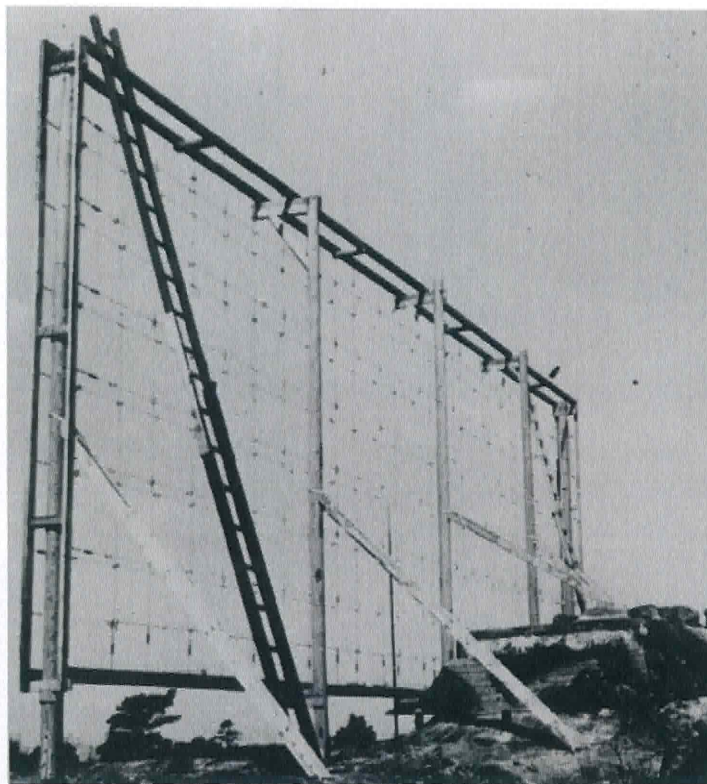
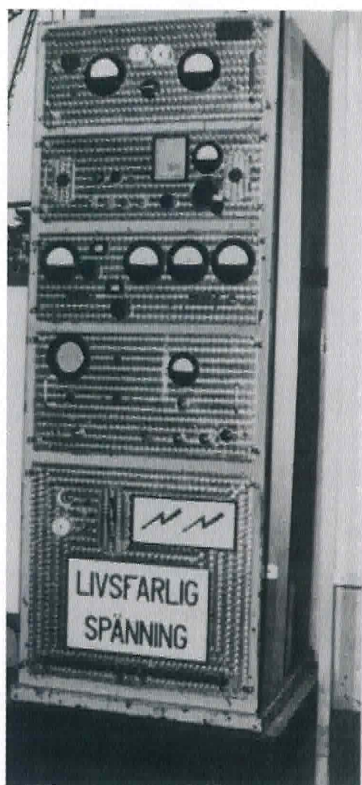


2010-11-11

Svensk ekoradioutveckling under krigsåren 1939 - 1945

Sven Hasselrot

FO3/10



Försvarets Forskningsanstalt
Huvudavdelningen för Sensorteknik
Box 1165, 581 11 LINKÖPING, tel 013 - 318000

FOA-R—95-00118-3.3—SE
Maj 1995
ISSN 1104-9154

Innehåll

1	Inledning	2
1.1	Bakgrund, utländsk radarforskning före och under kriget.....	2
2	Läget i Sverige vid krigets början.....	3
3	Ekoradioforskning inom Statens Uppfinnarnämnd	4
3.1	Utveckling enligt interferensmetoden för flottan och kustartilleriet	5
3.2	Utveckling enligt pulsmetoden för fjärrspaning mot luft- och sjömål	11
3.3	Ekoradioförsök för luftvärnet	13
4	Ekoradioutvecklingen inom SAAB och Bofors	14
5	Anskaffning under kriget av utländsk ekoradioutrustning	17
5.1	ER IIB Würzburg för luftvärnet	17
5.2	ER IIIB för Flygvapnets luftspaning	18
6	Information i krigets slutskede om modern utländsk radarteknik	20
7	Sammanfattning av ekoradioläget strax efter krigsslutet 1945.....	20

1 Inledning

1.1 Bakgrund, utländsk radarforskning före och under kriget

Principen för radar, eller ekoradio som denna teknik till att börja med kallades hos oss, var internationellt känd sedan länge. Benämningen "radar" är ett sammandrag av "Radio Detection And Ranging". Den började användas inom amerikanska flottan omkring 1941 och blev så småningom vedertagen hos de allierade, dock under stort motstånd från engelsmännen som från början använde benämningen "Radiolocation" på samma teknik. I Tyskland användes benämningen "Messfunkgerät". I Sverige kallades utrustningen allra först "radioekoapparat" (RE), vilket snart ändrades till "ekoradio" (ER). Den benämningen användes till år 1947 då även vi gick över till "radar".

Att radiovågor reflekterades enligt samma lagar som ljus hade visats bl a genom Hertz försök redan 1886. Den våglängd på 66 cm som han använde ligger för övrigt inom det område som först fått sin praktiska användning genom radar.

En tysk uppfinnare, Christian Hülsmeier, fick 30 april 1904 patent på en anordning som baserades på elektromagnetiska vågors reflektion mot avlägsna metalliska föremål. I patentet beskrivs utrustningen detaljerat. Sändaren utgjordes av en gnistsändare placerad i en konformig trätt som gav riktverkan. Mottagaren bestod av en kohär (variabel resistans styrd av signalen) och ekon indikerades som en hör- eller synbar signal. Den tekniska nivån var emellertid vid den tiden ännu inte mogen för att omsätta uppfinningen till en praktiskt användbar utrustning och det hela föll i glömska.

Först på 1930-talet började man experimentera med ekoradioteknik på olika håll i världen, troligen helt utan kännedom om Hülsmeyers patent.

Militärt fanns ett stort behov av spanings- och målinmätningssätt med större räckvidd, mörkerberoende och noggrannhet än de optiska eller akustiska system som normalt var tillgängliga. Under mellankrigstiden satsade därför bl a England, Tyskland, Frankrike och USA stora resurser på att utveckla radarprincipen, ofta under stor sekretess.

Först att lyckas torde engelsmännen varit. Den grupp som leddes av fysikern Robert Watson Watt kunde i februari 1935 experimentellt demonstrera "radar" som kunde upptäcka och lägesbestämma flygplan på upp till 12 km avstånd. Detta experiment räknas i dag som den moderna radarns födelse. Utvecklingen tog därefter ordentlig fart.

Räckvidden mot flygplan hade redan mot slutet av 1935 ökat till 65 km och var vid krigsutbrottet 1939 ca 270 km. Då hade man hunnit bygga upp en operativ radarkedja för luftbevakning runt England, den berömda "Chain Home" som fick en mycket betydelsefull roll i "slaget om England". Även i Tyskland och USA fick man fram operativt fungerande radarstationer före krigsutbrottet.

Efter krigsutbrottet intensifierades radarutvecklingen i de krigförande länderna, vilket ledde till att radar började användas i en mängd tillämpningar som luftspaning, ytspaning, höjdmätning, eldledning, navigering, identifiering, zonerör m m. Detta användes på alla typer av plattformar, t ex fasta markanläggningar, fordon, fartyg, flygplan m m.

Allt kortare våglängder kunde användas, framför allt när engelsmännen uppfunnit hålrumsmagnetronen. Våglängder på 10 och 3 cm blev vanliga och slutligen kom man ända ner till 12 mm. Därigenom kunde mätprecisionen ökas radikalt, allt mindre mål, t ex utbåtsperiskop upptäckas och radarutrustningen blev mindre och lättare så att den kunde bäras av allt mindre plattformar.

Under kriget utvecklades även motmedel mot radar. Först varnare och signalspaning, senare kom störsändare av olika slag samt remsor och reflektorer. Vid invasionen på D-dagen sattes en stor mängd maskerande och vilseledande motåtgärder in mot den tyska radarbevakningen.

2 Läget i Sverige vid krigets början

De krigförande ländernas radarutveckling var vi i stort sett utestängda ifrån. Vi kände dock till radarprincipen och att den gav en realistisk möjlighet att bättre än dittills upptäcka och lokalisera flygplans- och fartygsmål.

