

Fredrik Oscarsson

## Fartygsburna kortvågspejlar

TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1237--SE

Maj 2004

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

Fredrik Oscarsson

# Fartygsburna kortvågspejlar

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                     |                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Utgivare</b><br>Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI<br>Ledningssystem<br>Box 1165<br>581 11 Linköping                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Rapportnummer, ISRN</b><br>FOI-R--1237--SE                       | <b>Klassificering</b><br>Användarrapport |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Forskningsområde</b><br>6. Telekrig                              |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Månad, år</b><br>Maj 2004                                        | <b>Projektnummer</b><br>E7892            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Verksamhetsgren</b><br>5. Uppdragsfinansierad verksamhet         |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Delområde</b><br>61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd        |                                          |
| <b>Författare/redaktör</b><br>Fredrik Oscarsson                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Projektledare</b><br>Fredrik Oscarsson                           |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Godkänd av</b><br>Martin Rantzer                                 |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b><br>FMV                         |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b><br>Rolf Gustavsson |                                          |
| <b>Rapportens titel</b><br>Fartygsburna kortvågspejlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                     |                                          |
| <b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b><br><p>Rapporten är beställd av FMV och skall belysa de olika problem som en fartygsburen pejl kan få på kortvågsbandet. Rapporten är att se som en första utredning inom området.</p> <p>Det största problemet är antennen som måste vara relativt liten och dessutom kommer att påverkas av fartygets struktur. Ett antal olika pejlantennor för kortvåg, från några olika tillverkare, jämförs. Skillnaderna i känslighet mellan olika principiella typer av antenner kartläggs. Rapporten konstaterar att små antenner som t ex. korslagda loopar har ca 20 dB sämre känslighet än stora cirkulära arrayer. Känsligheten hos de beskrivna antennerna jämförs med utbredningsdämpningen över hav och förväntad signalnivå.</p> <p>Pejlantennor av typen korslagda loopar/ferriter är användbara för vertikal polarisation men ger stora felvisningar om rymdvågskomponenter (med horisontell polarisation) finns i den pejlade signalen. Vertikal polarisation är dominerande över hav då markvåg med horisontell polarisation dämpas kraftigt. Rymdvåg uppträder dock även på korta avstånd vilket också verifierades.</p> <p>Pejlfel beroende på systemfel, återstrålare och kustrefraktion diskuteras. Ett par exempel på publicerade bäringsfel beroende på fartygets struktur visas.</p> |                                                                     |                                          |
| <b>Nyckelord</b><br>DF, pejl, kortvåg, HF, ytvåg, rymdvåg, bäringsfel, återstrålare, loopantenn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                     |                                          |
| <b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Språk</b> Svenska                                                |                                          |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Antal sidor:</b> 36 s.                                           |                                          |
| <b>Distribution enligt missiv</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Pris:</b> Enligt prislista                                       |                                          |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Issuing organization</b><br>FOI – Swedish Defence Research Agency<br>Command and Control Systems<br>P.O. Box 1165<br>SE-581 11 Linköping                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Report number, ISRN</b><br>FOI-R--1237--SE                                                  | <b>Report type</b><br>User report |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Programme Areas</b><br>6. Electronic Warfare                                                |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Month year</b><br>May 2004                                                                  | <b>Project no.</b><br>E7892       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>General Research Areas</b><br>5. Commissioned Research                                      |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Subcategories</b><br>61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection |                                   |
| <b>Author/s (editor/s)</b><br>Fredrik Oscarsson                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Project manager</b><br>Fredrik Oscarsson                                                    |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Approved by</b><br>Martin Rantzer                                                           |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Sponsoring agency</b><br>FMV                                                                |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Scientifically and technically responsible</b><br>Rolf Gustavsson                           |                                   |
| <b>Report title (In translation)</b><br>Shipboard Shortwave Direction Finders                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                |                                   |
| <b>Abstract (not more than 200 words)</b><br><br>Different types of antennas for shipboard installation are discussed. One of the main obstacles are the permissible size of the antenna and the impact from the ships structure. The sensitivity of some different types of commercial antennas are studied and related to the path loss at sea and expected signal levels. It is noticed that small antennas such as crossed loops have approximately 20 dB less sensitivity than large circular arrays.<br><br>DF antennas of the type crossed loops are useful for vertical polarization but will give severe errors for horizontal polarization with elevation i.e. skywave. Vertical polarization are dominant at sea since ground wave signals with horizontal polarization will suffer heavy attenuation. Nevertheless skywave with horizontal polarization will be present even at short distance, which was verified.<br><br>DF errors as a result from instrumental errors, reradiation and coastal refraction are briefly discussed. |                                                                                                |                                   |
| <b>Keywords</b><br>DF, Shortwave, HF, groundwave, skywave, reradiation, loop antenna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                |                                   |
| <b>Further bibliographic information</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Language</b> Swedish                                                                        |                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                |                                   |
| <b>ISSN</b> 1650-1942                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Pages</b> 36 p.                                                                             |                                   |
| <b>Price acc. to pricelist</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                |                                   |



## Innehållsförteckning

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Innehållsförteckning.....                                 | 4  |
| Inledning.....                                            | 5  |
| Antennsystemets fysiska storlek .....                     | 6  |
| Ytvåg – rymdvåg.....                                      | 7  |
| Vertikal polarisation.....                                | 7  |
| Loop- och ferritantenner.....                             | 8  |
| Olika pejlantenner - exempel .....                        | 11 |
| ROHDE & SCHWARZ ADD 119, ADD 010 .....                    | 11 |
| ROHDE & SCHWARZ ADD 015 .....                             | 14 |
| EADS EWATION (MRCM) - MRA 1282 HVU2.....                  | 15 |
| SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE AS-141 .....                 | 16 |
| PLATH FRA 830.10 .....                                    | 17 |
| PLATH FA 320 .....                                        | 17 |
| ASTRON DF-1200 .....                                      | 18 |
| Vilken känslighet behöver en fartygspejl.....             | 20 |
| Kortvågens utbredningsdämpning i vår skärgårdsmiljö.....  | 21 |
| Pejlfel .....                                             | 22 |
| Instrumentfel .....                                       | 22 |
| Pejlfel beroende på antennens omkringliggande miljö ..... | 23 |
| Mastinstallationer på fartyg.....                         | 27 |
| Kustbrytning.....                                         | 28 |
| Referenser.....                                           | 29 |
| Bilaga1. Dämpningskurvor från CCIR.....                   | 30 |
| Bilaga 2. GRWAVE simulering.....                          | 31 |
| Bilaga 3. Mätningar på ADD 119 från R&S .....             | 35 |

## Inledning

Signalspaning från fartyg har funnits sedan kombinationen radio och fartyg existerat. Ett av de mer framgångsrika exemplen är från andra världskriget och slaget om atlanten där de allierade använde HF/DF (eller "huff-duff" som det kallades) för att lokalisera tyska u-båtar när de sände rapporter till land. Fartygens inmätning av bäring var dock mycket sämre än kuststationernas beroende på påverkan från fartyget på pejlantennen. Alltsedan denna tid har man i många länder forskat och utvecklat bättre antenner för att öka noggrannheten. I många fall kan man lägga in korrektionsfaktorer för fel som uppstår. Men om antennplaceringen är dålig kan man i vissa fall till och med få multipla bäringsvärden för en och samma sändare.

Ett stort problem med kortvågsområdet är den långa våglängden som gör att antennsystemet helst bör vara stort för att få en korrekt inmätning av fasfronten. Vid 300 MHz räcker en diameter på 1 meter för att få ett förhållande på 1:1 mot våglängden medan man på 3 MHz skulle behöva 100m. En placering i ett fartygs antennmast tillåter inte detta utan mindre antenner måste användas. Detta ger också den nackdelen att förmågan att mäta in svaga signaler minskar. En låg känslighet på kortvåg har historiskt sett sällan varit något problem. Det har varit högre frekvensområden med dess högre utbredningsdämpning som fokuserat på känslighet. Ny smygteknik/taktik på fartyg bör resultera i lägre signalnivåer även på kortvågen och därigenom bör inte känslighet hos kortvågsantennen negligeras.

Redan under Vietnamkriget använde Nordvietnams trupper near-vertical incidence skywave (NVIS) för kommunikation. Detta medförde stora problem för USA då man hade pejlsystem (antenner) som krävde vertikal polarisation och inte fungerade bra mot den horisontella polarisation som NVIS medför, se referens [11].

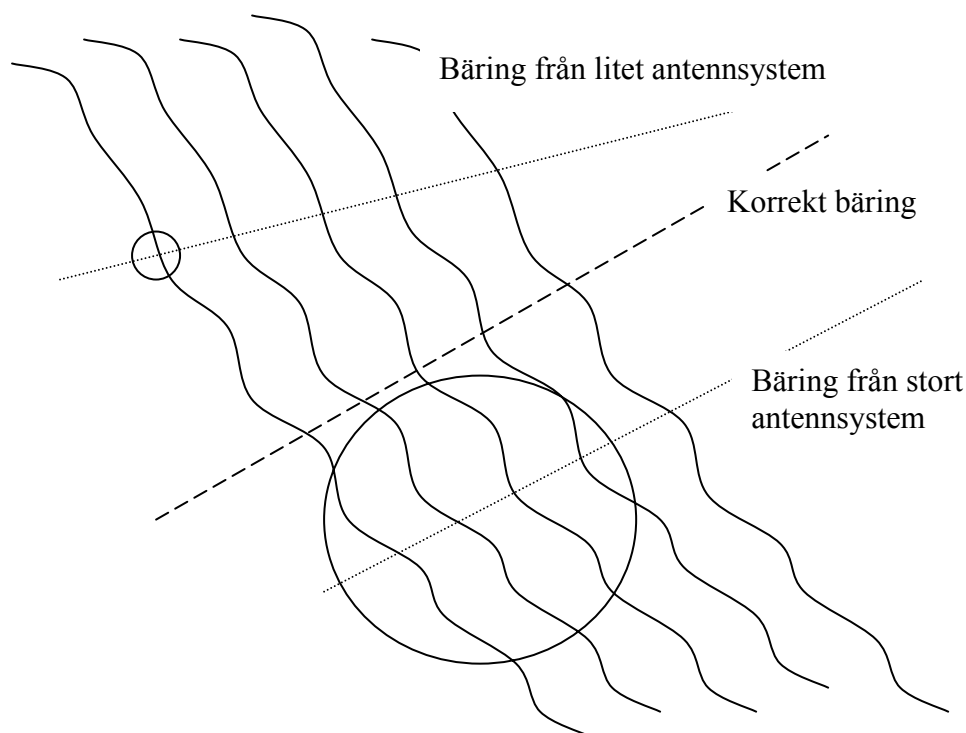
Det nätverksbaserade försvaret (NBF) kommer att ge en ökning av radiotrafiken såväl som ett behov av signalspaningsunderlag som en av flera viktiga sensorer. Signalspaning mot kommunikation från fartygsplattformar kommer därför att vara en lika viktig om inte viktigare komponent i framtiden än den var under andra världskriget.

## Antennsystemets fysiska storlek

En korslagd dipol eller korslagda ferritantenner har en mycket mindre till sin storlek (0,2-2m) än t ex en Adcockantenn där åtta antennelement står med en diameter på mer än 10m.

En stor nackdel med små antenner är att man bara kan mäta en mindre del av fasfronten. Om denna är korrupt kommer detta att kunna ge stora fel i bäringsnoggrannhet, se figur 1.

