøk med oppladning av et legeme med en relativ bevegelse gjennom et plasma. Bevegelsen gjennom



*Plasmataanken ved FFI. Her kan instrumenter bli utprøvd i en simulert atmosfære.*



*Ionestrømmen rundt en satellitt, simulert i et plasmakammer ved FFI. Plottet er bygget opp fra strømmen til en bevegelig sonde inne i plasmataknen.*

plasmaet ble simulert med en kontrollert ionekilde med ioneenergi i samsvar med Mach-tallet til en satellitt. Disse forsøkene ble realisert med økonomisk støtte fra kontrakten med ESTEC, Holland.

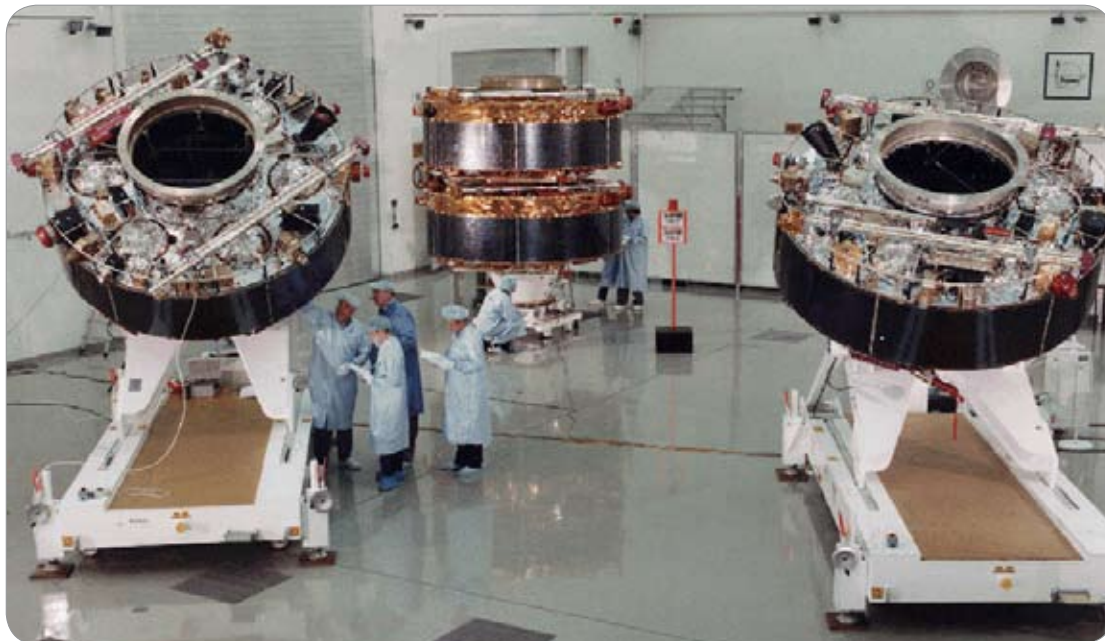
De aktive raketteksperimentene og simuleringene av oppladningseffekter var viktige for å kunne forstå og ha kontroll med det elektriske potensialet av et romfartøy, bl.a. for å sikre at astronauter som arbeider utenfor romfartøyet ikke blir utsatt for elektriske sjokk. Spacelab 1 var et viktig prosjekt for ESA og de europeiske gruppene som deltok. FFI-gruppens rolle var sentral og ga velfortjent prestisje i det internasjonale romforskningsmiljøet.

## De store ESA-prosjektene

Norges medlemskap i ESA fra 1987 ga endelig norske forskere tilgang til planlegging og gjennomføring av ESAs prosjekter, på linje med kolleger i andre medlemsland. Norsk Romsenter (NRS) ble opprettet som en stiftelse for å administrere norsk deltakelse i ESA. Eivind Thrane satt i NRS-styret de første seks årene etter stiftelsen. Norge betaler gjennom NRS og NHD betydelige beløp til det obligatoriske vitenskapsprogrammet som finansierer bygging og oppskytning av ESAs satellitter som plattformer for vitenskapelige instrumenter. Instrumentene finansi-

eres så gjennom nasjonale forskningsråd. ESA hadde utarbeidet en visjon, "Horizon 2000", for utforskning av rommet frem mot år 2000. For FFI-forskerne var de to prosjektene Cluster og Cassini/Huygens av særlig interesse fordi de, både vitenskapelig og teknologisk, passet godt gruppens interesser og kompetanse. Cluster var et ESA-prosjekt som omfattet fire identiske satellitter som skulle fly i formasjon gjennom jordens magnetosfære, mens Cassini/Huygens skulle utforske Saturn-systemet og spesielt Saturns måne Titan. Cassinisonden var bygget av NASA og ESA i samarbeid, mens landingsfartøyet Huygens var bygget av ESA. FFI hadde, som Co-investigator, deltatt i utviklingen av to instrumenter for disse satellittene, et elektronspektrometer (ELS) og en Potential Control Device (PDC). Den siste var et aktivt eksperiment som skulle hindre uønsket oppladning av romfartøyet. Både PDC og ELS er med på alle fire Clustersatellittene, mens ELS også er med i Cassinisonden. Gjennom bilaterale avtaler ble instrumentene i tillegg fløyet på flere andre satellitter, Geotail, Equator S (PDC) og Double Star (PDC og ELS). Bernt Mæhlum døde i 1992, mens hans arbeid lå til grunn for disse eksperimentene og ble videreført av Bjørn Narheim og Knut Svenes.