Bl a hade vi via Telegrafstyrelsen fått tillgång till en fransk artikel, publicerad i "Bulletin de la Société Française des Electriciens" nr 100, april 1939. Artikeln beskriver en "Anordning för upptäckande av icke synliga navigationshinder", som föredragits i det franska radiotekniska sällskapet den 10 januari 1939. Den beskrivna apparaten utgjordes av en pulsmodulerad ekoradio på 16 cm våglängd. Den var uppställd i Saint-Adresse mitt emot Le Havre och sägs ha kunnat upptäcka "alla fartyg mellan Le Havre och Rouen". Pulseffekten uppges till 10 W och antennerna bestod av paraboliska speglar med 1 meters diameter. Avståndet till målet (gångtiden) indikerades med en katodstråleoscillograf, på vars tidssvep ekopulserna markerades. I artikeln diskuterar man även de teoretiska förutsättningarna, vågutbredningen och lämpligaste våglängd. Redogörelsen är förvånansvärt aktuell för att vara skriven 1939.

Pionjären inom svensk ekoradioforskning var civilingenjör Torsten Elmquist vid Svenska AB Trådlös Telegrafi, SATT, ett dotterföretag till tyska AEG/Telefunken. Han började vid sidan av sitt ordinarie arbete på SATT att experimentera med ekoradio 1939. Han var också reservare i Marinen (maringenjör) och blev som alla andra vid den tiden inkallad till militärtjänstgöring. Det blev därför naturligt med marina tillämpningar av ekoradioexperimenten.

I februari 1941 fick han marinförvaltningen att ställa upp med ett anslag på 30 000 kr för att experimentera med en "ekoradiospär" som skulle upptäcka om ett fartyg passerade ett visst sund eller liknande zon. Första försöken gjordes mellan Beckholmen och Stadsgården. De lär ej ha varit särskilt framgångsrika. Försöken fortsatte med mätning mot mål som drogs på en kälke på Stora Värtans is. Man fick då svaga ekon. Det visade sig att målekona blev olika om målet stod still eller rörde sig. Denna första ekoradio var pulsmodulerad och arbetade på 60 cm våglängd. Pulseffekten var troligen mycket blygsam. Som indikator användes en katodstråleoscillograf från AEG.

Förutom Torsten Elmquists ekoradioexperiment hade även andra, t ex L M Ericsson och AB Svenska Elektronrör, SER, börjat med blygsamma experiment på detta område.

3 Ekoradioforskning inom Statens Uppfinnarnämnd

I början av kriget inrättades ”Statens Uppfinnarnämnd”, förkortat SUN, med uppgiften att ta tillvara, nyttiggöra och ekonomiskt stödja tekniska uppfinningar som bedömdes vara av betydelse för folkförsörjning och försvarsberedskap.

Till SUN inkom en mängd ansökningar om bidrag till utveckling och realisering av olika idéer från förhoppningsfulla uppfinnare. Om de bedömdes som värdefulla för bl a försvarets och dessutom realiserbara inom relativt kort tid beviljades anslag. SUN följde sedan upp de utvalda verksamheterna för att kontrollera att realiseringsprogrammen följdes.

En tidig bidragssökande var Helge Rost som ville utveckla diverse ekoradioliknande uppfinningar som skulle arbeta på cm-vågor. Han fick bidrag till detta men det ledde inte till några praktiskt användbara apparater inom den stipulerade tiden. Problemet var att det inte fanns några användbara sändarrör för det avsedda frekvensområdet tillgängliga. För att råda bot på detta samarbetade Helge Rost med röntgenrörsfirman Georg Schönander som förmåddes att försöka utveckla klystronrör för mycket korta våglängder. För detta beviljade SUN bidrag. Detta hände 1941 och det tog lång tid innan användbara klystroner kom fram. Att klystroner kunde tillverkas inom landet fick dock senare stor betydelse för ekoradio-utvecklingen mot slutet av krigsåren, vilket vi återkommer till.

Även SER fick i samverkan med KTH, professor Löfgren, statsbidrag genom Tyg-departementet (arméförvaltningen) för att utveckla rör lämpade för ekoradiotillämpning på cm/dm-området.

Inom försvarsstaben hade man klart för sig det stora operativa värdet av ekoradio och man ville därför stödja och påskynda framtagningen av sådan utrustning. Inget av de olika ekoradioexperimenten verkade kunna snabbt leda till någon praktiskt användbar apparatur. Försvarsstabens luftförsvarsavdelning föreslog därför i december 1941 att ekoradio-verksamheten i landet skulle samordnas och intensifieras i Uppfinnarnämndens regi.

Målsättningen var att mycket snabbt få fram en operativt användbar ekoradio. Beslut om detta fattades av försvarsministern och i januari 1942 bildas inom SUN en särskild ekoradiogrupp under ledning av SUN:s ordförande, myntdirektör Alf Grabe. För det första halvåret anslogs 50 000 kronor.

För att snabbt nå resultat instruerades gruppen att inrikta verksamheten mot dm-vågsområdet, där erforderliga komponenter bedömdes vara tillgängliga, medan verksamheten inom cm-vågsområdet skulle begränsas till utexperimenterande av lämpliga sändarrör med inte alltför låg uteffekt.

För den tekniska ledningen utsågs Torsten Elmquist som utan kostnad för statsverket ställdes till förfogande under ett halvt år av SATT. Övriga medarbetare i gruppen var i utgångsläget:

Hugo Larsson	Telegrafverket
Ove Norell	Marinförvaltningen
Nils Knutsson	Marinförvaltningen
Olle Berg	SATT
Bertil Kjellsson	SATT

Senare tillkom i gruppen Martin Fehrm från Flygförvaltningen samt Kurt Engström, Tord Wikland, John Hamilton och Erik Pettersson. Från förvaltningarna medverkade Roland Ajerger, Sture Nyvell, Eric Söderbäck m fl. Genom samarbete med industrin ställdes så småningom ytterligare personal till förfogande.

Lokaler erhöles på Kungliga Myntverket och kungliga Tekniska Högskolan. För antennmätningar och andra fältförsök fanns ett område inne på Bromma flygfält som fick utnyttjas. Där fanns även ett tält till förfogande, vilket senare skulle ersättas av en barack. Gruppens första uppgift blev att bestämma vilken av de två då kända metoderna för avståndsmätning med ekoradio som man i första hand skulle välja. Bägge metoderna mäter målavståndet genom att mäta den tid det tar för radiovågen att gå fram till målet och tillbaka till mottagaren.

Vid den ena metoden, som kallades interferensmetoden eller FM-metoden, varierar sändarens frekvens enligt en sågtandsformad kurva. Som mått på radiovågens gångtid mäter man hur mycket sändarens frekvens hunnit ändra från den frekvens det återkommande ekot har. Denna frekvensskillnad kan mätas upp som interferensen mellan ekosignalen och sändarsignalen med en frekvensmeter som sedan kalibreras i meter, hektometer eller kilometer.

Vid den andra metoden som då kallades impulsmetoden utsändes radiovågen endast i mycket korta men effektstarka impulser som upprepas i lämplig takt. Tiden mellan utsänd puls och till mottagaren återkommande eko mätes direkt med ett katodstråleoscilloskop. Ekopulsen får därvid avlänka katodstrålen vinkelrätt mot ett tidssvep som startar synkront med sändarpulsarna. Ekopulsarna indikeras därvid som en "tagg" på tidssvepet som kalibreras i längdmått, t ex km.

Bägge metoderna har sina för- och nackdelar. Man hade på den tiden fullt klart för sig att för militärt operativt bruk hade pulsmetoderna klara fördelar genom bättre förutsättningar för lång räckvidd, förmåga att särskilja flera samtidigt mål m m.

Problemet var emellertid att tillgången på de för pulsmetoden nödvändiga elektronrören var ytterst begränsad. Det gällde dels sändarrör med tillräckligt hög pulseffekt vid kort våglängd, dels katodstrålerör. Import innebar stora osäkerheter och tillverkning inom landet skulle med säkerhet ta relativt lång tid.

3.1 Utveckling enligt interferensmetoden för flottan och kustartilleriet

De komponenter som behövdes för en ekoradio enligt interferensmetoden bedömdes direkt tillgängliga. Eftersom ett snabbt realiserande av operativt användbar ekoradio var en klart uttalad prioritet bestämde man sig för att börja med interferensmetoden.

Till detta bidrog kanske också att man kände sig mer förtrogen med den däri ingående modulationstekniken samt att man hade fått tillgång till en av flygvapnet inköpt "altimeter", tillverkad av Western i USA. Den var i princip en liten ekoradio enligt interferensmetoden som arbetade på 65 cm våglängd. Den var avsedd att placeras i flygplan för att visa flyghöjden genom att mäta avståndet till den underliggande marken.