*Small aperture* och *wide aperture* är de engelska uttryck som används för att karakterisera detta. En tumregel är att under 1:2 i förhållande mellan diameter och våglängd räknas som small aperture [11]. För kortvågens våglängder på 10-150 m är de flesta antenner mer eller mindre i klassen small aperture (mestadels mindre än 5-75 m diameter).



**Figur 1. Skillnaden i noggrannhet mellan stor och liten apertur när fasfronten ej är perfekt.**

Ett alternativ är att använda flera antenner med liten apertur som vägs samman. Detta alternativ nyttjas t ex av tillverkaren SWRI.

## Ytvåg – rymdvåg

Vid fasta installationer av pejlantenner för kortvåg är dessa ofta placerade så att rymdvågen blir den enda komponenten (ytvågskomponenten dämpas ut). Vid signalspaning mot fartyg är t.ex. ofta ytvågen kraftigt dämpad redan några tiotal km in över land. I ett taktiskt fall med signalspaning från ett fartyg på kortvågsområdet är det troligt att ytvågen istället är den dominerande komponenten. Ytvågen kommer också i de flesta fall att ge en mycket bättre bäring då den är en direktvåg utan reflektion eller brytning. Tyvärr kommer dock ofta även en rymdvågskomponent att finnas med som gör bäringsbestämning svårt. I vissa fall kan även troposcatter förekomma som vi här kan se som rymdvåg. Skillnaden är att brytningen sker vid lägre höjd (ca 10 km i stället för 100-300km för jonosfärsbrytning).

Ytvågen består egentligen av en eller flera av komponenterna [11],

- Direktvåg
- Reflekterad direktvåg
- Ytvåg

Direktvåg och reflekterad direktvåg förekommer mest i fallet korta avstånd med högt placerade antenner åtminstone på ena sidan. Exempel är flygplanskommunikation till mark.

Ytvågen rör sig utmed jordens yta och påverkas av dess ledningsförmåga och dielektriska egenskaper. För marina kortvågs tillämpningar är ytvåg dominant genom att havsvattens ledningsförmåga är så hög. Över 30 MHz kommer direktvågen att vara dominerande.

## Vertikal polarisation

Vertikal polarisation är allena rådande för ytvågs kortvågsförbindelser över hav [4]. Det beror inte enbart på att antennerna är lätta att montera på ett fartyg vertikalt utan även på fysikaliska principer. Den horisontella polarisationen har betydligt högre utbredningsdämpning över hav. En enkel förklaring är att E-vektorn vid horisontell polarisation är parallell med ytan och därmed växelverkar (inducerar) en ström som ger upphov till värmeförluster. Vid vertikal polarisation är E-vektorn vinkelrät mot ytan och detta sker ej. Notera att detta gäller nära ytan i förhållande till frekvensen. För marina tillämpningar är dock detta påtagligt.

Teorin bakom detta är komplex och behandlas ej i denna rapport. Däremot finns en simulering i bilaga 2 över skillnaderna i utbredningsdämpning vid vertikal och horisontell polarisation med programmet GRWAVE.

Simuleringen gäller för Östersjön vid frekvensen 2 MHz och antennhöjderna 20m. Här är ett kort utdrag av resultatet,

| Avstånd<br>[km] | Vertikal polarisation<br>Sträckdämpning [dB] | Horisontell polarisation<br>Sträckdämpning [dB] |
|-----------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 5               | 52                                           | 89                                              |
| 20              | 64                                           | 114                                             |
| 50              | 73                                           | 130                                             |
| 100             | 81                                           | 144                                             |

**Tabell 1. Sträckdämpning för olika avstånd och polarisation över Östersjön vid 2MHz**

Resultatet är slående, vid 100 km förbindelseavstånd är dämpningen 63 dB högre för horisontell polarisation!

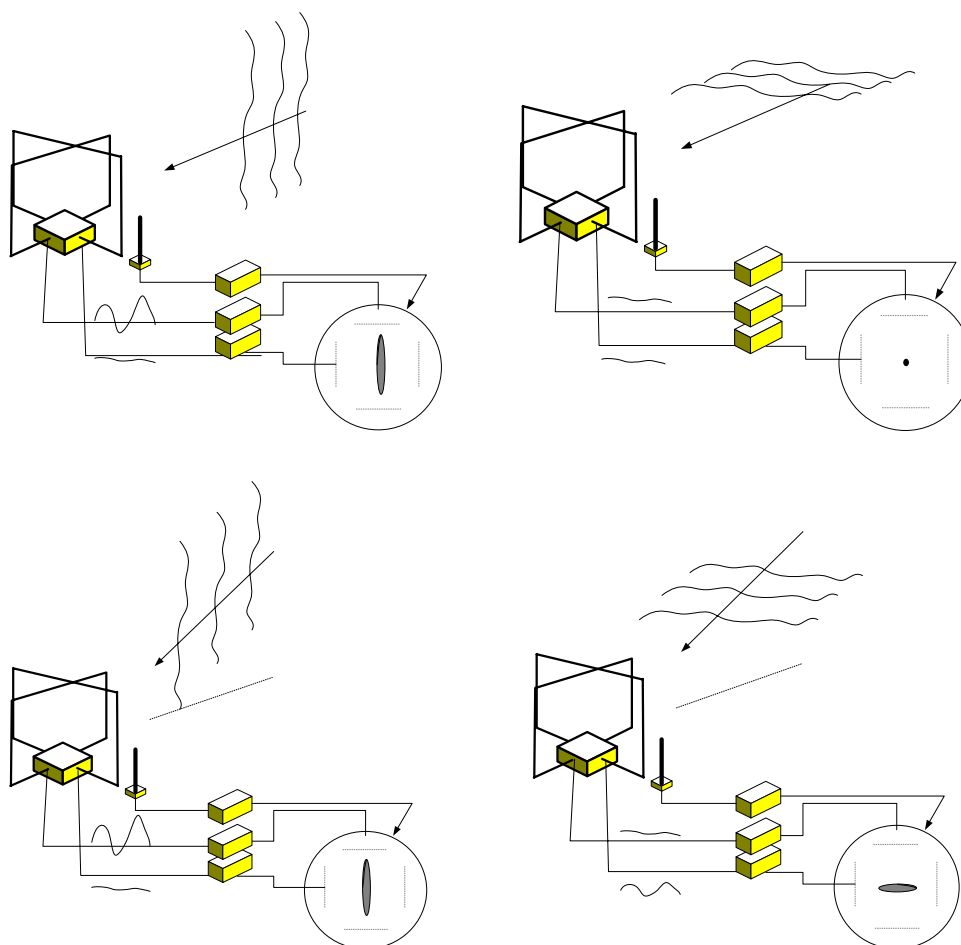
## Loop- och ferritantenner

Loopantennen är en kompakt antenn som består av två ortogonala (korslagda 90 grader) loopar. Ferritantennen har två eller fler ortogonala ferritstavar med antennlindningar. Fördelen med ferrit är att de på låga frekvensområden är kompakta och ändå har ganska hög känslighet i förhållande till storleken. En sense antenn (omnidirectional receiving antenna) används för att lösa upp mångtydigheten tillsammans med båda dessa antenner. Den generella formeln för utspänningen som en (ej två korslagda) loopantenn producerar är [11],

$$V = \frac{K}{\lambda} E [\sin \phi \cos \psi - \cos \phi \cos \theta \sin \psi] \quad (1)$$

|           |                                                                                                                                                                             |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| K         | konstant beroende på loopens area och antal varv ( $2\pi \cdot \text{antal varv} \cdot \text{area}$ )                                                                       |
| $\lambda$ | våglängd [m]                                                                                                                                                                |
| E         | Elektrisk fältstyrka hos infallande våg [V/m]                                                                                                                               |
| $\phi$    | azimut för infallande bäring jämfört med normalen till loopen                                                                                                               |
| $\theta$  | elevationsvinkel räknad med 0 grader rakt upp och 90 grader för ytvåg (!)                                                                                                   |
| $\psi$    | Polarisationen räknad som "tilt"-vinkeln mellan E-fältet och vertikalkplanet som är normal till loopen. Vertikal polarisation: 0 grader Horisontell polarisation: 90 grader |

Formel (1) visar på att man får problem med två korslagda antenner och icke ytvågssignaler (dvs.  $\theta < 90$  grader) som har elevation. Detta illustreras i figur 2.



**Figur 2. Loopantenn vid vertikal respektive horisontell polariserad våg. De två undre bilderna visar när infallande våg dessutom har en elevation av 45 grader. Indikatorn kommer att visa 90 grader fel för horisontell polarisation.**

Om den infallande vågen är **Vertikalt polariserad** ( $\psi=0$ ) kommer man alltid att få rätt bäring oavsett om signalen infaller med elevation ( $\theta$ ) eller ej. Detta illustreras med de båda figurerna till vänster i figur 2. Den term som ger tillskott beroende på elevation blir noll,

$$V = \frac{K}{\lambda} E[\sin \phi \cos \psi - \cos \phi \cos \theta \sin \psi]; \psi=0 \Rightarrow V = \frac{K}{\lambda} E[\sin \phi]$$

Om den infallande vågen är **Horisontellt polariserad** ( $\psi=90$ ) kommer man inte att få någon bäring om signalen infaller som ytvåg utan elevation ( $\theta=90$ ). Om däremot elevationen ligger mellan 0 och 90 grader ( $\theta=0$  till 90) kommer man att få en bäring med 90 graders fel! . Detta illustreras med de båda figurerna till höger i figur 2.

$$V = \frac{K}{\lambda} E[\sin \phi \cos \psi - \cos \phi \cos \theta \sin \psi]; \psi=90 \Rightarrow V = \frac{K}{\lambda} E[-\cos \phi \cos \theta]$$

Eftersom rymdvågen är elliptiskt polariserad<sup>1</sup> går det ej att bestämma dess bäring. Felet ligger i intervallet 0-90 grader. På displayen får man en ellips. Det är vanligt att polarisationen hos en rymdvåg ändrar sig kontinuerligt. Uppmätt bäring kommer att variera, med sekunder till minuter mellan dess ändlagen. En varierande bäring på detta sätt är ett säkert tecken på närvaro av rymdvåg.

Med dagens digitala signalprocessning borde det gå att hantera en kombination av mark och rymdvågsutbredning. Man skulle t.ex. kunna utnyttja det faktum att rymdvågen är ett ”eko” som alltid kommer efter ytvågen. Något som man ofta korrigerar för i bl.a. kortvågsmodem. Författaren har dock ej sett exempel på detta i pejl sammanhang. En ytterligare utvidgning skulle kunna vara att beräkna position med en bäring (single site location, SSL) genom att prognostisera höjden på det skikt där signalen brutits i jonosfären. Detta borde kunna ge en avsevärt bättre positionsbestämning än konventionell SSL. I konventionell SSL måste antensystemet kunna mäta elevationsvinkeln vilket är ganska svårt med tillräcklig noggrannhet för en antenn med liten apertur.

Loopantennerna används för ytvåg och vertikal polarisation. I marin miljö är ytvåg och vertikal polarisation det absolut vanligaste. NVIS och ev. rymdvågs trafik oräknat. Dessutom kommer vid kortare taktiska avstånd det oftast att finnas en ytvågs komponent även om avsändaren ämnar upprätta en rymdvågsförbindelse.

Fältprovet som genomfördes som komplement till detta uppdrag visade dock att man redan vid korta förbindelseavstånd (i detta fall 7 km) mycket väl kan få såväl mark- som rymdvåg. Detta inträffar ofta vid lägre frekvenser när dag blir natt. Tidsskillnaden blir ca 1 ms mellan mark- och rymdvåg vid detta avstånd. När dessa två utbredningsvägar tas emot med korsade loopantennerna får man som förväntat stora (~20 grader) fel på uppmätt bäring. Det syns oftast tydligt på bäringen att man har en rymdvågskomponent med elliptisk polarisation då bäringen mjukt vrider sig fram och tillbaka inom loppet av sekunder.