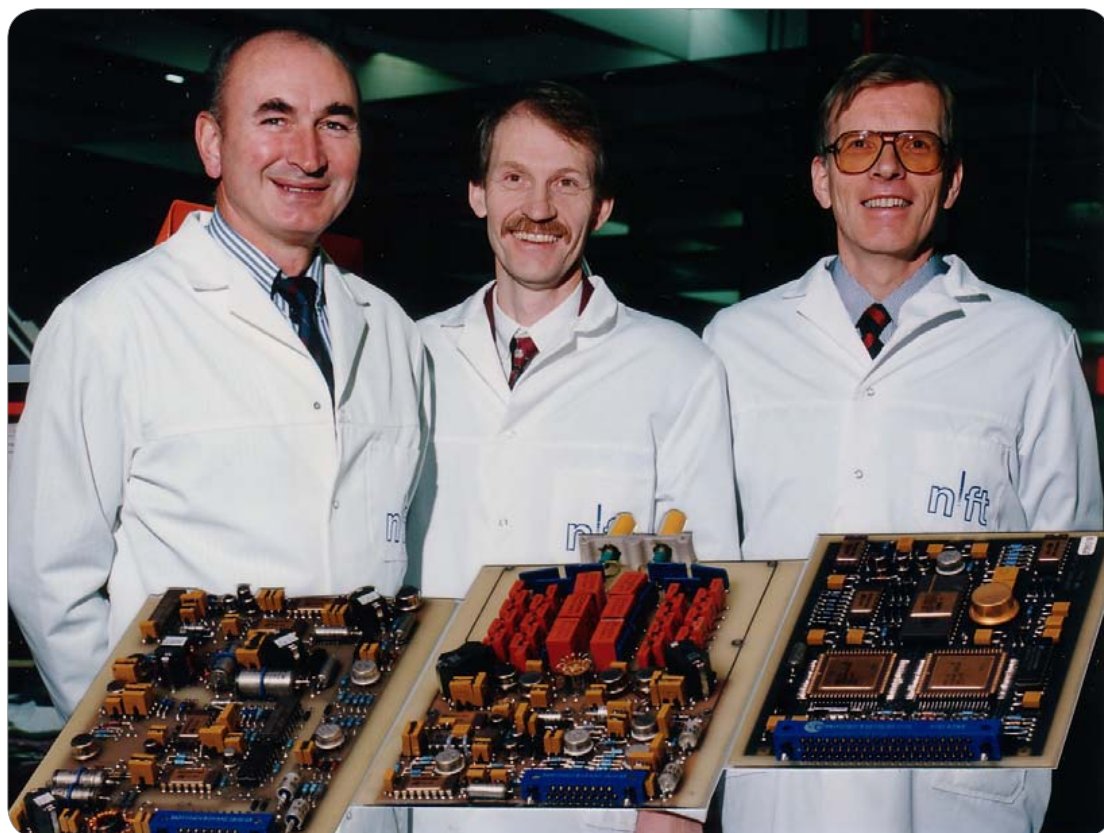
Clusterinstrumentene ble bygget i samarbeid med Kongsberg Aerospace. Det var også vik-



*De fire clustersatellittene etter klargjøring i Dornier's renrom utenfor München før montering i bærerakettene. Instrumentene ses montert på toppen av de to fremste satellittene.*

tig med studier i FFIs plasmatank av vekselvirkningen mellom et romfartøy og plasmaet.

Spørsmålet er i hvilken grad en plasmasonde influerer på det mediet som skal studeres.



*Satellittinstrumentering bygget i samarbeid med Kongsberg Aerospace. Fra venstre: Kjell Skjårten, Bjørn Narheim og Jon Kvistedal.*



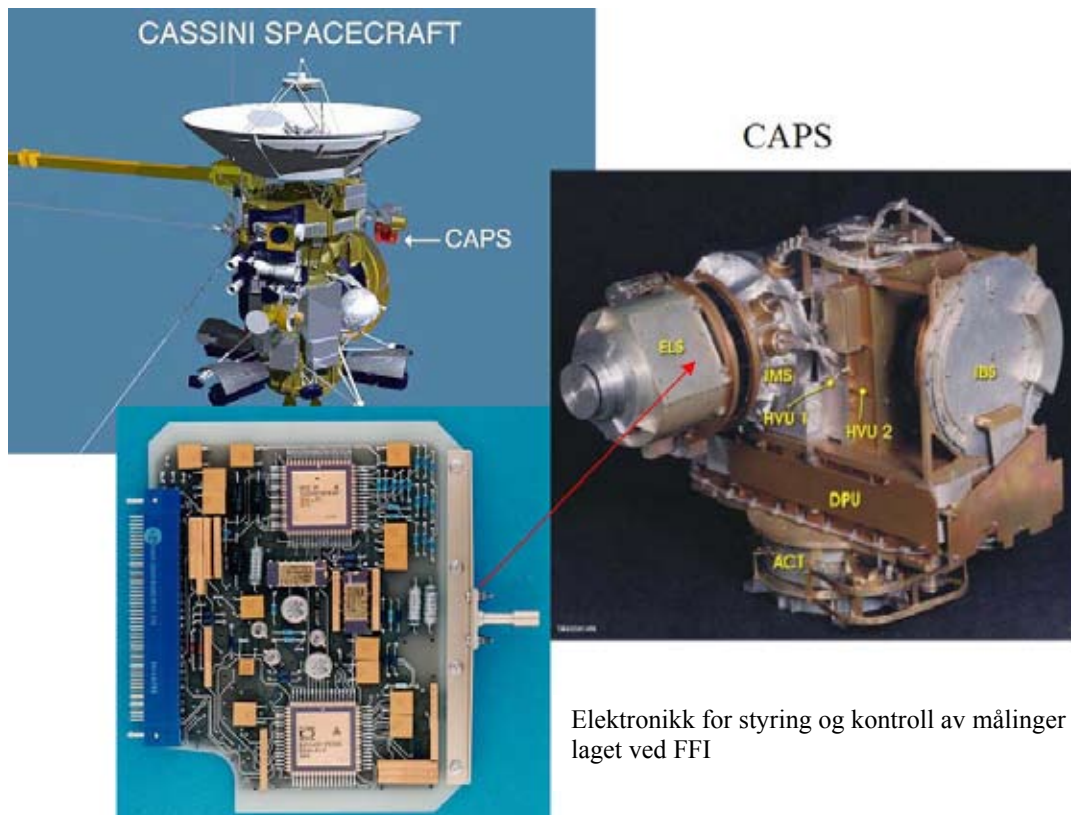
Den 4. juni 1996 var Clustersatellittene klare til oppskytning med den nye europeiske rakettkonfigurasjonen Ariane V.