Trots att man till att börja med koncentrerade alla resurserna mot interferensmetoden hade man som målsättning att på något längre sikt också satsa på pulsmetoden.

Den experimentella verksamheten kom snabbt igång i januari 1942. Man undersökte och provade altimetern först på KTH och sedan på Bromma. Man fick in reflexer från byggnader och hangarer på avstånd upp till 800 m.

Parallellt härmed konstruerade och byggde man den första prototypen i lokalerna på myntverket. Man valde samma våglängd som altimetern dvs 65 cm. Som sändarrör användes ett Telefunkenrör typ LS 30 som gav 10-12 W uteffekt. Svängningskretsen var utformad som ett parallellledningssystem (Lechersystem). Frekvensmodulationen erhöles genom en cylindrisk vridkondensator, driven av en synkronmotor.

Ett blockschema över ekoradioutrustningen visas i figur 1. Detta visar den slutliga utformningen. Prototypen var troligen enklare.

I mottagarnas ingångskrets användes ett Telefunkenrör LG 1 (diod). För mätning av frekvensskillnaden mellan ekot och sändaren användes ett "räknerör" som i princip räknar antalet nollgeomgångar hos interferenssignalens frekvens. Resultatet, dvs målavståndet, visas på ett vridspoleinstrument som sedan kalibrerades i hektometer (hm). För att underlätta målupptäckt användes en hörlur som återgav interferenstonen när man fick in ett eko.

Viktig del är antennen. Man fick använda skilda antenner för sändaren och mottagaren. På Bromma byggdes och provades några alternativ.

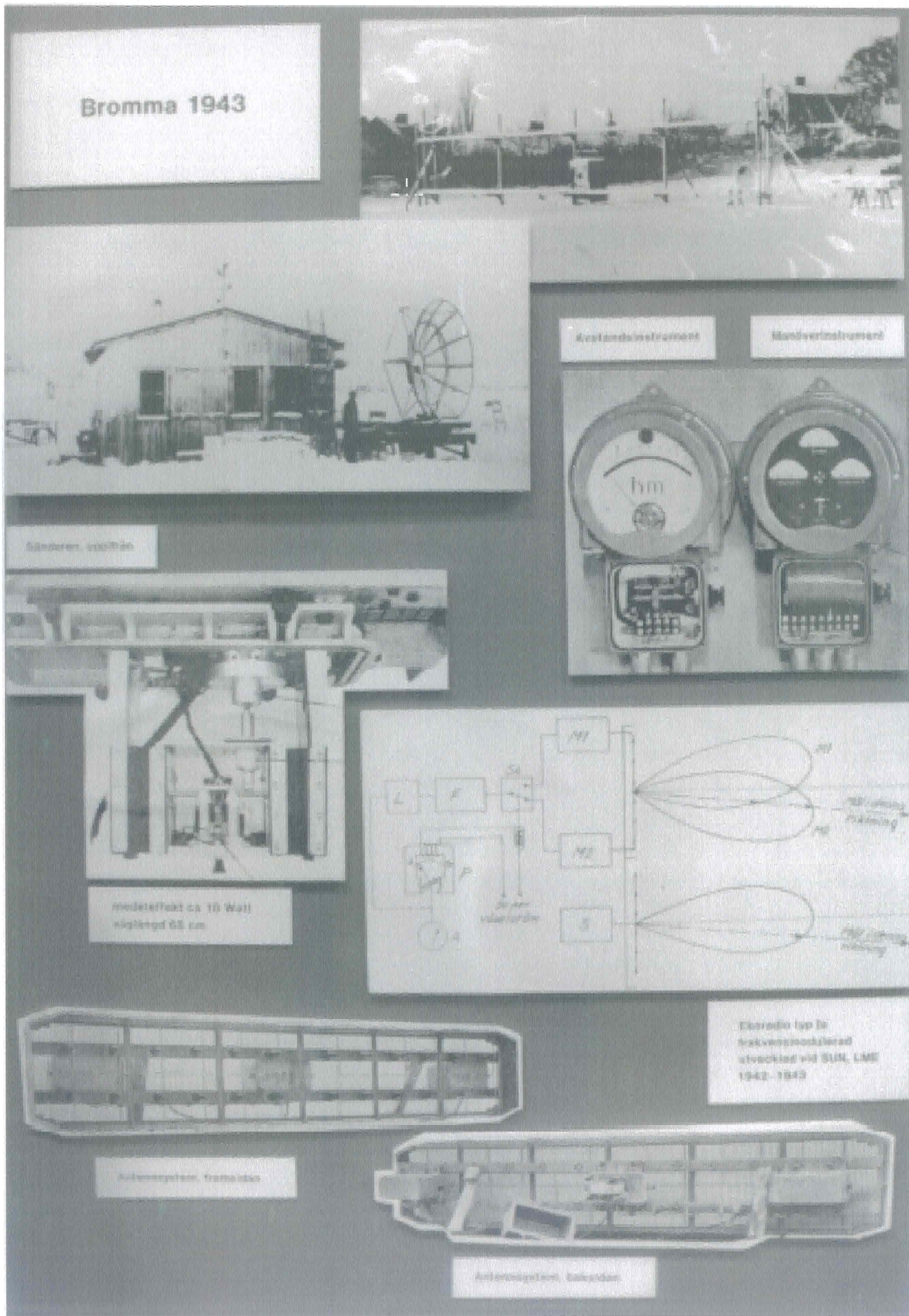
1. Mattantenn uppbyggd av ett antal dipoler placerade i rad med ett inbördes avstånd av en halv våglängd. Flera sådana rader kunde placeras över varandra.
2. Cylindrisk parabol matad med en dipolrad.
3. Yagi-antenn

Man valde mattantennen bl a för att man då enkelt kunde få ett lobjämförelsesystem hos mottagarantennen som ökade riktningsnoggrannheten. Genom att mata mottagaren från ena sidan av antennen, vars dipoler placerats med en liten förskjutning i förhållande till jämn halv vågsindelning, blir mottagarlobens riktning något vriden från antennnormalens riktning. (Se figur 1.)

Med ytterligare en mottagare matad från den andra sidan av antennen får man en andra mottagarlob vars riktning ligger på andra sidan om antennnormalen. När målekosignalen är lika i de två mottagarna får man en noggrannare riktning till målet än om man pejar på lobmaximum eftersom målriktningen ligger på den något brantare lobkanten. För sändarantennen användes jämn halv vågsindelning utan förskjutning mellan dipolerna så att sändarlobens riktning blir lika med antennnormalen.

Vid pejling av målriktningen växlar man mycket snabbt mellan de bägge mottagarnas utsignaler. Efter likriktning kan man på ett instrument som även kopplas till växlingen visa hur mycket till höger eller till vänster om antennnormalen målet för tillfället ligger.

Med ett annat instrument kan man även visa ekots amplitud.



Figur 1. Blockschema FM-ekoradio.

För att inte starka ekon från närbelägna föremål skall störa mätningen filtrerar man bort interferensfrekvenser från närbelägna ekon i ett närekofilter. (Se figur 1.)

Denna prototyp provades på Bromma med lovande resultat redan i mars-april 1942. Man fick in ekon från de byggnader som man hade fri sikt till och även från Spångamasterna.

Emellertid ville man prova den mot ”riktiga” militära mål. Flygplan var naturligtvis viktiga sådana mål och därför beordrade försvarsministern, som var mycket intresserad av ekoradioprojektet, flygvapnet att ställa upp med ett bomplan typ B3 som målflygplan. Den 16 april 1942 flög därför ett sådant på olika höjder upp till 1 200 m över Bromma.

Eftersom man dittills inte fått in några flygplansekon var man mycket spänd på resultatet. Glädjen och stämningen var därför mycket uppsluppen när ekon kom in på alla flyghöjder. Man fick också erfara hur ekostyrkan varierade med flygplanets aspektvinkel mot ekoradion. Då flygplanet vände bredsida till fick man naturligt nog de starkaste ekona.

Eftersom man framförallt hade tänkt sig marina tillämpningar av detta första ekoradioprojekt ville man även prova mot fartygsmål. Marinen ställde upp med minsveparen ”Bredskär” och till den flyttades prototypen ombord den 17 maj 1942. Mätningarna förlades till området kring Landsort och Mälsten i Stockholms södra skärgård. Landsorts fyr visades sig ge mycket bra och stabila ekon och i fortsättningen använde man sig av detta som ”referenseko”.