R&S loopantenn ADD119 som är inköpt till marinen av FMV är avsedd för vertikal polarisation. Maximal antennhöjd anges till  $0,2\lambda$  vilket blir,

| Frekvens<br>[MHz] | Maximal antennhöjd<br>$0,2\lambda$ [m] |
|-------------------|----------------------------------------|
| 1                 | 60                                     |
| 2                 | 30                                     |
| 5                 | 12                                     |
| 10                | 6                                      |
| 15                | 4                                      |
| 30                | 2                                      |

**Tabell 2. Maximal antennhöjd för loopantenn ADD119.**

<sup>1</sup> Elliptisk polarisation är en kombination av horisontell och vertikal polarisation som varierar över tiden.

Nära marken och i synnerhet på lägre frekvenser är vertikal polarisation förhärskande vid ytvågsutbredning [10]. Detta är antagligen skälet till ovanstående angivna maximala antennhöjd – man vill ”skydda” antennen mot horisontalpolariserade vågor. En nackdel blir att man får kort avstånd till radiohorisonten med låg antennhöjd särskilt vid högre frekvenser på kortvågsbandet.

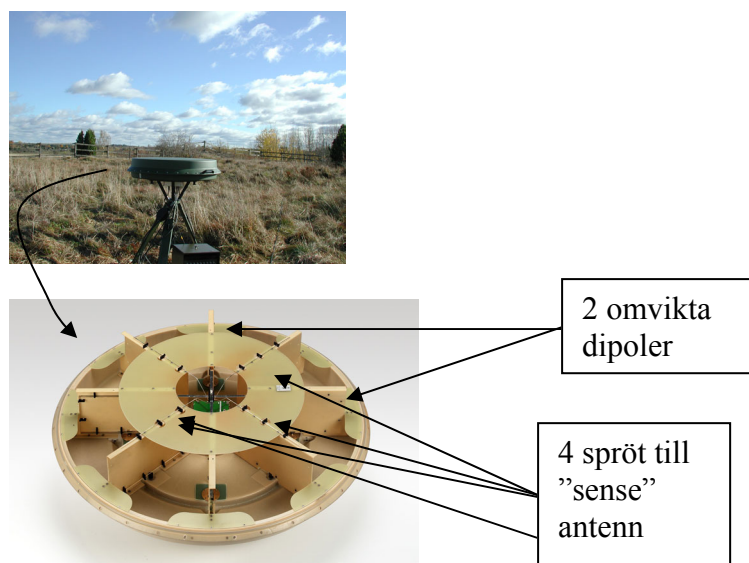
Genom att loop- och ferritantenner mäter H-fältet kommer de ej att vara så känsliga för elektriska störningar i närmiljön på t.ex. ett fartyg. Antennerna kan utformas med låg impedans och de är möjliga att skärma av från kapacitiva kopplingar till ombordvarande störkällor.

## Olika pejlantenner - exempel

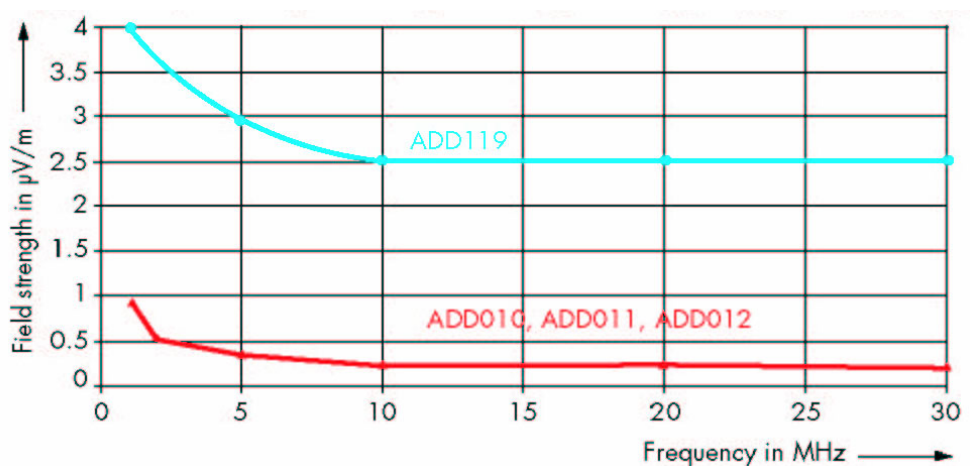
Känslighet för ett antennsystem anges ofta i fältstyrka [ $\mu\text{V}/\text{m}$ ] tyvärr slarvas det ibland med att ange vad den angivna fältstyrkan producerar (ex  $10\text{ dB } S+N/N$  i  $1\text{ kHz}$  bandbredd eller för ett system  $1,5\text{ grads}$  bäringsnoggrannhet RMS vid följande inställningar och integrationstider, m.m.).

Nedan följer en uppräknig av några mer eller mindre kända antenner av olika typer och fabrikat och framförallt dess olika känsligheter diskuteras.

### ROHDE & SCHWARZ ADD 119, ADD 010



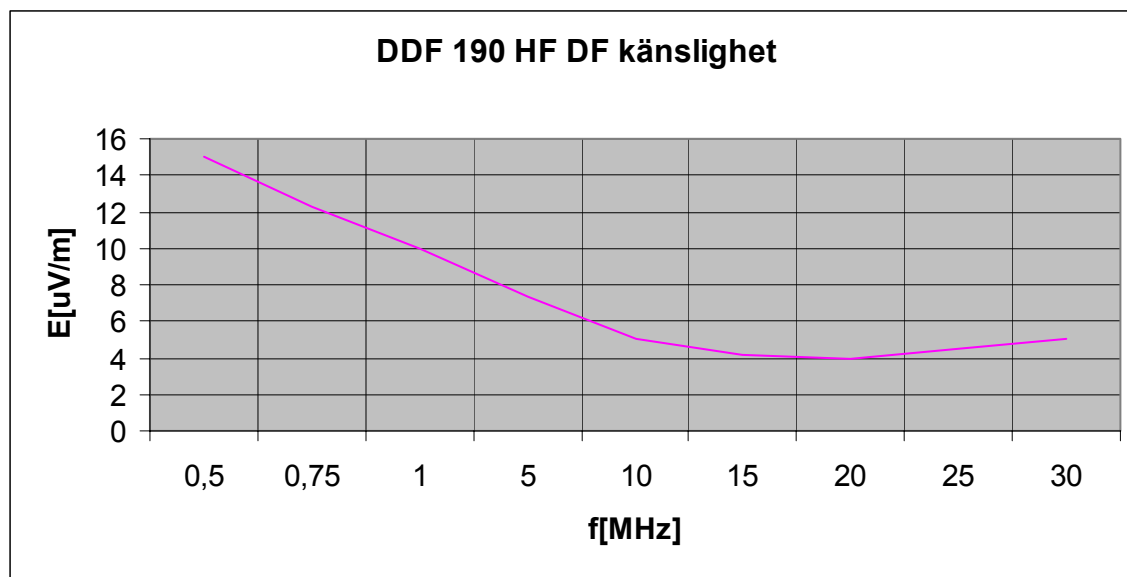
För R&S Antenn ADD 119 (korslagda loopar) anges känsligheten i figur 3 för DF enligt Watson-Watt. Den andra kurvan (ADD 010,...) visar motsvarande för 9-elements cirkulära arrayer och korrelativ DF (detta är av R&S angivna data för 2 graders bärings fluktuerig vid 1s medelvärdesbildning). Redan här syns att skillnaden är ca 10 ggr i fältstyrka vilket motsvarar 20 dB skillnad i känslighet.



Figur 3. Känsligheten hos ADD 119 respektive ADD 010, ur R&S datablad.



I manualen till Antenn ADD 119 finns en annan kurva med annan känslighet. Denna gäller för noggrannhet: <5 grader RMS, 5 s Medelvärdesbildning, 250 Hz Bandbredd uppmätt med enkanalspejlen DDF190.



Figur 4. Känsligheten hos ADD 119 med pejlen DDF 190

Effektäthet är den uteffekt som en isotrop antenn ger vid motsvarande fältstyrka. Omvandling mellan fältstyrka och effektäthet sker med formeln,

$$P[\text{dBmi}] = 20\log(E) [\text{uV/m}] - 77 - 20\log(f) [\text{MHz}] \quad (3)$$

Observera frekvensberoendet. För den första figurens angivna värden för ADD 119 ovan ger detta,

| Frekvens<br>[MHz] | Fältstyrka<br>[uV/m] | Motsvarande effektäthet<br>[dBmi] |
|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 4                    | -65                               |
| 5                 | 3                    | -81                               |
| 10                | 2,5                  | -89                               |
| 15                | 2,5                  | -92                               |
| 20                | 2,5                  | -95                               |
| 25                | 2,5                  | -97                               |
| 30                | 2,5                  | -99                               |

Tabell 3. ADD 119 Minsta signalnivå för "2% bearing fluctuation, 1s averaging" från Figur 3.

För den andra figurens data för ADD 119 ger detta,

| Frekvens<br>[MHz] | Fältstyrka<br>[uV/m] | Motsvarande effekttäthet<br>[dBm] |
|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 10                   | -57                               |
| 5                 | 7,5                  | -74                               |
| 10                | 5                    | -83                               |
| 15                | 4,5                  | -88                               |
| 20                | 4                    | -90                               |
| 25                | 4,5                  | -92                               |
| 30                | 5                    | -93                               |

**Tabell 4. ADD 119 Minsta signalnivå för <5 grader RMS vid 5s medelvärde, 250 Hz bandbredd med mottagare DDF 190 från Figur 4.**

Den stora 9-elements arrayen (ADD 010,011,012) har motsvarande värden,

| Frekvens<br>[MHz] | Fältstyrka<br>[uV/m] | Motsvarande effekttäthet<br>[dBm] |
|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 1                    | -77                               |
| 5                 | 0,4                  | -99                               |
| 10                | 0,25                 | -109                              |
| 15                | 0,25                 | -113                              |
| 20                | 0,25                 | -115                              |
| 25                | 0,25                 | -117                              |
| 30                | 0,25                 | -119                              |

**Tabell 5. ADD 010 Minsta signalnivå för "2% bearing fluctuation, 1s averaging" från Figur 3.**

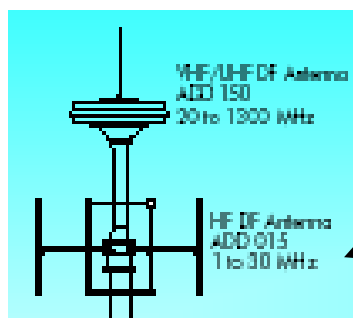
En jämförelse mellan dessa två antenner med samma förutsättningar för noggrannhet bandbredd et c. ger,

| Frekvens<br>[MHz] | ADD119<br>[känslighet dBm] | ADD 010<br>[känslighet dBm] | Skillnad i känslighet<br>[dB] |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1                 | -65                        | -77                         | 12                            |
| 5                 | -81                        | -99                         | 18                            |
| 10                | -89                        | -109                        | 20                            |
| 15                | -92                        | -113                        | 21                            |
| 20                | -95                        | -115                        | 20                            |
| 25                | -97                        | -117                        | 20                            |
| 30                | -99                        | -119                        | 20                            |

**Tabell 6. Jämförelse mellan ADD 119 och ADD 010 med samma förutsättningar**

En skillnad på 20 dB till det större antensystemets (ADD 010) fördel vid de flesta frekvenser. Notera att fördelen för ADD 010 minskar vid lägre frekvenser, något som inte syns på samma sätt i figur 3 när man jämför fältstyrkan.