I Store fysiske auditorium på Blindern hadde Norsk Romsenter arrangert en direkte overføring av oppskytningen fra den franske basen i Kourou Syd-Amerika. En spent forsamling forskere fikk et sjokk da bæreraketten eksploderte like etter launch og en unik last med verdifulle instrumenter ble spredt over jungelen. Uhellet representerte et dramatisk tap for ESA og for alle gruppene som hadde satset på prosjektet. Det ble imidlertid snart bestemt at Cluster skulle fullføres og alle fire satellittene skulle bygges på nytt. I 2000 kom satellittene i bane to og to ved oppskytninger med russiske raketter. Fra 2001 og frem til i dag (april 2005) har Clustersatellittene fungert etter planen og produsert store mengder verdifulle data om magnetosfæren. FFIs forskere har gitt og gir betydelige bidrag til dataanalysen.

## Ut i det interplanetare rom

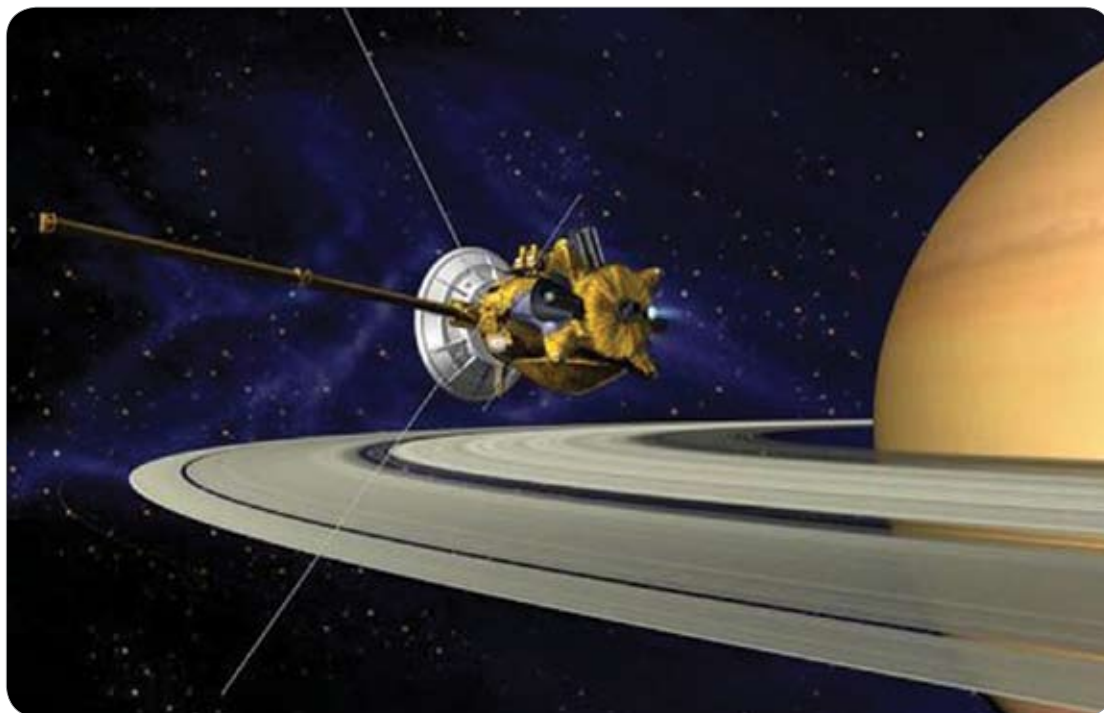
Cassini/Huygens sonden ble skutt opp 15. oktober 1997 og nådde sent i 2004 frem til Saturnsystemet etter å ha passert nær Venus, jorden og Jupiter for å kunne øke hastigheten mot målet. Alle instrumenter har fungert perfekt og ferden gjennom solsystemet har gitt spennende resultater. Jordpassasjen var interessant fordi sonden passerte gjennom magnetosfæren med stor hastighet (20 km/s) og ga et unikt "snapshot" av forholdene. I dag (2005) sirkler Cassini rundt Saturn og studerer strukturen av den komplekse magnetosfæren rundt planeten og dens mange måner. Huygens-sonden har fullført en spektakulær landing på Titan. Selv om FFI-gruppen ikke hadde instrumenter med på Huygens, var de med i planleggingen av sonden og de instrumentene om bord som skulle studere bølger og turbulens i Titans atmosfære. Turen gjennom solsystemet med Cassini/Huygens er et eventyr som vel ingen kunne forestille seg skulle bli virkelighet den gang ionosfæreforskningen startet på FFI.