Snart upptäcktes att antennens höjd över vattenytan hade stor inverkan på räckvidden. Genom att flytta antennen från den ursprungliga placeringen på däck till bryggans högsta punkt 9,6 meter över vattenytan, ökades räckvidden två till tre gånger. Räckvidden mot fyren var upp till 5 km. Mot jagare av ”stadsklass” fick man säker avståndsmätning på 2 200 m och pejlbart utslag på ca 2 700 m. Motsvarande värden vid mätning mot pansarskepp av ”Sverige” – klass blev 3 700 m och 4 500 m.

Senare på hösten fick ekoradiogruppen tillgång till ett större provningsfartyg, en inkallad Sveabåt som hette ”Norden”. Den användes normalt för utbildning av operatörer till optiska avståndsinstrument. Här kunde man få upp antennen högre och får bättre plats för provutrustningen. Nu kunde också utrustningen demonstreras för höga beslutsfattare bl a chefen för marinen, amiral Fabian Tamm. Han blev mycket imponerad, kanske därför att man hade ”turen” att vid hans besök råka ut för ett oväder med obefintlig optisk sikt, man kunde inte se ett skvatt medan ekoradion var helt opåverkad.

Den 5 juni 1942 träffade man samarbetsavtal med L M Ericsson, Bofors och SAAB om medverkan i forskningen och tillverkning av stationerna. Redan tidigare hade SUN avtal med Standard Radio om utveckling av katodstrålerör.

SAAB ställde personal till förfogande. Först Sten Bergmar och Folke Kimblad och något halvår senare Nils-Henrik Lundquist som varit inkallad till militärtjänst.

I september 1942 meddelade SATT att Torsten Elmquist inte längre kunde ställas till SUN:s förfogande mer än på begränsad deltid. Från den 16 september övertog därför Hugo Larsson den tekniska ledningen av FM-gruppens ekoradioutveckling.

För de fortsatta försöken och demonstrationerna behövs flera ekoradiostationer och man beslöt att tillverka en mindre provserie. Dessa skulle fördelas på pansarskepp, jagare och för placering på land. För att finansiera detta lade Marinförvaltningen ut en beställning till SUN, som skulle leda tillverkningen. L M Ericsson engagerades i denna serietillverkning framförallt med utrustning för frekvensmoduleringen och mottagaren med frekvensmetern/

avståndsindikatorn. Inom L M Ericsson leddes detta arbete av Thorsten Lange. Sändaren tillverkades av SUN:s ekoradiogrupp i myntverkets verkstad. Bofors medverkade vid antenntillverkningen.

Innan provserien var färdig fick man för ytterligare prov montera en experimentutrustning på pansarskeppet "Drottning Viktoria" i samband med en varvsgenomgång vid årsskiftet 1942/43.

Ekoradion med antenn placerades på den vridbara stridsmärsen ca 30 meter över vattenytan. Med denna utrustning fortsatte utvärderingen och uppmätta räckvidderna mot olika fartygsmål ökade till ca 8 km. Noggrannheten vid avståndsmätningen var $\pm 50 - 200$ m. Pejlnoggrannheten uppgick till ca $\pm \frac{1}{2}$ grad. Man provade även med framgång artilleriskjutning i mörker på måldata från ekoradion.

En stor demonstration den 26 januari 1943 i närvaro av försvarsministern, ÖB och alla försvarsgrenscheferna lär ha gått till hävderna, framförallt på grund av ett fruktansvärt oväder med minst halv storm och snödrev som gjorde den optiska sikten obefintlig. Detta förstärkte kontrasten mellan de konventionella optiska mätutrusningarna och den väderoberoende ekoradion.

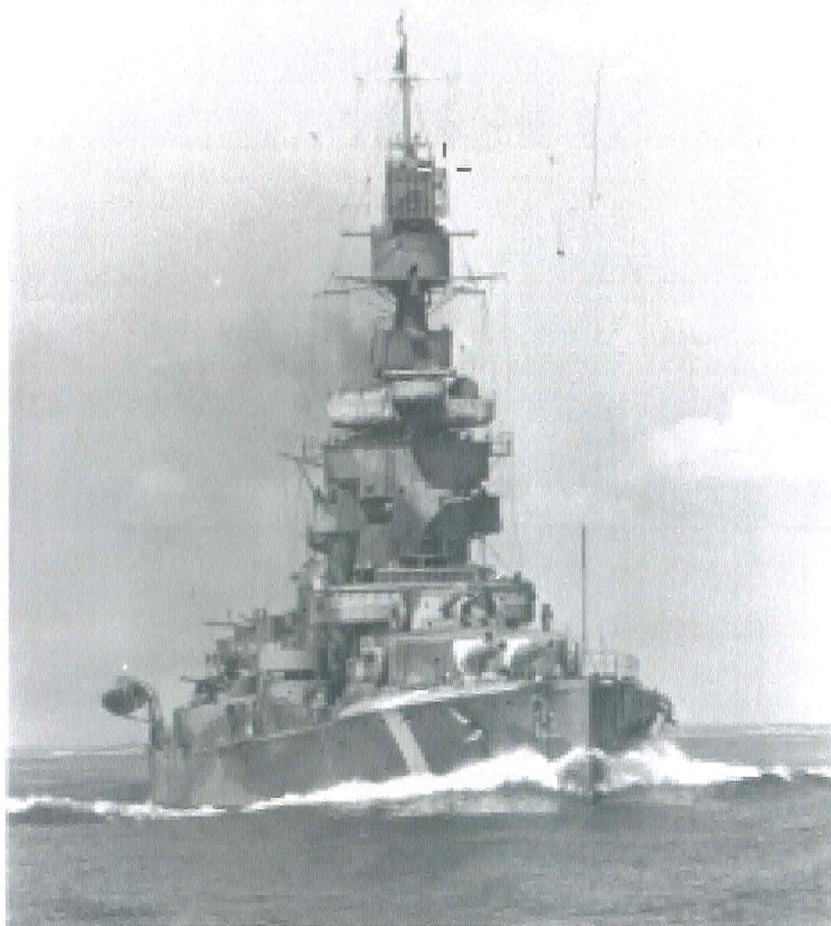
Allteftersom stationerna i den "fabrikstillverkade" provserien blev klara under våren 1943 placerades de för fortsatta prov och därefter operativ drift på jagaren "Gävle" och kustartilleriets anläggning på Mälsten i Stockholms södra skärgård och på pansarskeppet "Drottning Viktoria". Förutom fortsatta prov och utvärdering med dessa anläggningar förbättrade man systemen ytterligare.

I mars 1943 beställde Marinförvaltningen minst 15 ytterligare ekoradiostationer av den nu utvecklade typen. Tillverkningen skulle ombesörjas av SUN, LM Ericsson och Bofors. Leverans påbörjades i augusti 1943 och stationerna avsågs för pansarskeppen, jagare och kustartilleriets fasta anläggningar.

Dessa frekvensmodulerade ekoradiostationer fick beteckningen "Ekoradio typ I" eller ER Ia för fartygsbruk och ER Ib för kustartilleriet. Kustartilleriantennen hade måtten 7,5 x 2 m och var monterade på ett vridbord så att den alternativt kunde roteras eller manuellt riktas för noggrann målinmätning.

På pansarskeppen bestod sändarantennen av 4 dipolrader med 8 dipoler i varje rad. Mottagarantennen bestod av 2 rader med 8 dipoler. Antennerna var monterade över varandra och med den totala dimensionen 2,82 x 2,17 m. Jagarnas sändar- och mottagarantennerna bestod båda av 2 rader med 6 dipoler. De placerades efter varandra med total dimension av 0,75 x 4,20 m och visas i figur 1.

I figur 2 visas antennernas placering på pansarskeppet "Sverige" och jagaren "Sundsvall". (Marinkalerndern 1945)



Figur 2

ER Ia på pansarskeppet "Sverige" och jagaren "Sundsvall"
(Marinkalendern 1945)

3.2 Utveckling enligt pulsmetoden för fjärrspaning mot luft- och sjömål

Som redan påpekats hade man vid starten i januari 1942 koncentrerat de fåtaliga resurserna på utveckling av en användbar ekoradio enligt interferensmetoden. Under sommaren/hösten samma år hade man nått så positiva resultat med detta att man bedömde att målet relativt snart skulle nås. Samtidigt hade personalen inom ekoradiogruppen utökats.