## ROHDE & SCHWARZ ADD 015



ADD 015 underst i en typisk installation med VHF DF antenn [13].

R&S har även ett antennsystem ADD015 med en diameter på 1,9 m och en höjd på 80 cm. I figuren visas typisk fartygsinstallation i kombination med VHF antenn ADD150. Centrerat kring masten sitter fyra loopantennar. Principen för bäringsmätning kan vara Watson-Watt<sup>2</sup> eller vektor korrelation mot tabell. Man väljer metod (Watson-Watt eller korrelation) beroende på frekvensområde. Om det är ett frekvensområde med små fel i det infallande fältet nyttjas Watson-Watt då den är mera effektiv. Författaren tycker detta låter lite konstigt, om man har en fungerande korrelativ pejl vilka nackdelar får man då som man ej har med Watson-Watt?

Den omnidirektionella sense-antennen kan extraheras ur summan av de fyra looparna eller med hjälp av ett tre sense antenner som är monterade 5m lägre än looparna. Genom detta förfarande säger man sig minska problemen med fel i sidobestämningen.

Exempel på bärings noggrannhet för denna antenn i fartygsinstallation ges senare i rapporten under kapitlet ”Pejlfel beroende på antennens omgivande miljö”.

Känsligheten för denna antenn är för noggrannheten 3 grader RMS med 1 kHz bandbredd och 1s medelvärdesbildningstid i inställningen fixed freq. mode med mottagarsystemet DDF på CW signal.

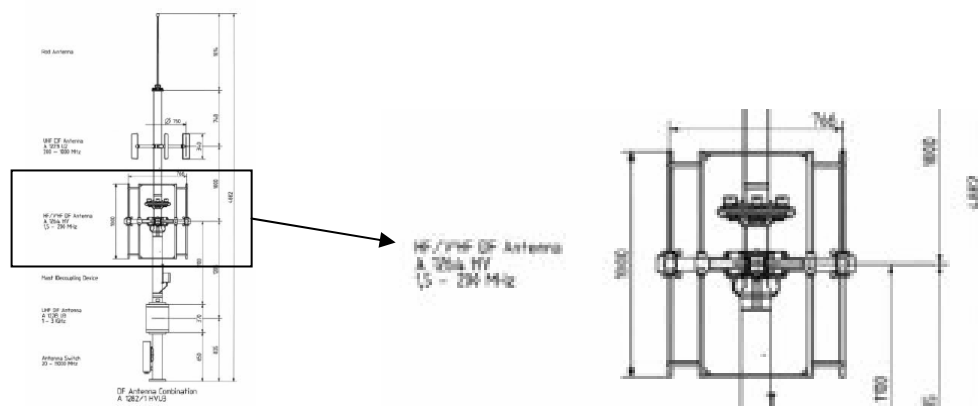
| Frekvens<br>[MHz] | Fältstyrka<br>[uV/m] | Motsvarande effekttäthet<br>[dBm] |
|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 316                  | -27                               |
| 5                 | 28                   | -62                               |
| 10                | 10                   | -77                               |
| 15                | 9                    | -81                               |
| 20                | 8                    | -85                               |
| 25                | 6                    | -89                               |
| 30                | 6                    | -91                               |

**Tabell 7. ADD 015 Minsta signalnivå för 3 grader RMS med 1 kHz bandbredd och 1s medelvärdesbildningstid**

Data för denna antenn är ej bekräftade. Notera den dåliga känsligheten vid låga frekvenser (1-5 MHz)

<sup>2</sup> De två motstående looparnas signaler adderas vilket ger ett antenndiagram som motsvarar det från en enkel korslagd loop

## EADS EWATION (MRCM) - MRA 1282 HVU2



**Figur 5. MRA 1264 i typisk fartygsinstallasjon med andra sis antenner.**

MRA 1282 HVU3 antennarray innehåller HF antennen MRA 1264 HV se figur 5.

Höjden är 100 cm och diametern (diagonalen) 98 cm.

Frekvensområdet för 1264 är 1.5 (1.0) MHz to 200 MHz.

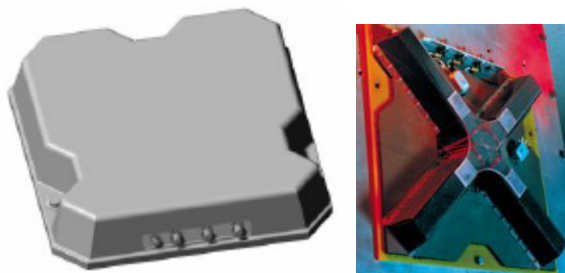
Antennen är utformad för bäringsmätning på vertikalt polariserade signaler. Man använder loopantennerna och Watson-Watt principen för kortvåg. I denna antenn (MRA 1264) är också integrerat en H-adcock antenn för VHF området upp till 200 MHz.

Känsligheten för S+N/N=10 dB i 600 Hz Bandbredd anges till,

| Frekvens<br>[MHz] | Fältstyrka<br>[uV/m] | Motsvarande effekttäthet<br>[dBm] |
|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 1                 | 14                   | -54                               |
| 2                 | 8                    | -65                               |
| 5                 | 4                    | -79                               |
| 10                | 3                    | -87                               |
| 15                | 3                    | -91                               |
| 20                | 3,5                  | -92                               |
| 25                | 3,5                  | -94                               |
| 30                | 4                    | -95                               |

**Tabell 8. MRA 1264 Minsta signalnivå för S+N/N=10 dB med 600 Hz bandbredd.**

## SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE AS-141



Typen är korslagda ferriter (Passive Crossed Ferrite Core Loop)

Frekvensområde 0.5 till 30 MHz.

Vikt 27 kg

Storlek 520x520x90 mm

Referens, datablad: [swri.org](http://swri.org) 99P029A/LB

| Frekvens<br>[MHz] | Fältstyrka<br>[uV/m] | Motsvarande effekttäthet<br>[dBmi] |
|-------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1                 | 100                  | -37                                |
| 2                 | 25                   | -55                                |
| 10                | 10                   | -77                                |
| 19                | 4                    | -90                                |
| 30                | 5                    | -93                                |

**Tabell 8. AS-141 Minsta signalnivå för 10 dB S+N/N i 3 kHz bandbredd**

Antennen är tänkt att användas för vector matching (SWRI, "Beam steering vector match (BSVM) algorithm") med 6 till 8 antenner på ett fartyg.

## PLATH FRA 830.10



Plaths maritima antenn FRA 830.10 är en korsad loop med cirkulära loopar vars diameter är 83 cm. Frekvensområde 0,2-30 MHz med aktiv förstärkning från 1,5 MHz och uppåt. Noggrannheten anges till 1,5 grader RMS. Och känsligheten anges vid 500 Hz bandbredd för ett okänt S+N/N till,

| Frekvens [MHz] | Fältstyrka [uV/m] | Motsvarande effekttäthet [dBmi] |
|----------------|-------------------|---------------------------------|
| 1              | 5,5               | -62                             |
| 5              | 1,7               | -86                             |
| 10             | 1,2               | -95                             |
| 15             | 0,8               | -102                            |
| 20             | 0,7               | -106                            |
| 25             | 0,6               | -109                            |
| 30             | 0,5               | -113                            |

Tabell 9. FRA 830.10 Minsta signalnivå för 1,5 grader RMS fel

## PLATH FA 320



Figur 6. FA 320 här sedd utan skyddskåpa.

FA 320 är en gammal Antenn från slutet av 60-talet. Antennen användes i försvarets mobila kortvågspejlar placerade på taket av en Volvo "valp". Principen är korslagda ferriter med ett frekvensområde på 1-30 MHz. Storleken är 1100x1100x200 mm. Vikten är 43 kg. Denna antenn har parallellkopplade dubbla ferritstavar dvs. totalt 4 st. Arrangemanget ger högre känslighet. Avståndet mellan ferritstavarna som är parallellkopplade är ca 200 mm. För att göra sidobestämning används en 750 mm lång stavantenn placerad centralt (ej med på bild).

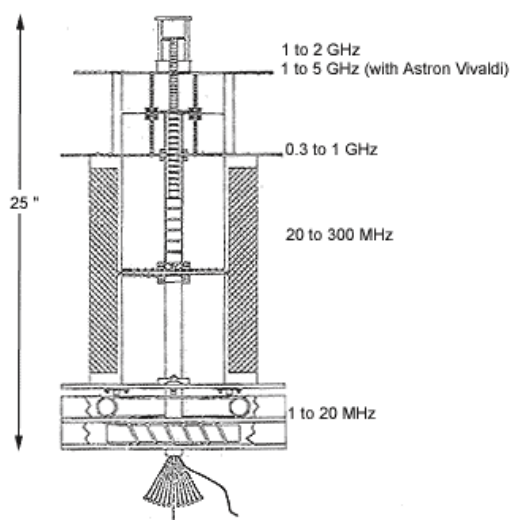
Angivna värden för 10 dB S/N i okänd bandbredd uppmätta med (den nu gamla) pejlmottagaren SFP 500.

| Frekvens [MHz] | Fältstyrka [uV/m]<br>För 10 dB S/N | Motsvarande effekttäthet [dBmi] |
|----------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 1              | 14                                 | -54                             |
| 5              | 7                                  | -74                             |
| 10             | 5                                  | -83                             |
| 15             | 4                                  | -88                             |
| 20             | 7                                  | -86                             |
| 25             | 12                                 | -83                             |
| 30             | 11                                 | -85                             |