### Label



Elektronikk for styring og kontroll av målinger laget ved FFI

*Cassiniinstrumenter: CAPS (Cassini Plasma Spectrometer). Kretskortet for styrings- og kontroll-elektronikk for elektrospetrometeret (ELS), som er en del av CAPS, er designet av FFI.*



*Cassinisonden i Saturns magnetosfære.*

## Undervisning ved FFI

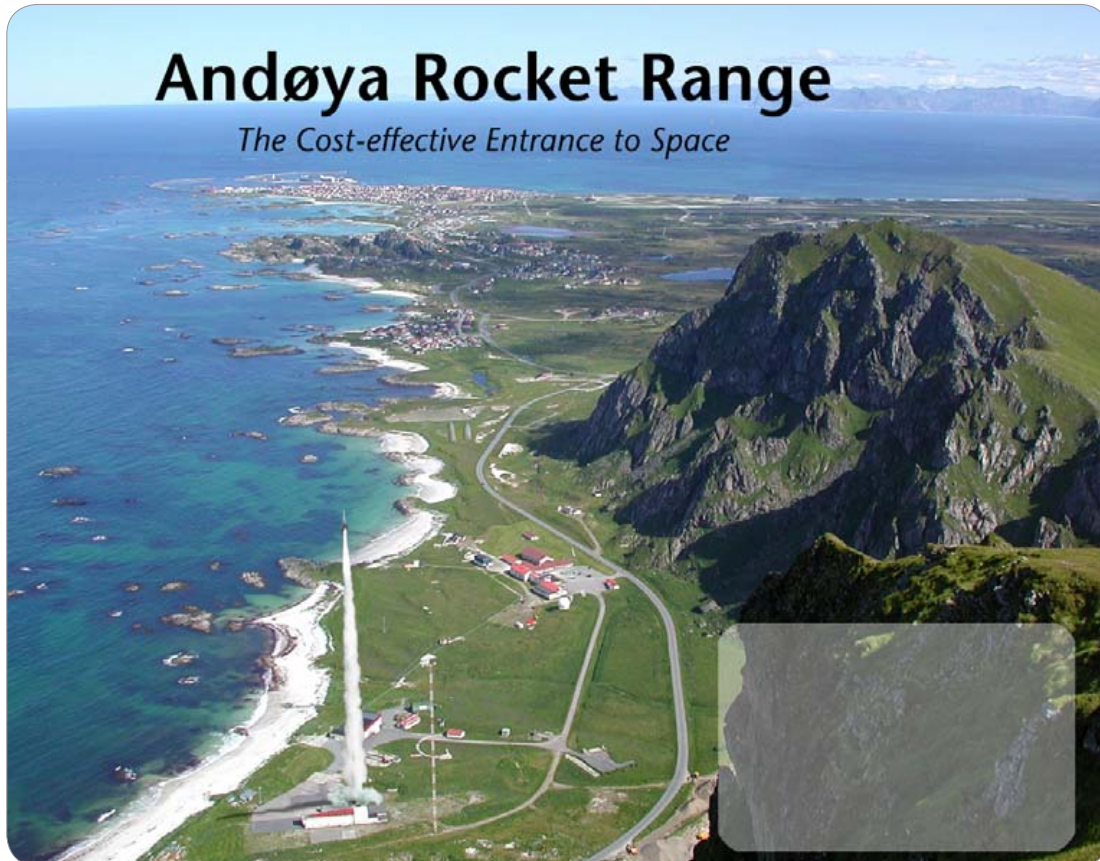
Utdanning og veiledning av personell har alltid vært en viktig oppgave ved FFI. Også i ionosfæregruppen har undervisning av hovedfags- og doktorgradsstudenter vært av stor betydning. Studenter fra universiteter og tekniske høyskoler har arbeidet i gruppen og gjennomført oppgaver på mange nivåer, som har bidratt betydelig til prosjektene. Her har også vernepliktige soldater vært en viktig ressurs. Resultatet har blitt en lang rekke hovedfags-, diplom- og doktorgradsarbeider. Forskere og ingeniører i gruppen har også deltatt aktivt i undervisning utenfor FFI, f.eks. ved Universitetet i Oslo og UNIK (Universitetsstudiene på Kjeller). Flere har hatt professor II-stillinger ved universitetene.

## En ny epoke – Nye begrensninger og nye muligheter

Det er ingen tvil om at slutten av den kalde krigen også markerte et skille i historien om FFIs romforskning. Polarområdene var ikke lenger så strategisk viktige. Forskningsmidlene ble redusert, spesielt på amerikansk side, og det ble færre store kostbare rakettprosjekter. I tillegg ble satellittbårne instrumenter stadig mer kosteffektive, spesielt for globale studier av ionosfæren og

magnetosfæren. På tross av dette, er det viktige nisjer i rom- og atmosfæreforskningen der forskningsraketter har spesielle fortrinn. I høydeområdet mellom 50 og 200 km er raketter den eneste plattform som kan bringe instrumenter inn i mediet. Videre kan raketter måle vertikalprofiler av fysiske parametere, og på grunn av en relativt lav hastighet, spesielt nær toppen av banen, kan raketinstrumenter gi vesentlig bedre oppløsning i rom og tid enn satellitter. Som nevnt tidligere ble også kombinasjonen av raket- og bakkeinstrumentering viktigere enn før. FFI-gruppen utvidet i denne tiden sitt nære samarbeid med ARS, så vel som med de andre norske romforskningsgruppene, som et ledd i arbeidet med å effektivisere utnyttelsen av de nasjonale ressurser innen feltet.