I september 1942 var tiden därför mogen att parallellt med det pågående arbetet med interferensmetoden med betydligt större räckvidd, bl a för luftbevakningens behov. För detta bildade man ytterligare en grupp som kallades pulsgruppen. Den leddes av Martin Fehrm. Till denna grupp anslöts Kurt Engström, John Hamilton och Tord Wikland.

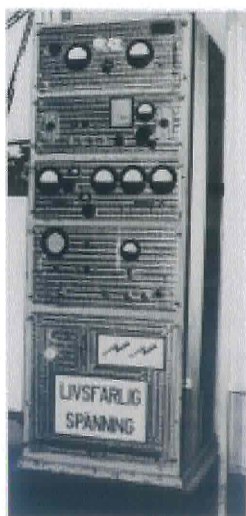
Pulsgruppen siktade nu mot att tillgodose luftförsvarets och kustbevakningens behov av spaning mot luft- och sjömål. Ekoradio för denna användning fick beteckningen ER III. (ER I och ER II var redan reserverade för sjömålsinmätning respektive Lv).

Dimensionerande krav för pulsekoradion typ ER III var luftbevakningens behov av minst 100 km räckvidd mot flygplansmål. Det betydde att sändareffekten måste vara den högsta möjliga och att antenntyten måste vara mycket stor.

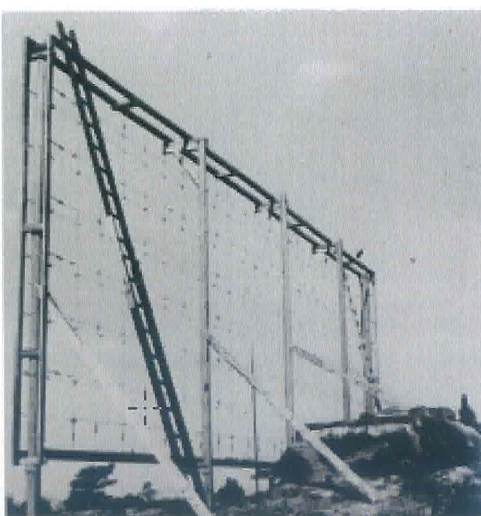
Utvecklingen förlades till Signalregementet vid Frösunda. De första fältförsöken gjordes på Bromma.

Tillgång på lämpliga rör var ett stort problem. Man behövde sändarrör som kunde ge hög pulseffekt vid kort våglängd, högbranta förstärkarrör för mottagaren och katodstrålerör för indikatorn. Det var svår brist på sådana. Torsten Elmquist lyckades dock skaffa några rör från Telefunken så att man kunde komma igång med experimentarbetet. Standard Radio hade också påbörjat utveckling av katodstrålerör.

Man valde våglängden 1,6 m som lämplig kompromiss mellan kort våglängd och hög sändareffekt. Som sändarrör använde man ett Telefunkenrör typ LS180, som kunde ge 10 kW i pulseffekt. Vid den valda våglängden kunde även hög mottagarkänslighet erhållas med speciella högfrekvensförstärkarrör som kommit fram. Med dessa byggdes en prototyp med sändare och mottagare i ett stativ som visas i figur 3. Den finns numera på Telemuseum i Stockholm.



Figur 3. Sändare och mottagare till ER III



Figur 4. Antennprototyp ER III

Antennen måste vara stor för att uppnå den önskade räckvidden. Man provade olika typer på Bromma, bl a Yagiantenner och dipolmattor. Man bestämde sig för den senare typen och en sådan sattes upp för prov på Mälsten.

För de slutliga proven installerades en försöksutrustning på högsta höjden på Nåttaröhals. Där byggdes en jätteantenn i form av en dipolmatta, 20 m lång och 6 m hög. Den var monterad på hjul som gick på en ringformad räls så att den kunde vridas med en elmotor. Den tillverkades av Bofors och kallades populärt "roterande ladugårds-väggen". I figur 4 visas den enda bild av antennen som kunnat uppbringas. Det torde vara en första prototyp för utprovning utan vridanordning.

Presentationen av ekona skedde på ett av de katodstrålerör som utvecklades av Standard Radio. Man experimenterade bl a med cirkelformat tidssvep för att få längre avståndsskala. Utrustningen placerades i en enkel byggnad.

Utvecklingen av ER III hade tagit ganska lång tid. Under första delen av 1944 kom emellertid utprovningen av Nåttaröstationen igång. Man fick då en räckvidd mot enstaka flygplan av 140 – 150 km. Mot en division på 9 flygplan var räckvidden större än 200 km. Divisionen vände på detta avstånd utan att räckviddsgränsen uppnåtts. Man kunde även mäta in ekon från 15 cm artilleriprojektiler samt vattenuppkast från dessa. Med Nåttaröstationen kom man för första gången i kontakt med fenomenet anomal vågutbredning. Vid olika tillfällen fick man till operatörernas stora förvåning in ekon av Gotska Sandön och ibland även Gotland som bägge låg väl under horisonten från ekoradiostationen sett och dit radiovågorna enligt den dåtida kunskapen inte borde ha nått.

En första delserie av ER III beställdes av Flygförvaltningen i juni 1944. Man hade endast 14 sändarrör av typ LS 180 och eftersom man ansåg att det behövdes minst ett reservrör till varje station begränsades antalet i första delserien till 7 stycken. Dessa stationer skulle placeras i kustområdet mellan Gävle och Bråviken.

Man planerade att prova Nåttaröstationen i praktisk drift under Flygvapnets övningar i slutet av september 1944.

För den fortsatta utvecklingen planerade man ett flertal projekt. John Hamilton, som hade ansvaret för presentationsutrustningen, experimenterade med en gemensam indikator för både avstånd och riktning. Hans utrustning kom att mycket nära överensstämma med den av de allierade under kriget utvecklade PPI-indikatorn.

Tord Wikland projekterade en fast antenn med elektrisk lobstyrning, uppenbarligen enligt liknande princip som den senare kända "Wullenwever-antennen". Han räknade med en avsäkningsvinkel på 60 grader och hastigheten 20 svep per sekund.

I slutet av juni 1944 ändrades dock situationen påtagligt när man från England fick erbjudande att köpa ett flertal luftbevakningsstationer. Dessa var mindre och lättare än ER III men hade liknande prestanda. I avvaktan på detta avbröt man verksamheten med ER III, se avsnitt 5.2.

3.3 Ekoradioförsök för luftvärnet

Även luftvärnet var intresserat av ekoradio för framförallt noggrann avståndsmätning mot flygplan samt för att bli oberoende av mörker och dålig sikt. För att prova om den nu utvecklade frekvensmodulerade ekoradion kunde tillgodose detta önskemål flyttades i maj 1943 ett provexemplar till luftvärnets skjutfält på Vaddö. Vid proven erhöles räckvidder om 2,8 – 3,1 km mot flygplan, okänt vilken typ. Avståndsnoggrannheten var helt överlägsen den som kunde erhållas med de dittillsvarande optiska mätmetoderna.

Det hela demonstrerades för höga officerare inom luftvärnet och flygvapnet. Luftvärnarna förklarade dock att den provade utrustningen var alldeles för stor och tung för luftvärnet. Man önskade därför utvecklingen av en lättare, mobil ekoradio med längre räckvidd än den som demonstrerats. Den skulle då få beteckningen ER II.

För att lösa detta insåg man att våglängden måste vara mycket kortare. Hugo Larsson fick ett särskilt anslag för att experimentera med sändare på 10-20 cm våglängd. En AEG-utvecklad "slits-magnetron" provades, men när det enda exemplaret havererade fick försöken avbrytas. Klystroner kunde arbeta på de önskade korta våglängderna. De av Georg Schönander påbörjade försöken att tillverka sådana gick i början trögt. Inom SUN bedömde man att inom rimlig tid tillgängliga klystroner inte skulle kunna ge erforderlig uteffekt även om man gick över till pulsmodulation. Forskningen inom detta tillämpningsområde prioriterades därför tillsviare lågt.

I början av 1944 fick vi indikationer om möjligheten att köpa den tyska Lv-eldledningsstationen "Würzburg". Se kapitel 5.1. Därmed avbröts SUN:s egen verksamhet.