Tabell 10. FA 320 Minsta signalnivå för S/N=10 dB

## ASTRON DF-1200

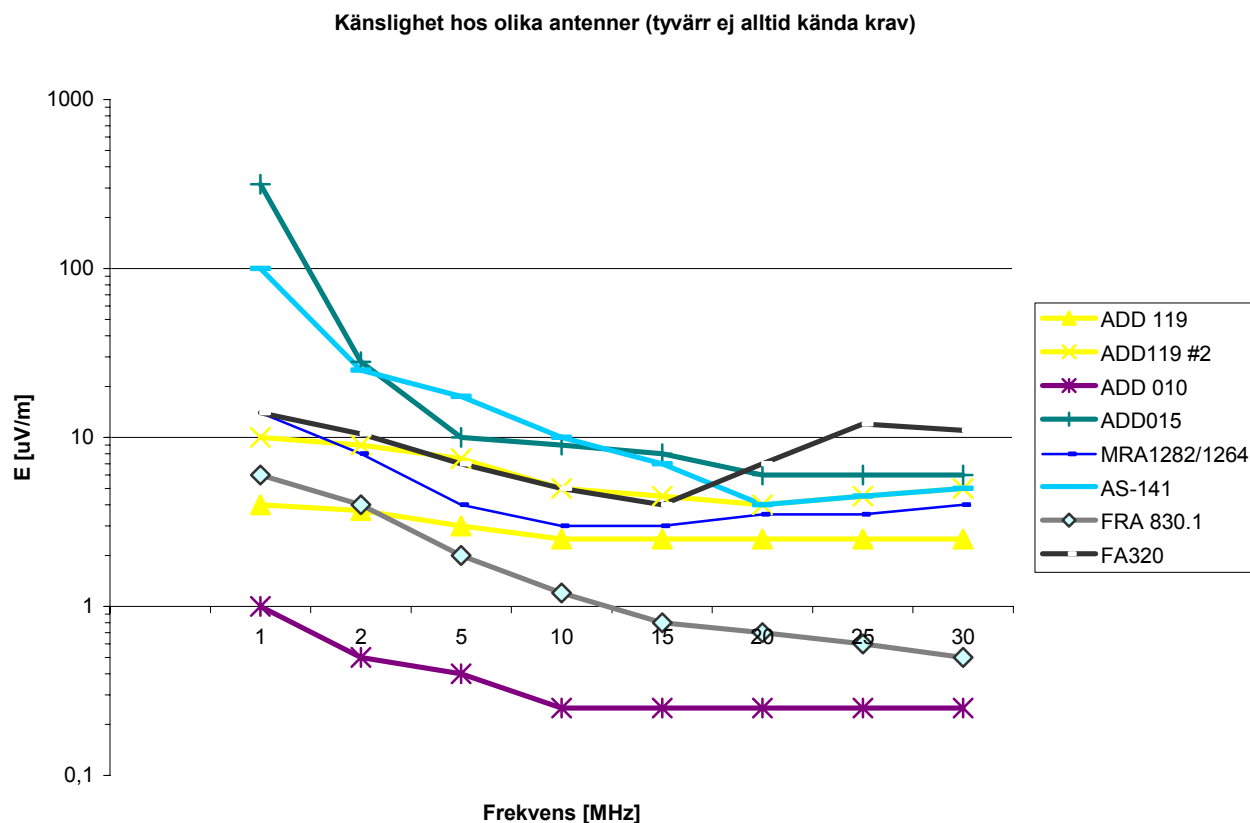
Ett exempel på en extremt liten antenn är Astron DF-1200. Bredden på denna antenn är endast 12'' motsvarande 30,5 cm. Antennen är avsedd för montage på teleskopantenn på ubåtar. Känsligheten för 1-20 MHz anges ligga mellan -80 till -55 dBmi för okänt SNR och bandbredd.



Underst syns antennerna för frekvensområdet 1-20 MHz. Av utseendet kan man gissa att det är korslagda ferritantenner som används.

I figur 7 sammanfattas känsligheten hos alla i rapporten uppräknade antenner utom U-båtsantennen från Astron. Tyvärr verkar inte direkta jämförelser var tillförlitligt delvis beroende på de olika förutsättningar tillverkarna mätt under (bandbredd, SNR m.m.). Att Plaths FRA 830.1 som är en korslagd loop skulle ha så god känslighet är också det ett frågetecken.

Trenden som man kan se i diagrammet, att ferritantenner och korslagda loopar generellt har låg känslighet jämfört med aktiva cirkulära arrayer är naturlig och ett estimat på skillnaden är kan utläsas till ca 20 dB till den stora arrayens fördel. Detta var tänkt att verifieras i fältprovet men tyvärr fick detta utgå då mjukvaran ej var implementerad i det levererade systemet.



**Figur 7. Sammanfattning av de olika pejlantennernas känslighet**

Direkta jämförelser av dessa angivna värden är ej alltid korrekt då tillverkarnas förutsättningar varit olika.

En skillnad på 10 ggr i fältstyrka motsvarar 20 dB i skillnad på känslighet.



## Erfarenheter från Fältprov med ADD 119 och FA 320

I samband med detta uppdrag genomfördes också ett fältprov på två antenntyper från R&S där tyvärr den ena antennen ej var funktionsduglig varför vissa intressanta data ej kunnat verifieras bl.a. mellan stor och liten apertur. En del av tiden gick istället åt att få det beställda R&S systemet så bra levererat som möjligt för att senare kunna vinna erfarenheter. En jämförande mätning mellan ADD 119 och FA 320 genomfördes dock som presenteras här.

Känsligheten hos enbart antennen ADD119 mättes genom att den styrdes och strömförsörjdes från pejlmottagarsystemet DDF 06 men RF signalen togs ut direkt efter antennen och mättes vid olika frekvenser. Motsvarande gjordes för ferritantennen FA 320 från Plath. Denna antenn var dock helt passiv och inga förstärkare användes. En missanpassning vid mätningen från denna antens 100 Ohms impedans till 50 Ohms system gjorde inte heller livet lättare för denna antenn som kan ges bättre förutsättningar<sup>3</sup>.

Jämförelse gjordes med en tunn vertikal stavantenn. Testsändarens infallande våg var vertikalpolariserad. Båda antennerna har relativt stavantennen dålig känslighet. De skiljer sig i känslighetens karakteristik över frekvensområdet.

|                  | <b>ADD 119</b> (korslagda loopar)    | <b>FA 320</b> (korslagda ferriter)   |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Frekvens</b>  | Känslighet jämfört med 5m stavantenn | Känslighet jämfört med 5m stavantenn |
| <b>1-10 MHz</b>  | -40 dB                               | -30 dB                               |
| <b>10-30 MHz</b> | -10 dB                               | -40 dB                               |

**Tabell 11. Känslighetsjämförelse mellan loopantennen ADD 119 och ferritantennen FA 320**

## Vilken känslighet behöver en fartygspejl

Från tillverkarnas angivna data för känslighet hos pejlantennerna ansätts en antagen nödvändig fältstyrka vid olika frekvenser. Vi utgår dessutom från att fientlig sändare har vertikal polarisation med den utstrålade effekten 100W respektive 1W i en kort vertikalantenn av typisk marin konstruktion. Detta kan motsvara ca 500W resp. 5 W inmatad effekt. Typiska värden för Östersjön ansätts för att bestämma räckvidder. Mycket ungefärliga värden kan se ut som nedan. Notera att högra kolumnen är över ganska torr mark och är medtagen som jämförelse.

| Frekvens [MHz] | Antagen nödvändig fältstyrka för bäringsbestämning [uV/m] | Maximalt avstånd för bäring vid uteffekt 100W [km] | Maximalt avstånd för bäring vid uteffekt 1W [km] | Maximalt avstånd för bäring vid uteffekt 100W [km]<br>Över mark – som jämförelse |
|----------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | 100                                                       | <b>300</b>                                         | <b>80</b>                                        | <b>20</b>                                                                        |
| 5              | 40                                                        | <b>300</b>                                         | <b>150</b>                                       | <b>15</b>                                                                        |
| 10             | 30                                                        | <b>200</b>                                         | <b>120</b>                                       | <b>10</b>                                                                        |

**Tabell 12. Maximala avstånd för bäringsbestämning vid olika frekvenser, krav på fältstyrka och uteffekter över Östersjön samt mark. Ur kurvor från CCIR [3],[4], bilaga 1.**

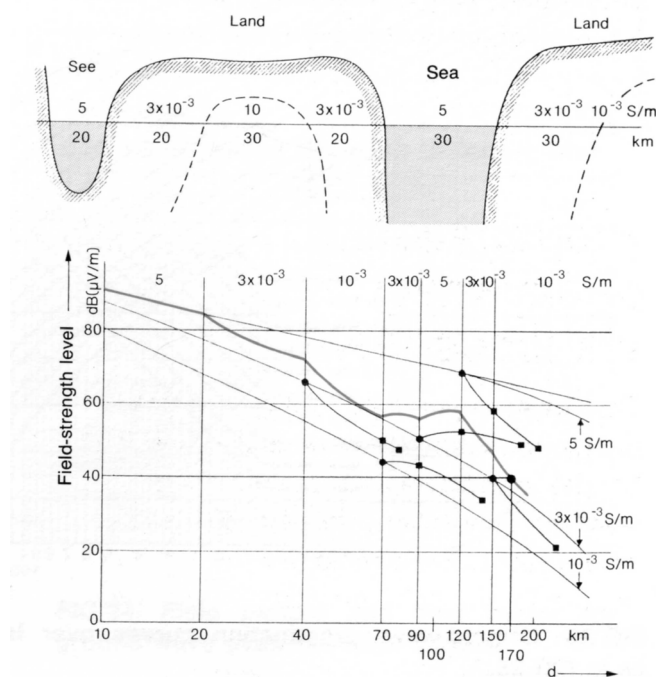
Tabellen ovan kan tolkas som att alla uppräknade antenners känslighet är tillräcklig, då de ger långa räckvidder. Detta skall dock tas med en stor nypa salt då det i verkligheten krävs större marginaler i t ex SNR än 10 dB för att hantera interferens från andra sändare, ogynnsamma antennplaceringar hos både sändare och sis, et c.

Fältprovet gav också denna känsla att mer signalstyrka krävs än vad som anges för att pejlsystemet skall ge goda data. Dock var medelvärdes funktionen ej implementerad så kvantisering av detta antagande kan ej göras mot angivna data. En ökad medvetenhet om signalspaningsshotet bör också göra att man nyttjar effektanpassning på medelssidan varför känsligheten hos antennen ej skall negligeras.

<sup>3</sup> SNR (signal+brus/brus) för stavantennen är ca 75 dB och för ferritantennen 65 dB under denna mätning, vilket ger en antydning om att en bättre anpassning och förstärkning kan ge denna antenn något bättre prestanda.

## Kortvågens utbredningsdämpning i vår skärgårdsmiljö

Utbredning över hav som ytvåg är ganska enkel att modellera. Den miljö som finns vid kusten särskilt i skärgård blir besvärligare. Lägst dämpning fås vid utbredning över saltvatten störst dämpning fås vid utbredning över stenbunden bergig terräng [2]. Ju högre frekvensen är desto mer dämpas vågen. Storleken av dämpningen är i princip dygns och årstidsberoende inom 1-30 MHz. Eventuell vegetation har ingen inverkan på dämpningen. Vid låga frekvenser kan även skogen betraktas som genomskinlig när det gäller dämpning.



Figur 8. Fältstyrka över hav och land. Frekvens 0,7 MHz från [4]

Figur 8 Fältstyrkan avtar kraftigt över land. Notera dock att en viss "återtagning" sker när vågen kommer ut över hav igen [4]. Detta är märkbart även vid högre frekvenser än som i figuren 0,7 MHz.

E-vektorn lutar framåt i utbredningsriktningen nära ytan/marken pga. förluster. Lutningen ökar med frekvensen. Om den t.ex. är 10 grader vid 0,5 MHz uppgår den till 14 grader vid 4 MHz.

## Pejlfel

För pejlfel, här definierat som fel i bäringsinmätning, kan man skilja på systematiska och statistiska. De systematiska kan (skall) korrigeras för. Det absolut enklaste exemplet är när antennen ej är korrekt inriktad mot norr. De statistiska är t.ex. de som beror på vågutbredningen. De kan ej förutsägas men kan ibland anges som ett mått på den sanningshalten (kvalitetsmått) av uppmätt bäring.