I 1990-årene ble de fleste rakettprosjektene konsentrert om studier av den midlere atmosfære og lavere ionosfære, der relativt rimelige motorkonfigurasjoner kan bringe nyttelaster opp til ca. 130 km. For ytterligere å senke kostnadene, utviklet ARS i samarbeid med den tyske MORABA (Mobile Raketenbase), FFI og Prototech et system for berging av nyttelaster fra havet. Nyttelasten inneholder en fallskjerm og en flytebag med radiosender og lysmarkering. Nyttelasten, med



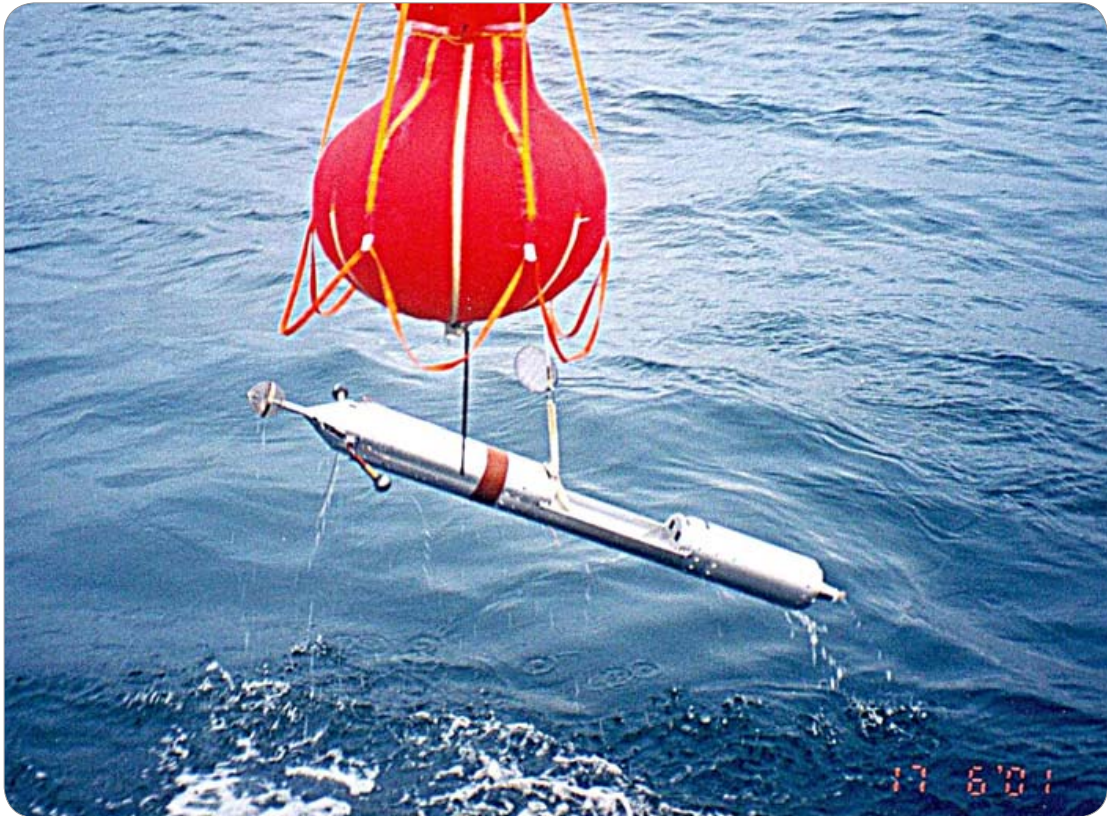
Andøya Raketttskytefelt. Foto: ARS.

unntak av de instrumenter som må eksponeres under flukten, er forseglet og kan tåle sjøvann. Fallskjermen utløses på nedtur i ca. 3 km høyde og flytebagen ved nedslag. Ved forventet nedslagspunkt venter en båt for å ta nyttelasten tilbake til skytefeltet der den kan gjøres klar til neste skudd. Rekordene er ny oppskytning av samme nyttelast etter 24 timer, og enkelte nyttelaster har vært skutt opptil seks ganger. Berging fra sjøen er nå rutine ved ARS, og gir betydelige besparelser for forskerne.

Moderne teknologi gjør det mulig å miniaturisere både elektroniske kretser og vitenskapelige instrumenter. Ove Havnes ved Universitetet i Tromsø tok sammen med FFI et initiativ til å utvikle små nyttelaster som kunne skytes opp med små, billige "meteorologiske" rakettssystemer. Teknologisk sett var dette et utfordrende prosjekt fordi nyttelasten må tåle en akselerasjon på 150 G og meget høye temperaturer. Nyttelastene veier bare 8 kg, har en diameter på ca 5 cm og kan bygges svært rimelig. En rekke slike systemer er skutt opp til ca 90 km's høyde

og har oppnådd gode vitenskapelige resultater. Ingen andre grupper har hittil klart dette. Dessverre er det i øyeblikket vanskelig å få kjøpt rimelige rakettmotorer til disse systemene, men kan dette problemet løses, er potensialet stort for videre utvikling.

I arbeidet med å gi forskerne de best mulige arbeidsvilkår og en kosteffektiv adgang til romplattformer, har ARS nylig lansert et nytt konsept, en såkalt "hotellnyttelast". Dette er en enkel, liten og standardisert nyttelast der forskerne kan "leie et rom med utsikt" til sine instrumenter. Nyttelasten med innebygd telemetri, kraftforsyning og andre viktige funksjoner tilbys til en fast pris som også inkluderer rakettmotor, oppskytning og 10 dagers operasjon ved skytefeltet. Nyttelasten kan nå 120 km ut i rommet med en ett-trinnsrakett og opptil 300 km med en totrinns konfigurasjon. Berging vil kunne inkluderes. FFI-gruppen har vært, og er aktivt med i denne utviklingen, bl.a. ved å overføre teknologisk kompetanse til ARS.



Berging av nyttelast. Foto: ARS.



MIDAS og Mini-Dusty nyttelaster.  
Foto: Terje Angeltveit.