4 Ekoradioutvecklingen inom SAAB och Bofors

Under vintern 1943 – 44 började SAAB inse att SUN:s inriktning mot stora och relativt tunga ekoradiostationer för fartygs- eller markbaserad låg för långt från deras eget intresse, som ju främst gällde flygburen ekoradio.

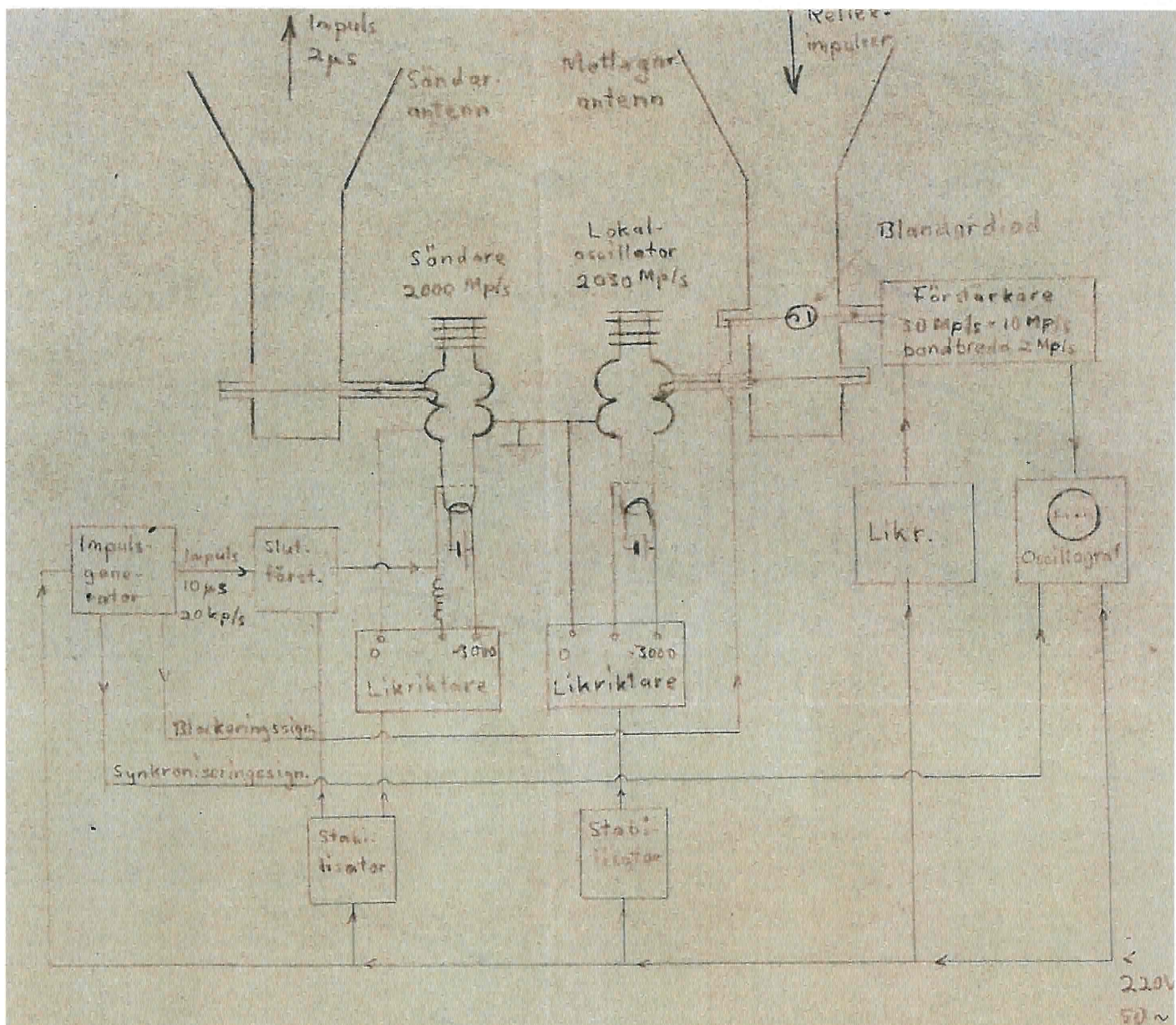
Även Bofors insåg detta och man ville hellre ha en mobil ekoradio, lämplig för eldledning av sina luftvärnskanoner.

Bägge dessa tillämpningar pekade mot en liten och lätt utrustning. SAAB och Bofors beslöt därför att tillsammans utveckla en ekoradio med dessa basegenskaper. Avtalet med SUN sades därför upp och personalen togs hem.

För att uppnå de önskade egenskaperna måste våglängden vara mycket kort, av storleksordningen 10 – 15 cm. Man satsade därför på att basera sändaren/mottagaren på klystronrör. Man visste att röntgenfirman Georg Schönander arbetade med utveckling av klystronrör som arbetade på den intressanta våglängden 14 cm. Därför etablerades ett samarbetsavtal mellan SAAB, Bofors och Schönander. Detta syftade till att utveckla två ekoradioprototyper med samma klystronbaserade grundkonstruktion, en för flygburen tillämpning och en för luftvärnsanvändning.

Till detta bildades en arbetsgrupp, bestående av Nils-Henrik Lundqvist, Sten Bergmar och Folke Kimblad från SAAB, Nial Andersson från Bofors och George Fredzell från Schönander. Arbetet bedrevs i Schönanders laboratorielokaler vid Kungsbrogatan i Stockholm. Den grundkonstruktion man utgick från framgår av figur 5 som visar ett principalschema för en "avståndsmätare" med klystroner för både sändare och lokaloscillator som uppgjorts av Nils-Henrik Lundqvist den 20 juni 1943.

Sändarfrekvensen var angiven till 2000 MHz samt pulsmodulation med pulslängden 2 μ s. Skilda sändar- och mottagarantennar användes och de utformades som vågledartrattar. I mottagarantennen ingick blandaren i form av en elektronrörsdiod. Under sändarpulsen blockerades denna.



Principschema för avståndsmätare

20.6.43, N.H.B.
2337

De klystroner som till att börja med fanns tillgängliga var långt ifrån problemfria. Sändarklystronen hade alltför låg uteffekt. Efter omkonstruktion med större katoder och högre acceleratorspänning fick man betydligt högre effekt.

Den första labprototypen uppställdes för prov på Södersjukhusets tak. Man fick bl a in ekon från Värtans gasklocka på 5,6 km avstånd.

Mycket arbete lades ned på vidareutveckling av prototyperna. Mottagaren försågs bl a med kristalldiodblandare. Prestanda förbättrades så att man kunde indikera ekon från Spångamasterna på 11 km avstånd och följa flygplan av typ Junkers JU 52 ut till 7 – 8 km. SAAB:s prototyp modifierades för flygbruk och installerades under hösten 1944 i ett flygplan av typ Handley – Page Hampden. Det var väl lämpat för proven med rymlig plexiglasnos, stora fönster och plats för 2-3 personer samt för de handriktade trattantennerna. Flygproven skedde under vintern 1944/45. Ett flertal försöksflygningar gjordes på en triangelbana Linköping - Stjärntorp – Norsholm. Enligt Nils-Henrik Lundquists minnesbild var resultatet föga uppmantrande. Man såg mest en mängd markekon samt eventuellt några osäkra flygplansekon.

Under våren 1945 fortsatte man att försöka förbättra prestanda. Bl a utvecklades en sändar/mottagar-växlare så att man kunde ha en gemensam antenn för sändaren och mottagare.

För att öka avståndsmättnoggrannheten uppfanns och patentsöktes av ingenjörerna Bergmar och Kimblad en motordriven "luckföljare" som automatiskt kunde följa rörliga mål. Denna bedömdes få användningar i ett flertal tillämpningar förutom i det gemensamma flyg-Lv-projektet, t ex SUN:s olika ekoradioprojekt.

Man började även planera för en igenkänningsutrustning (IK) som skulle kopplas till ekoradion. Ekoradions sändare användes som frågesändare. När ett eget mål tagit emot dennas signal och identifierat den med hjälp av frekvens och pulldata sändes ett kodat svar tillbaka med lokaloscillatorn i målets IK-mottagare som svarsändare.

I ekoradion markeras eget mål med en lampa som lyser när ekot indikeras om koden är rätt. Om någon provutrustning tillverkades finns ej dokumenterat, men en patentansökan finns med Nils-Henrik Lundqvist och Sten Erik Bergmar som uppfinnare.