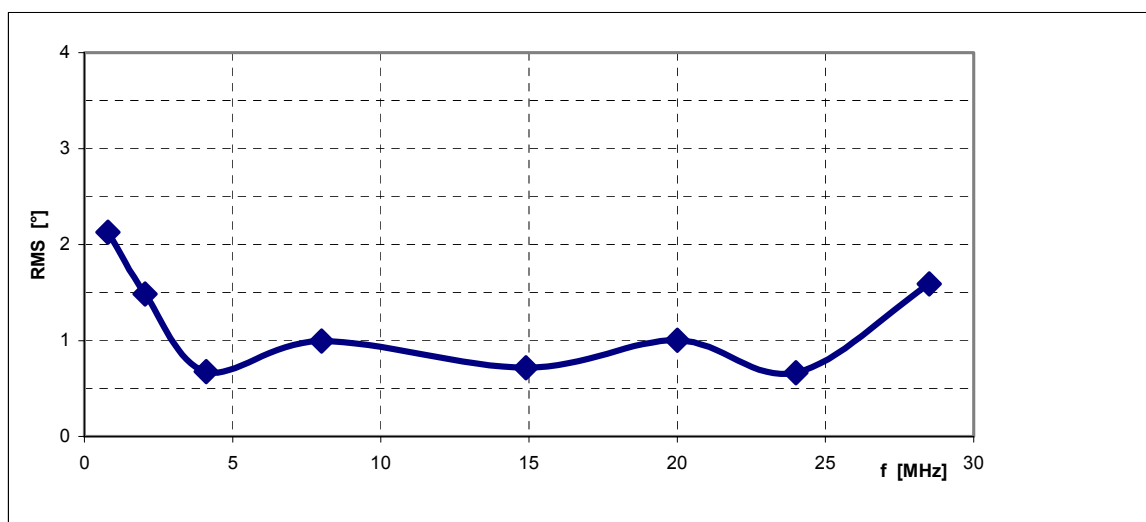
Felet hos en antenn eller ett pejlsystem anges ofta i root mean square (RMS) som definieras enligt [9], [12] m.fl. som,

$$felet_{RMS} = \sqrt{\frac{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \dots + E_n^2}{n}} \quad (4)$$

I formel (4) är E pejlfelet i grader vid infallande bäring n. Om en pejlantenn har några få infallsriktningar med stora fel ger därför RMS ett något trevligare värde att visa upp.

Motsvarande mäter man pejlfelet i grader vid frekvensen n. För ett systems totala RMS värde är det vederhäftigt att mäta alla infallsvinklar (t.ex. var 15:e grad) och upprepa detta vid alla frekvenssteg (t.ex. varje MHz).

Exempel på RMS antennfel hos ADD 119 syns i figur 9.



Figur 9. Antennfel hos ADD 119.

## Instrumentfel

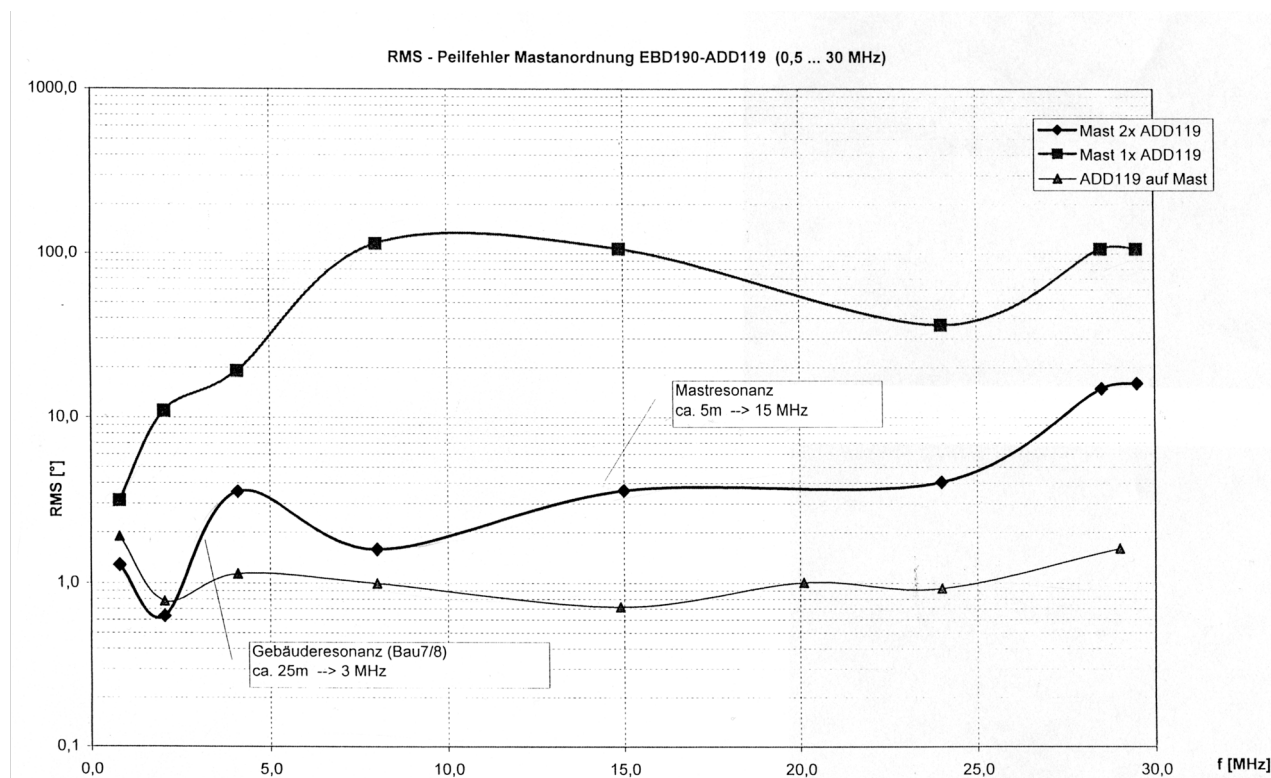
Instrumentfel är det fel som skapas i pejlsystemet. Antingen genom ofullkomligheter i utrustningen eller genom fundamentala fel beroende på pejlsystemet man valt. Oftast är dessa små (ca 1-3 grader). Exempel på instrumentfel är,

- amplitud och fasbalans i mottagaren
- avrundnings och kvantiseringsfel i den digitala signalbehandlingen
- Kvarstående fel beroende på ofullkomlig kalibrering

Det totala instrumentfelet bör vara någon grad efter kalibrering. Att sträva efter bättre noggrannhet i ett taktiskt fall är med hänsyn till storleken hos övriga fel inte nödvändigt.

## Pejlfel beroende på antennens omkringliggande miljö

Pejlfel beroende på pejlens placering är det dominerande felet vid en taktisk kortvågspejl. Ett exempel vid ett verkligt mast montage på en byggnad visas i figur 10. Här syns tydligt hur mycket mer omgivningen ofta kommer att påverka pejlfelet än vad antennen själv har för inneboende karakteristik. Dessa fel är oundvikliga när pejlen placeras på t ex ett fartyg.



**Figur 10 ADD 119 bäringsfel.**

Den undre kurvan "ADD 119 auf Mast" är antennen monterad högst upp i en mast. Felet är som i den tidigare figuren några grader.

Den övre kurvan "Mast 1x ADD119" visar samma antenn monterad en bit ner på masten. Masten går då bredvid antennen (osymmetri) och pejlfelen blir mycket stora, 100 grader!

Den mittersta kurvan "Mast 2x ADD119" visar två ADD 119 monterad en bit ned på masten och sammanvägda med en särskild utrustning för att minimera felen p.g.a. den osymmetriska monteringen. Felen är ca 10 grader maximalt. En klar förbättring mot tidigare men fortfarande mycket större än de instrumentfel man strävar efter. Om dessa fel är systematiska och kan kalibreras bort framgår ej av detta datablad<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Gebäuderesonanz översätts till byggnadens resonansfrekvens. Detta är antagligen höjden på den byggnad som användes vid försöket för att montera masten på.

## Återstrålare

Återstrålare eller reradiation som är den engelska termen är den största källan till fel på fartygsinstallationer enligt [1]

När en elektromagnetisk våg passerar en ledare (som ej är tunn, ej orienterad vinkelrätt mot vågens elektriska fält samt ej avstämd till resonans) kommer den ström som EMK:n driver fram i ledaren ej att ligga i fas med vågens elektriska fält. Strömmen ger upphov till ett fält med samma frekvens som vågens men med ett annat fasläge. Dessa fält vandrar ut från ledaren, vilken nu tjänstgör som en sändarantenn. Ledaren har blivit en återstrålare.

Återstrålaren är starkast när den är en kvarts våglängd och orienterad med samma polarisation. I fartygsapplikationer innebär detta vertikal placering. För t ex 3 MHz blir längden 25m. Tyvärr fungerar även kortare ledare som återstrålare och på fartyg finns oftast ett och annat spröt samt metallkonstruktioner.

Om pejlantennen befinner sig nära återstrålaren tar den emot ett sammansatt fält. Det resulterande fältet kommer att få en vågig fasfront med sinusformade ekvifaslinjer. Amplituden beror på hur effektiv återstrålaren är. Pejlfelet och dess tecken beror på var antennen står uppställd i förhållande till återstrålaren. Störst blir pejlfelet om återstrålaren står vinkelrätt mot pejlriktningen i höjd med pejlen.

Notera att t.o.m. ett vått (gärna av saltvatten) plastspröt, eller en våt bergssida fungerar som återstrålare. Störst effekt får detta dock vid högre frekvenser [2].

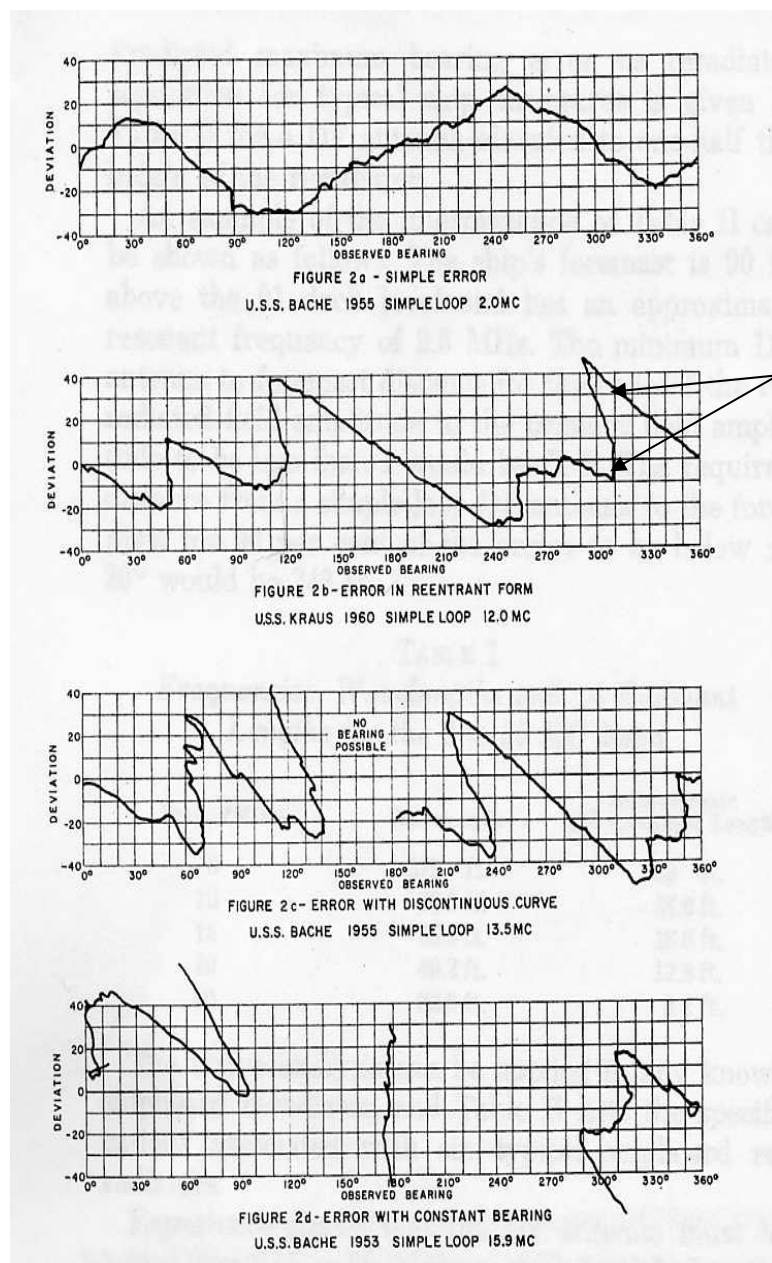
Enligt [9] är problemen störst på fartyg vid frekvenserna 4-18 MHz. Kvartsvåglängderna vid dessa frekvenser är 4-20m.