Som nevnt tidligere, ble kombinasjon av rakettoppskytninger med bakkebaserte målinger stadig viktigere. I 1992 startet arbeidet med å finansiere og opprette det internasjonale Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research (ALOMAR). Initiativet til observatoriet ble tatt av Ulf von Zahn fra Bonn Universitet, Kolbjørn Adolfsen fra ARS og Eivind Thrane fra FFI. Lidar (Light Detection and Ranging) er i prinsipp en radar som benytter lyspulser istedenfor radiopulser. Lyset spres tilbake fra luftmolekyler og atomer i den midlere atmosfære (10-100 km) og gir informasjon om tetthet, temperatur, vindskyer og luftsammensetning. Etter intens lobbyvirksomhet fra initiativtakerne ble det mulig å finansiere observatoriebygningen og en ozonlidar fra norske kilder. Utenlandske forskningsinstitusjoner fra en rekke land investerte i avanserte lidar- og radarsystemer og allerede i 1994 ble de første lidarmålingene utført fra det nye observatoriet. Observatoriebygningen eies og drives av ARS og med den avanserte instrumenteringen ved ALOMAR kan skytefeltet, i samarbeid med instrumenteierne, tilby forskerne enestående observasjonsmulighe-



*MIDAS rakettoppskyting fra Andøya. Foto: Terje Angeltveit.*

ter. Ozonlidaren er et av de viktigste norske instrumentene ved ALOMAR. Den eies og drives av FFI, NILU og ARS. Forsvarsdepartementet ga betydelig støtte til utviklingen av dette instrumentet. EISCAT-radarene er også viktige i den forskning som drives ved ARS og har vært flittig benyttet av FFIs forskere, bl.a. i forbindelse med mange rakettkampanjer.

ALOMAR ble hurtig etablert som et internasjonalt observatorium for atmosfære- og klimaforskning. Det ga også nye enestående muligheter for rakettforskerne, som nå kunne støtte seg på omfattende observasjoner fra ALOMAR i kombinasjon med EISCAT. Derved kunne skytebetingelsene defineres og overvåkes med mye bedre presisjon. Videre kunne bakkeinstrumentene observere atmo-



*ALOMAR. Den grønne linjen er laserstrålen. Foto: ARS.*



Lysende nattskyer. Foto: Dag Thrane.

sfæren og ionosfæren langs raketbanen slik at rakett- og bakkeinstrumenter kunne måle fenomener simultant og på samme sted i rommet. To interessante og beslektede fenomener kom i FFI-forskernes søkelys fra midten av 1990-tallet: Lysende nattskyer (Noctilucent Clouds, NLC) og Polar Mesospheric Summer Echoes (PMSE).

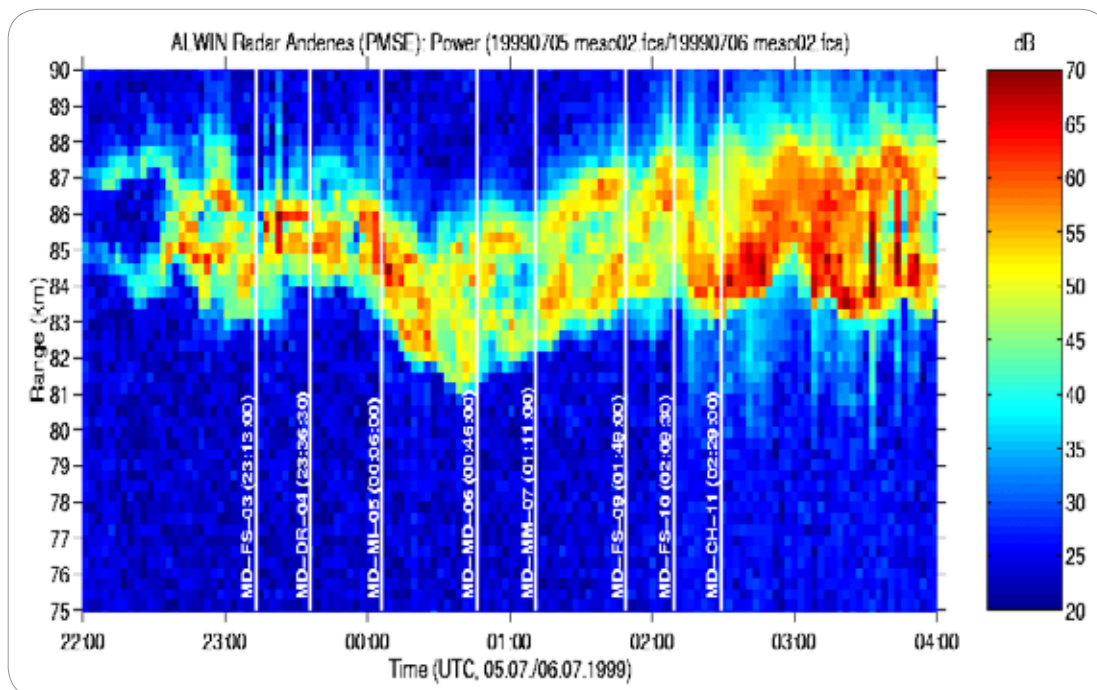
NLC er skyer som opptrer om sommeren ved høye bredder i ca. 82 km høyde. Hos oss kan de ses mot nord fra Sør- og Midt-Norge, mot en mørk himmel.

En lidar kan imidlertid observere NLC over Nord-Norge, selv om sommerhimmelen er lys. PMSE er meget sterke radarekko som observeres i VHF- og UHF-båndene i høydeområdet 82-90 km. PMSE ble først observert på 1980-tallet fra Alaska, og senere ved hjelp av VHF-radarer fra Andenes. Ulf-Peter Hoppe ved FFI målte de første PMSE observert med EISCATs store VHF-radar. FFI, sammen med Institute for Atmospheric Physics (IAP) i Kühlungsborn tok initiativet til MIDAS (Middle atmosphere Investigation of Dynamics And Structure), en serie rakettkampanjer for å studere disse fenomenene in situ samtidig med målinger fra ALOMARs radar- og lidarinstrumenter. Tom Blix hadde en ledende rolle i dette prosjektet. Universitetet i Tromsø ved Ove Havnes deltok også med miniraketter. Resultatene førte til et

gjennombrudd i forståelsen av sammenhengen mellom NLC og PMSE, samt deres betydning for struktur og sammensetning av sommermesosfæren.