Enligt brev mellan SAAB och Bofors under våren 1945 samt förslag under en gemensam konferens på Grand Hotel den 25 april 1945 planerade SAAB-Bofors-Schönander gruppen att tillverka en provserie om 25 ekoradioapparater. Den fortsatta serietillverkningen skulle senare läggas ut på "lämpliga radiofirmor".

Man föreslog bildandet av en kommitté med personal från SAAB och Bofors för planeringen. För utveckling och tillverkning av provserien räknade man med 24 man och en kostnad första året av 206 000 kr. Denna summa reviderades senare till 340 000 kr. Laboratoriet kunde placeras antingen i Linköping eller Stockholm med viss preferens för det senare bl a på grund av närheten till firma Schönander.

Man frågar sig vad som sedan hände med dessa storstilade planer? I samma veva tog kriget slut och det började komma in information om resultat av de allierades radarutveckling under kriget. Denna utveckling överträffades ju vida de resultat vår inhemska forskning åstadkommit.

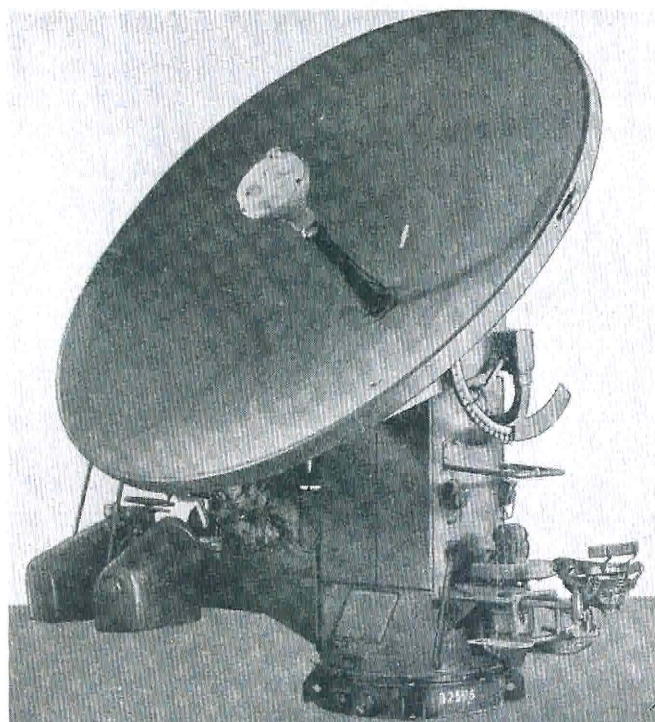
SAAB:s ledning beslöt därför att inte längre satsa på egen tillverkning av flygburna ekoradioutrusningar baserad på den dittillsvarande svenska utvecklingsverksamheten. Samma slutsats drog även Bofors och därmed avbröts SAAB-Bofors ekoradioprojekt.

5 Anskaffning under kriget av utländsk ekoradioutrustning

Som tidigare beskrivits fick vi möjlighet att under de sista krigsåren från Tyskland köpa ekoradio för eldledning av luftvärn och från England ekoradio för luftbevakning mot flygplan. Därigenom avbröts SUN:s utveckling av motsvarande utrustning.

5.1 ER IIB Würzburg för luftvärnet

Den ekoradiostation vi erbjöds köpa var Würzburg typ D. Den var utvecklad av Telefunken i början av kriget och avsedd för eldledning av luftvärnsartilleri. En sådan visas i figur 6.



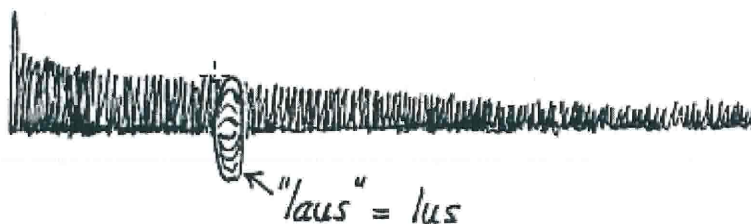
Figur 6. ER IIB Würzburg

Kännedomen om Würzburg-stationen hade inkommit på flera vägar. Alf Grabe och Torsten Elmqvist hade blivit inbjudna till det tyska marina överkommandot (O.K.M) i Berlin den 24 augusti 1943 varvid bl a Würzburg beskrivits. En demonstration hade även utlovats, men fick inställas på grund av pågående flyganfall.

Verkan av Würzburg fick man klart för sig då finskt (eller tyskt) luftvärn med dess hjälp lyckades skjuta ned ett flertal ryska bombflygplan som anföll Helsingfors.

Via diplomatiska aktioner fick vi av Telefunken köpa 50 stycken Würzburg-stationer. Köpet var utformat som kompensationsaffär med svenska kullager. Stationerna levererades senare under 1944. De fick den svenska beteckningen ER IIB och blev arméns första operativa ekoradiostation.

ER IIB arbetade på 50 cm våglängd och var pulsmodulerad. Den utvecklades redan i början av kriget och var då vida överlägsen de allierades motsvarigheter, bl a genom att den utnyttjade konisk lobrotation som gav hög noggrannhet vid riktningmätningen. Senare, när vi fick tillgång till stationen, torde dock de allierade mer än väl ha inhämtat förspånget bl a genom utvecklingen av hålrumsmagnetronen, som medgav betydligt kortare våglängd. Under kriget införde de allierade fällning av remsor för att störa Würzburg. Som skyddsåtgärd mot detta utvecklade tyskarna ett system som de kallade "Würzlaus". Det bestod av en liten hjälposcillator som sattes i antennen och triggades i fas av sändarpulsen. Man fick då interferens mellan denna oscillatorsignal och ekon från mål i rörelse så att de kunde skiljas från de relativt stationära remsekona. De rörliga ekon syntes som en "lus". (Se figur 7.)



Figur 7. Särskiljning av rörliga och fasta ekon vid "Würzlaus"

Information om detta skyddssystem erhöles strax efter krigsslutet, då även en dylik oscillator levererades för försök i Sverige.

5.2 ER IIB för Flygvapnets luftspaning

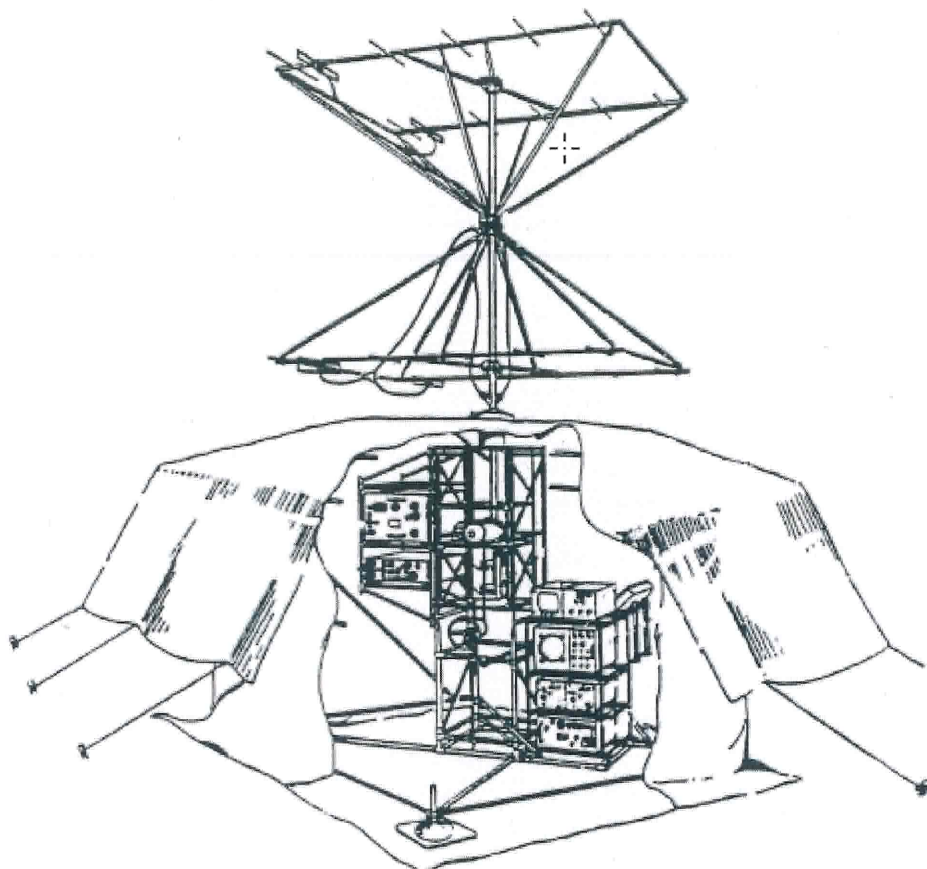
I juni 1944 fick vi erbjudande om att från England få köpa luftbevakningsstationer med beteckning AMES type 6 Mk III (Air Ministry Experimental Station). Detta fick vi egentligen som svar på en förfrågan om att få köpa sändarrör som kunde arbeta på hög frekvens och med hög pulseffekt. Varför köpa lösa komponenter och själv bygga ihop dem? Ni får köpa färdiga radarstationer blev svaret.