Nära stora komplexa metallstrukturer kan återstrålaren vara starkare än direktvågen (!) vilket i många fall gör DF omöjlig [1]. Vid mindre strukturer som är statiska (ej roterande radarantennar t.ex.) kan dessa kalibreras för. Ett problem i detta fall kan vara spröt/stavantenner som är anslutna till en avstämningsenhet och därigenom möjligen kan få olika resonansfrekvenser.

Kalkylerade värden för minimum avstånd till olika strukturer ur [1],

|                     |                                                     |                                   |                                                                                                   | Avstånd DF-antenn (enkel loop) till återstrålare för 95% av felen att hamna inom <sup>1</sup> , [m] |        |        |
|---------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
| Typ av återstrålare | Återstrålarens vertikala höjd över däck (längd) [m] | Resonansfrekvens Ungefärlig [MHz] | Min. avstånd DF-antenn till återstrålare för samma amplitud på direktvåg som återstrålad våg. [m] | +/-45°                                                                                              | +/-20° | +/-10° |
| Förmast             | 30                                                  | 2,5                               | 24                                                                                                | 48                                                                                                  | 83     | 162    |
| Tripod              | 20                                                  | 4,2                               | 16                                                                                                | 32                                                                                                  | 55     | 108    |
| Brygga              | 13                                                  | 6,2                               | 10                                                                                                | 21                                                                                                  | 37     | 72     |
| Sprötantenn         | 5                                                   | 15                                | 4                                                                                                 | 7                                                                                                   | 13     | 23     |
| Sprötantenn         | 3                                                   | 25                                | 2                                                                                                 | 4                                                                                                   | 8      | 14     |

I figur 11 nedan syns avvikelser från korrekt värde varvet runt olika fartyg vid olika frekvenser [1]. Notera att redan i andra kurvan uppifrån är felen så stora att de ej kan kompenseras för.



Den översta kurvan (2a) är uppmätt vid 2 MHz och uppvisar ett ganska enkelt fel att kompensera för även om avvikelserna är uppemot 30 grader midskepps fartyget.

Den andra kurvan uppifrån (2b) uppvisar multipla bäringar. Det som händer är att om målsändaren rör sig konstant medurs så kommer uppmätt bäring att i detta fall backa tillbaka för att sedan snabbt gå framåt. Detta är inte möjligt att kompensera för ett infall på t.ex. 300 grader kan ge två olika resultat.

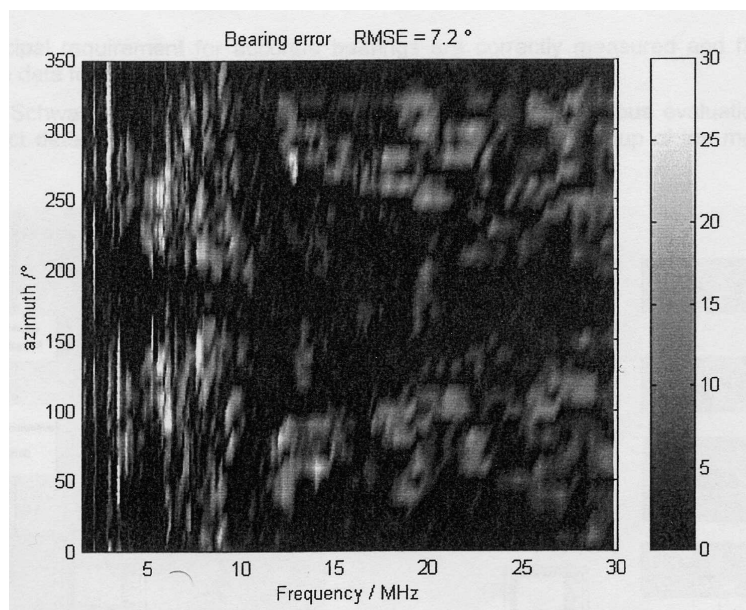
Den tredje kurvan uppifrån (2c) har dessutom ett avbrott där man överhuvudtaget inte lyckas fastställa en estimat på infallande bäring. Detta är samma fartyg som i kurva (2a) men högre frekvens 13,5 MHz.

Den understa kurvan (2d) har de ovanstående felen samt en infallssektor akterifrån som ger en konstant bäringsestimater på ca 180 grader oavsett verklig infallsvinkel. Det kan t.ex. uppstå om en stark återstrålar finns akter om DF antennen. Detta är samma fartyg som i kurva (2a) och (2c) men högre frekvens 15,9 MHz.

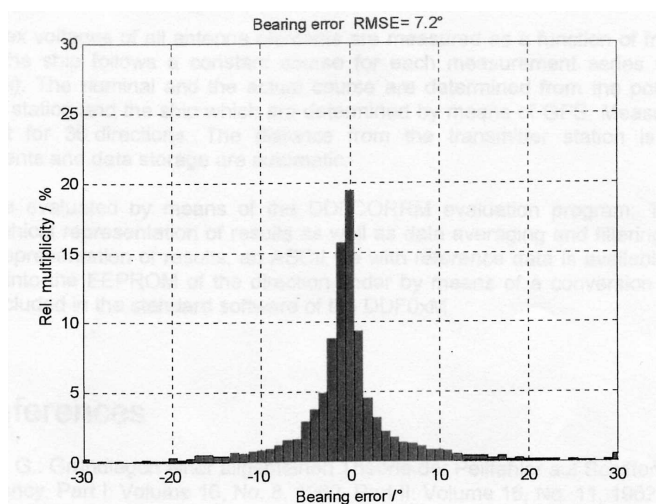
Figur 11. Deviationsmätningar på fartyg ur [1].

I figur 12 visas ett annat exempel som är uppmätt av R&S [13] för ett tvåmastat fartyg. Noterbart är de stora felen (20-30 grader) vid frekvenser under 10 MHz. Antennsystemet är ADD 015 som beskrivs i kapitlet *Olika pejlantenner - exempel*.

Med kalibrering uppges fartygsinstallationen på enmastade skepp uppnå noggrannheten 3 till 5 grader RMS och på tvåmastade som detta upp till 10 grader. Om man studerar felen noggrannare (figur 12, 13) ser man att systemet har stora fel på enskilda frekvenser som ej kan kalibreras. För detta tvåmastade fartyg mäter man upp 7,2 graders fel RMS men enskilda värden särskilt vid 1-10 MHz har fel i storleksordningen 10-30 grader. Dessa fel anger man vara "non-correctable". Om detta är mätvärden med Watson-Watt eller korrelation framgår ej.



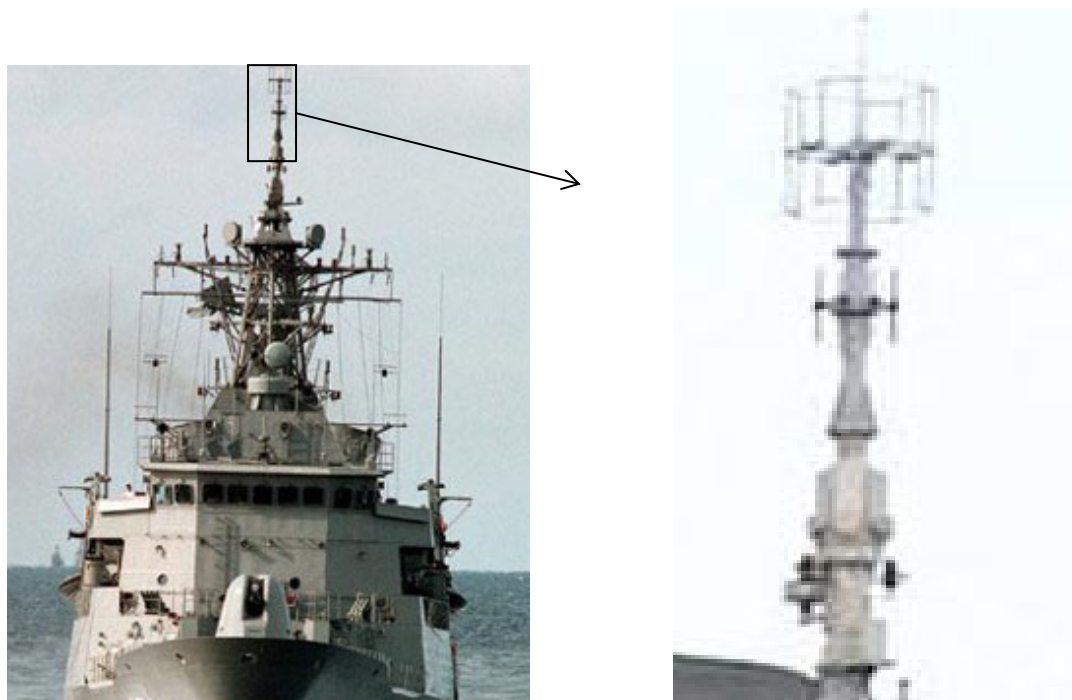
Figur 12. Deviationsmätningar på fartyg [13]. Bäringsfel i gråskala som funktion av bäring och frekvens



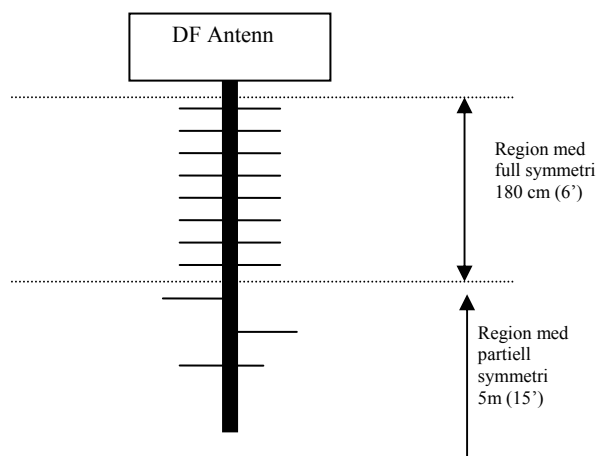
Figur 13. Deviationsmätningar på fartyg [13]. Distributionen av de fel som ger RMS värdet 7,2 grader

## Mastinstallationer på fartyg

Vid mastinstallation är det av yttersta vikt att DF antennen placeras symmetriskt kring masten och att inga osymmetriska metalldelar finns på masten i antennens närhet. En centrerings på 12 mm (1/2 inch) är kravet enligt experiment för att ej få mer än 10 grader fel på grund av detta [1]. Masten måste vara mycket väl jordad i skrovet, helst sömsvetsad. Ett område under antennen på 180 cm måste vara helt symmetriskt för att minimera felen p.g.a. detta till under 20 grader<sup>5</sup>.



Figur 14. Ett exempel på högt montage är fregatter av typen ANZAC.