Norges og ARS geografiske fortrinn innen romforskning ble ytterligere styrket da skytefeltet i 1997 etablerte SvalRak i Ny-Ålesund, et felt som ikke er permanent bemannet, men kan aktiveres etter behov. Kombinasjonen av de to skytefeltene gir en helt enestående mulighet fordi Ny-Ålesund ligger midt i sonen der dagnordlyset er hyppigst og kan observeres midtvinters fordi det er mørkt i ionosfæren selv midt på dagen. SvalRak ligger også midt under polarkløften i magnetosfæren der jordens atmosfære er direkte utsatt for solvinden. Svalbard har også et mildt klima og gode kommunikasjoner som gjør det enkelt å benytte med rimelige omkostninger. Hittil er det skutt fem forskningsraketter fra Ny-Ålesund. Igjen var FFI først ute. I november 1997 ble raketten Isbjørn 1 skutt opp for å studere det polare D-lag. Nyttelasten var bygget på FFI og Eivind Thrane ledet prosjektet. Skytefeltet i Ny-Ålesund er verdens nordligste på nesten 80°N og er det eneste der man kan skyte opp i polarkløften eller inn i polkalotten.

Igjen er det viktig å peke på verdien av kombinasjonen av raketmålinger med andre observasjoner. EISCAT har nå to store radarantennene ved Longyearbyen, den ene bygget



*Rakettsalve skutt gjennom PMSE.*

av Japan, og det finnes avanserte optiske instrumenter for observasjon av nordlys.

ARS og SvalRak gir til sammen mange muligheter for valg av raketbaner, med havområder fra norskekysten til nordpolen



*Instituttets romfysikkgruppe. Fra venstre: Stig Karsrud, Øystein Lie-Svendsen, Ulf-Peter Hoppe, Tom A. Blix, Vidar Killingmo, Marit Sagen, Knut Svenes og Terje Angeltveit.*



*Isbjørn i laget. Fra venstre foran: Knut Svenes, Eivind Thrane, Terje Angeltveit. Bak: Karsten Holen, Isbjørn, Roald Ravnanger (Prototech), Bård Kyrkjedelen og Vidar Killingmo.*

som nedslagsområde. ARS kan skyte rakettkonfigurasjoner på opptil 20 tonn. Store, firetrinnsystemer skutt fra ARS kan bringe nyttelaster inn i polarkløften over Svalbard. To slike systemer har blitt skutt opp med høyeste banepunkt (apogeum) på over 1400 km og nedslag 1600 km nord for Andenes. Den første av disse, SCIFER, var et NASA-prosjekt med norsk deltakelse. Oppskytingen i januar 1995 skapte internasjonal oppsikt fordi den aktiverte det russiske militære varslingsystem. Det sies at Jeltsin åpnet sin lille sorte koffert. Oppskytingen var behørig varslet fra norsk side, men meldingen nådde aldri helt frem til de operative enheter i det russiske forsvær.

### **Ikke bare forskningsraketter ved ARS**

ARS har også utvidet sin virksomhet i andre retninger, i samarbeid med FFI og de andre

norske forskningsgruppene. Her er undervisningssektoren spesielt viktig og skytefeltet har nå en egen avdeling NAROM (Nasjonalt senter for romrelatert opplæring). NAROM støttes over en post i statsbudsjettet og arbeider som en feltstasjon for universiteter og høyskoler. NAROM har ingen eksamensrett, men har formelle avtaler med en rekke undervisningsinstitusjoner. Ved ARS tilbys undervisning i romteknologi og forskning der skytefeltets ekspertise og utstyr kan benyttes. NAROM står bak et WEB-basert læreverv i romteknologi. WEB-sidene kan studeres gratis, og adressen er: [www.romteknologi.no](http://www.romteknologi.no). Her har Jan Trøim fra FFI gitt betydelige bidrag. Ulf-Peter Hoppe fra FFI er professor II ved Universitetet i Tromsø og bidrar aktivt til undervisning og veiledning av hovedfag og doktorgradsstudenter.

Besøkende forskere og ingeniører kan også ta del i undervisningen. Studentene kan





få muligheter til å bygge og være med på oppskytning av rakettnyttelaster, og det arrangeres internasjonale "Space Camps" med intensive kurs i korte perioder. Man arbeider også med et konsept der studentene kan være med på planlegging og instrumentering av små satellitter. ARS kan gi studentene et interessant og stimulerende arbeidsmiljø. En hotellfløy med enkle, men komfortable rom gjør det mulig for studentene både å bo og arbeide på skytefeltet.

ARS har også to andre datterselskaper, Nordic Sea Test Range og Nordlyssentret. Det første er et militært skytefelt som brukes av det norske forsvar og utenlandske kunder til uttesting av våpensystemer. Nordlyssentret ligger i selve Andenes og består av utstillinger relatert til nordlys og skytefeltets virkefelt.

Andøya Rakettskytefelt er i dag en vital og moderne høyteknologibedrift som er viktig for norsk og internasjonal romforskning og for lokalsamfunnet på Andenes. Nøkkelen til suksess er å yte kundene, dvs. forskerne, unike forskningsmuligheter og god service, samt å sørge for en optimal utnyttelse av personalets ekspertise og erfaring. Det siste oppnås ved å utnytte "brannstasjonsprinsippet": Når det ikke brenner (dvs. når man ikke er opptatt med å skyte raketter), utfører personalet andre oppgaver. Ved å spre sin virksomhet over flere områder har ARS oppnådd stabilitet både når det gjelder finansiering og bemanning. Mye er forandret i de førti årene som har gått siden Ferdinand 1, men innsatsviljen og troen på fremtiden er der fremdeles.