Från flera håll har angivits att erbjudandet var ett tack för att vi medgav att resterna efter den tyska V2-robot som slagit ned i Småland, fick transporteras till England. Detta förefaller dock ganska tveksamt eftersom robotnedslaget skedde bara någon vecka innan det första erbjudandet kom och att vi själva tog ordentlig tid på oss för egen undersökning av robotresterna.

Flygförvaltningen beställde 30 stycken stationer och skrinlade samtidigt anskaffningen av den svenska ER III. Den engelska stationen fick beteckningen ER IIB. De levererades till en början med flyg och senare efter krigsslutet med båt mellan juli 1944 och september 1945. Med de första stationerna följde en engelsk radarexpert, Mr J.M.J. Watts. Han lärde ut tekniken och ledde driftsättningen av de första stationerna, av vilka en visas på figur 8.

Stationerna var tillverkade av Marconi redan 1939 – 40. De hade använts i Libyen och blivit över när ökenkriget slutförts 1943. Med stationerna följde en hel del ökensand från Sahara. Våglängden var 1,4 meter, pulseffekten 85 kW och pulslängden 2 μ s. Räckvidden mot enstaka flygplan på tillräckligt hög höjd var 80 – 150 km beroende på uppställningsplats. Med hjälp av de 30 ER IIB – stationerna byggde flygvapnet upp sitt första radarvarnings-system 1944 – 45. De flesta var flyttbara, men några placerades fast på vissa flygflottiljer.

Projektledare och teknisk chef för detta var Torsten Gussing, som senare blev laborator och chef för FTL på FOA 3. Förutom driftsättning av stationerna fick han också utbilda den erforderliga personalen.



Figur 8. Ekoradiostation ER IIIB för luftbevakning

ER IIIB var operativ till 1955 – 56. Någon eller några stationer hölls dock i drift några år till vid enstaka tillfällen bl a för att eventuella lyssnare skulle hållas i osäkerhet om stationens status.

Rune Erlandsson har i Telubs historikserie om Flygvapnets tidigare radarstationer mer fullständigt beskrivit ER IIIB, se källförteckningen.

6 Information i krigets slutskede om modern utländsk radarteknik

Genom de i krigets slutskede inköpta tyska och engelska stationerna fick vi ett mycket värdefullt tillskott till vår ekoradiokunskap. Dessa stationers modernitet var emellertid representativt för krigets allra första inledningsskede. Att utvecklingen därefter hade avancerat kraftigt hos de krigförande länderna kunde man förutsätta och här började insynen nu öka något.

Ett stort antal allierade bombflygplan, bl a amerikanska "flygande fästningar" nödlandade i Sverige sedan de skadats under de stora bombföretagen över Tyskland. Dessa undersöktes av svenska tekniker, bl a de som deltagit i den svenska ekoradioutvecklingen. Därvid fann man utrustning för navigering enligt hyperbelmetoden, störsändare på 50 cm våglängd för störning av Würzburg, radarhöjdmätare (altimeter), m m. Man fann också den navigerings- och bombfällningsradar på 3 cm våglängd som fanns på vissa flygande fästningar och som skulle leda de övriga bombflygplanen (pathfinders-stigfinnare). Därigenom började man få detaljerad kunskap om den modernaste allierade radarutvecklingen, bl a kunde man undersöka hålrumsmagnetroner, reflexklystroner och PPI-indikatorer.

Några måndader efter krigsslutet gästades Sverige av två brittiska krigsfartyg, kryssaren Birmingham och jagaren Offa. Svenska ingenjörer från både SUN och SAAB – Bofors – gruppen fick besöka dessa, tala med de engelska radaroperatörerna och även fotografera antenner och indikatorer. Därmed fick vi en liten inblick i resultatet av den gigantiska satsningen på radarforskning som gjordes under kriget. Den hade kostat 10-tals miljarder kronor i dåtidens penningvärde, att jämföras med vår kostnad på mindre än en halv miljon kronor för ekoradioutvecklingen under kriget. Flera av de radarstationstyper som fanns på dessa bägge fartyg fick vi sedan köpa till våra svenska stridsfartyg.

7 Sammanfattning av ekoradioläget strax efter krigsslutet 1945

Vid krigsslutet hade alla tre försvarsgrenarna egna operativa ekoradiosystem. Armén hade den från Tyskland inköpta ER IIB Würzburg för eldledning av luftvärnsartilleriet. Marinen hade den av SUN utvecklade och LM Ericsson tillverkade ER Ia för flottan och ER Ib för kustartilleriet. Flygvapnet hade den från England inköpta ER IIIB.

SUN-projektet ER III och SAAB – Bofors ekoradioprojekt nådde aldrig operativ status. Detta torde dock inte ha påverkat den främsta betydelsen som hela ekoradioforskningen och utvecklingen fick genom att den genererade ett stort antal personer med grundläggande och djup kunskap om denna nya teknik, både teoretiskt och praktiskt.

Detta innebar att man direkt kunde bygga upp effektivt fungerande ekoradiogrupper inom förvaltningarna och FOA. Därigenom kunde man snabbt tillgodogöra sig den flodvåg av ny radarkunskap och information som efter kriget vällde in över oss från de allierade segrarmakterna, främst England och USA. Av länderna utanför de direkta segrarmakterna torde vi därför ha varit de allra första som kunde omsätta denna nya radarkunskap i operativt fungerande system med en för tiden mycket hög modernitet.

En annan följd av vår kunskap på detta område var den radarindustri som tidigt började byggas upp på den grund som skapats under krigsårens ekoradioutveckling. Den har så småningom blivit en av de ledande på området.

I figur 9 visas några av pionjerna från SUN:s ekoradioutveckling. Den är tagen 1985 då "ekorrarna" som de själva kallade sig samlats på L M Ericsson Radar i Mölndal för att prata om gamla minnen.



Fyra ekoradiopionjärer samlade på Ericsson Radar AB i Mölndal 1985. Från vänster ser vi Thorsten Lange som byggde upp Ericssons radarverksamhet och blev förste platschef i Mölndal, Ove Norell, generaldirektör för Statens Provningsanstalt, Hugo Larsson och Martin Fehrm som efter varandra blev generaldirektörer för FOA.

Foto: Kent Eliasson, Ericsson Radar personaltidning MERA-nyheter, okt.1985

Källförteckning

Muntlig och skriftlig information från Martin Fehrm och Kurt Engström.

Utdrag ur protokoll från Statens Uppfinnarnämnd

Redogörelse för försök med elektrisk avståndsbestämning under tiden 7.1.42 till 15.6.42, Torsten Elmqvist och Hugo Larsson.

Beskrivning av Marinens Ekoradioanläggning typ Ia. Princip, konstruktion och handhavande. Krigsarkivet.

Utskrifter från anföranden vid "Ekorr-träffen" 15 mars 1967 av Hugo Larsson och Ove Norell.

Minnesanteckningar från ekoradioutvecklingen under kriget, Nils-Henrik Lindquist.

FOA-tidningen april 1975, sid. 3 och juni 1985, sid. 48.

Referat angående LME medverkan i ER-försök, Thorsten Lange.

PM beträffande besök på O.K.M. 24.8 1943 med bl a Grabe, Elmquist Telefunken 11.3 1944 Würzburg-Lieferungen nach Schweden.

Marinkalendern 1945.

Telub TR:921515, ER IIIB historik, Rune Erlandsson.

Dokument från SAAB och Bofors, samlande av Bo Ronnerstam, tidigare TUAB och Bofors.

MERA-nyheter, nr 6, oktober 1985 (Ericsson Radar Personaltidning).