## Sluttord

Ionosfæreforskningen ved FFI har vært en liten, men viktig del av instituttets virksomhet gjennom hele FFIs historie. FFIs primære formål er å dekke Forsvarets behov innen teknologi og anvendt forskning, og ca. 10-15% av virksomheten har tradisjonelt vært grunnlagsstudier. Ionosfæreforskningen har representert en betydelig del av grunnlagsstudiene. Disse studiene har vært utført innen felt med potensiell interesse for Forsvaret, men forskerne har hatt frihet til å arbeide ut fra en rent vitenskapelig målsetting. De har derfor kunnet konkurrere nasjonalt og internasjonalt med forskere ved universiteter og andre forskningsinstitusjoner. Det har, naturlig nok, alltid vært en intern debatt

i instituttet, både om grunnforskningens verdi for FFI og om hvilke felt som skulle prioriteres. FFIs ledelse har støttet ionosfæreforskningen gjennom instituttets grunnbevilgninger, mens forskningsrådene, NTNF, NAVF og nå Norges forskningsråd, har gitt helt vesentlige bidrag til forskningsprosjektene. Her har FFI søkt om støtte, i konkurranse og på linje med andre norske forskningsgrupper. Suksess i denne søknadsprosessen vil være en kvalitetsgaranti for FFIs ionosfæreforskere og for instituttets ledelse. I de senere år har Forskningsrådet gjennomført flere evalueringer av norsk romforskning ved komiteer som har bestått av internasjonalt anerkjente forskere. Her har ionosfæreforskerne ved FFI fått meget god bedømmelse for kvalitet på høyt internasjonalt nivå. En viktig grunn til denne suksessen har vært og er en god balanse mellom vitenskapelig og teknologisk kompetanse og et godt samarbeid mellom forskere og ingeniører. Her har ionosfæreforskningen nytt godt av FFIs generelt gode teknologiske infrastruktur.

Hvordan har ionosfæreforskningen bidratt til FFIs virksomhet som et forskningsinstitutt for Forsvaret? Innen visse felt har aktiviteten synliggjort instituttet utad, ved en lang rekke vitenskapelige og teknologiske publikasjoner i internasjonale og nasjonale fora og ved aktiv deltakelse i internasjonalt samarbeid f.eks. innen Nato. Videre har arbeidet bidratt til utdanning og trening av forskere og ingeniører som har kunnet bidra til andre prosjekter ved FFI. En rekke forskere har siden fått viktige posisjoner i norsk næringsliv. Kompetanse innen radiokommunikasjon, satellitt-teknologi og numerisk simulering av turbulens har blitt videreført til, eller gitt opphav til andre prosjekter ved FFI ved overføring av nøkkelpersonell.

Ionosfæreforskningen har hatt gode vilkår på FFI, og gruppen spiller en viktig rolle i norsk og internasjonal forskning innen dette feltet. I Norge har FFI et spesielt nært samarbeid med universitetene i Oslo, Bergen og Tromsø og med Andøya Rakettskytefelt. Dessverre har Forskningsrådet i de senere år ikke bevilget tilstrekkelige midler til romforskningen, slik at norske forskere har kunne dra full nytte av ESA-medlemskapet. Forsvarets omstrukturering har også ført til øket press på FFIs grunnbevilgninger. Man må håpe at situasjonen blir bedre i nær fremtid.



### Forkortelser

ESA	European Space Agency
ESRO	European Space Research Organisation
FFI	Forsvarets forskningsinstitutt
NTNF	Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd
PRE	Partielle Refleksjoners Eksperiment
Riometer	Relative Ionospheric Opacity meter

### Doktorgrader i ionosfærefysikk ved FFI

Bjørn Landmark

Tor Hagfors                      Investigation of the scattering of radio waves at metric wavelengths in the lower ionosphere. Geofysiske Publikasjoner Vol 21 No 2, 1959

Bernt N. Mæhlum                The sporadic E auroral zone. Geofysiske Publikasjoner Vol 23 No 1, 1962

Olav Holt

Eivind V. Thrane                Experimental investigations of the ionospheric D-region. NDRE Report No 54, 1967

Kristen Folkestad              Ionospheric studies by in-situ measurements in sounding rockets, 1970

Arve Johannessen              Investigation of the positive ion composition in the upper mesosphere and lower thermosphere during daytime. NDRE Report 64, 1974

Tor Wedde                        High latitude observations of electrons above 40 keV energy by the ESRO 1A and 1B satellites. NDRE Report No 66, 1974

Tom A. Blix                        In-situ studies of turbulence in the middle atmosphere by means of electrostatic ion probes. NDRE Publ 88/1002, 1988

H. K. Myrabø                    Dynamics of the polar mesopause and lower thermosphere region observed in the nightglow emissions, 1988

Vivianne Jodalen                A study of observed and predicted HF-propagation characteristics at high latitudes. NDRE Publ 1996.

Øyvind Andreassen              Simulation of gravity waves by spectral collocation methods. NDRE Publ 94/00379, 1994

Torkild Eriksen                 A rocket-borne Rayleigh lidar experiment for in-situ measurements of neutral number density in the middle atmosphere. FFI/PUBL-1999/04151

## 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  
Kamouflasje
7. Ildledning og navigasjon
8. Luftvern og sårbarhet av flystasjoner  
Olje, gass og norsk sikkerhet
9. Bildebehandling og mønstergjenkjenning
10. Noen spesielle teknologiområder
11. Elektrooptikk
12. Nærhetsbrannrør for 81 mm bombekastergranat
13. HUGIN – Utvikling av autonome undervannsfarkoster ved FFI
14. Bioenergi  
Teltovn M 94 – flytende brensel  
Hermes og Jeeves
15. Batteriteknologi
16. Kommunikasjon
17. Fellesverkstedets utvikling 1953-2003
18. Nevrobiologi  
Strålingsbiologi