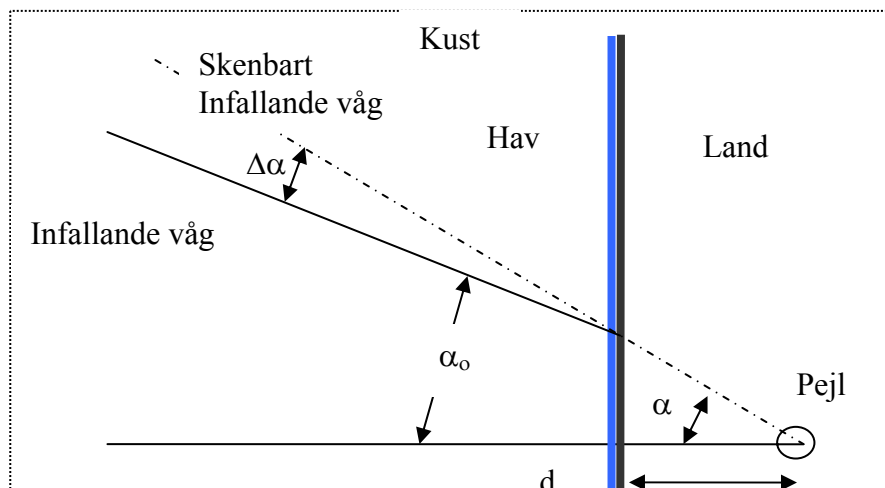
Figur 15. Krav på omgivande miljö vid mastinstallation enligt [1]

<sup>5</sup> Notera att ett fel på 20 grader kan vara systematiskt och kan därigenom till viss del kalibreras bort i detta fall nämns +/-5 grader ner till +/-2grader [1]. Detta gäller särskilt väl vid lägre frekvenser.



## Kustbrytning

När den elektromagnetiska vågen kommer från havet in över land (eller tvärtom) kommer man att få ett pejlfejl  $\Delta\alpha$  enligt figur 16 [3].



Figur 16. Kustrefraktion p.g.a. övergång från hav till land.

Pejlen kommer att mäta pejlwinkel  $\alpha$  p.g.a. brytningen vid övergången från hav till land. Storleken på pejlfelet  $\Delta\alpha$  är,

$$\Delta\alpha = F \sin \alpha_0 / \sqrt{2kd \cos \alpha_0} \quad (5)$$

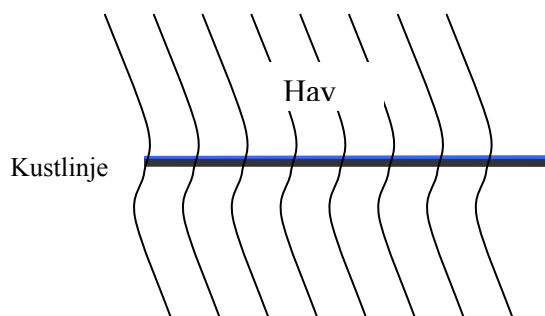
Där  $F$  beror på materialkonstanterna för hav och land. Vid låga frekvenser är  $F = \sqrt{(\epsilon\omega/\sigma_1)}$

Med följande värden och förutsättningar,  
 Brytning mellan Östersjön  
 och torrt land  
 Avstånd mellan kustlinje och pejl  
 Frekvens ( $\omega = 2\pi f$ )  
 Infallsvinkel

$\epsilon = 8,85 \times 10^{-12}$  [F/m]  
 $\sigma_1 = 5 \times 10^{-3}$  [ $1/(\Omega m)$ ]  
 $d = 600$  [m]  
 $f = 1$  [MHz]  
 $\alpha_0 = 60$  [grader]

Blir pejlfelet  $\Delta\alpha = 4,5$  grader

Notera att avståndet från kustlinjen ( $d$ ) påverkar felet om man avlägsnar pejlen från gränsen mellan hav och land minskar felet. Det är alltså endast ett lokalt fel. på vågfronten enligt figur 17 som "rättar till sig" en bit in över land. Vid pejling i skärgård kommer dock detta att ha inverkan på resultatet.



Figur 17. Faslinjer för vågfronten vid snett infall mot en kustlinje.

## Referenser

- 1 Shipboard radio direction finder installation for the 3 to 30 MHz range  
W.M. Sherrill, T.C. Green, D.N. Travers  
Naval Engineers Journal, oktober 1968
- 2 Kompendium i pejlteknik  
PG Persson  
FOA arbetsexemplar, 1970
- 3 Funkpeilteknik  
R.Grabau, K. Pfaff  
Franckhsche Verlagshandlung, Stuttgart, ISBN 3-440-05991-x, 1989
- 4 Propagation of electromagnetic waves  
A. Stark  
Reprint from, News from Rohde & Schwarz Nos 112 to 115, 1986
- 5 Antenna elements for improved shipboard HF direction finding  
G. Mönich  
IEE proceedings vol 134, Pt. F, No 6, oktober 1987
- 6 Technical Information Digital HF/VHF/UHF Direction Finder DDF0xE  
Rohde & Schwarz 8GEP/GE1-08/2001
- 7 Antennteorien och vågutbredning för sändaramatörer  
P. Wallander  
Perant, oktober 1982
- 8 Grundlagen einer allgemeinen Theorie der Peilfehler auf Schiffen, teil 1-3  
G. Ziehm  
Frequenz, Schiele & Schön Verlag, augusti 1962
- 9 Set To Work, Harbour Acceptance Test and Sea Acceptance Test  
R. Brumma  
EADS/EWATION, arbetspapper, 52.xxxx.101.xx PV8, 2001
- 10 Signalspaningsteknik del 1 - Grunder samt radiosignalspaning  
H. Bergdal m.fl.  
FOI Telekrigssystem, oktober 2002
- 11 Small-Aperture Radio Direction Finding  
H.H. Jenkins  
Artech House, ISBN 0-890006-420-2, 1991
- 12 News from Rohde & Schwarz 125,  
Radio Direction Finding (III), 1989
- 13 News from Rohde & Schwarz 162,  
Shortwave Direction Finding on Ships samt särtryck Technical Information 8GEP/8GE4, 1999

## Bilaga1. Dämpningskurvor från CCIR

Dämpningskurvor från CCIR ur [4]

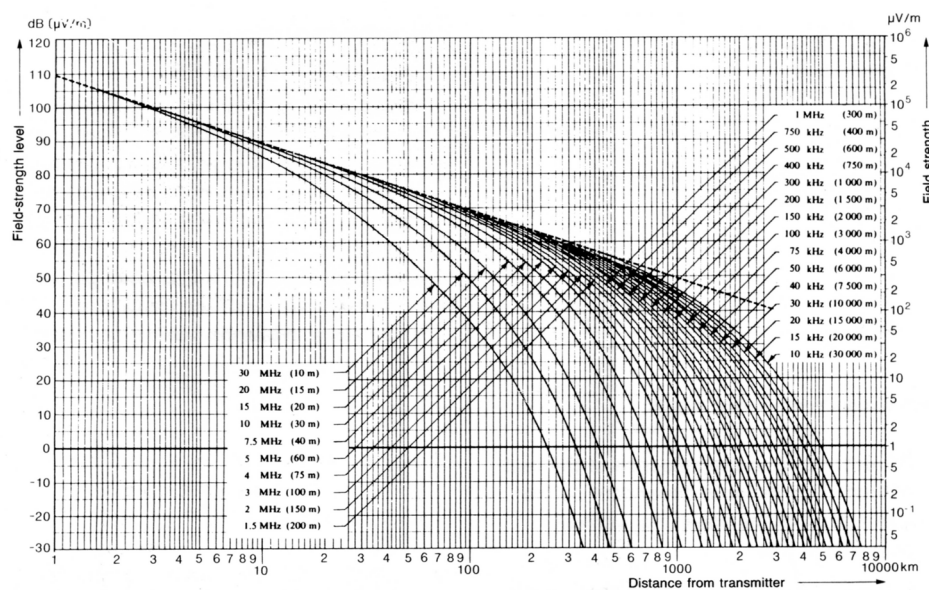


FIG 25 Ground-wave propagation curves over sea water (input power 1 kW into electrically short, lossless vertical antenna).

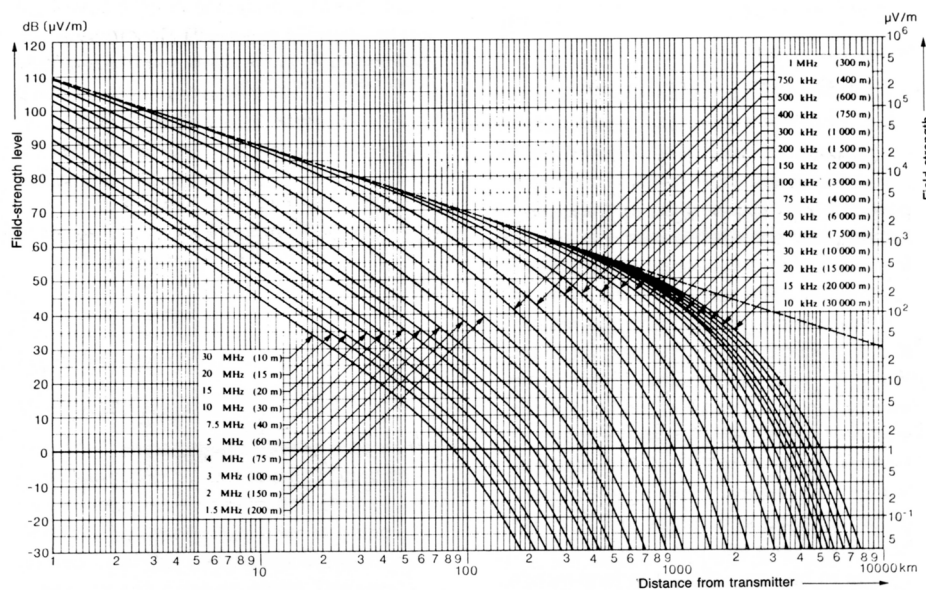


FIG 26 Ground-wave propagation curves over land (well conducting pastoral ground). Data as in FIG 25.

## Bilaga 2. GRWAVE simulering

Data från vågutbredningsprogrammet GRWAVE

Vertikal Polarisation

```

!***** THIS PROGRAM COMPUTES BASIC TRANSMISSION *****
!***** LOSS AND PROPAGATION FACTOR USING GRWAVE *****
!***** (GRWAVE COMPUTES FIELD STRENGTH FOR A *****
!***** HOMOGENEOUS CURVED EARTH WITH EXPONENTI- *****
!***** ALLY DECREASING REFRACTIVE INDEX) *****
!
!
!      ATMOSPHERIC CONSTANTS
!      Refractivity = 286.36      (N-units)
!      Height scale = 7.3530      km
!
!      GROUND CONSTANTS
!      Relative permittivity = 80.000
!      Conductivity = 0.50000      S/m
!
!      VERTICAL POLARISATION
!
!      MINIMUM DISTANCE = 1.0000      km
!      MAXIMUM DISTANCE = 100.00      km
!      STEP LENGTH = 1.0000      km
!
!      FREQUENCY = 2.0000      MHz
!      WAVELENGTH = 150.00      m
!
!      TRANSMITTER HEIGHT = 20.000      m
!      RECEIVER HEIGHT = 20.000      m
!
!  DISTANCE  FIELD STR.  TRANSM. LOSS  PROP. FACT.
!  km        dB         dB          dB
!  1.000    109.31805    37.50660    0.95580    Auto: F
!  2.000    103.26979    43.55486    0.92813    Auto: F
!  3.000    99.72231     47.10234    0.90247    Auto: F
!  4.000    97.19849     49.62616    0.87744    Auto: F
!  5.000    95.23544     51.58921    0.85258    Auto: F
!  6.000    93.62693     53.19772    0.82770    Auto: F
!  7.000    92.26302     54.56163    0.80272    Auto: F
!  8.000    91.07805     55.74660    0.77759    Auto: F
!  9.000    90.02971     56.79494    0.75230    Auto: F
!  10.000   89.08910     57.73555    0.72684    Auto: F
!  11.000   88.23559     58.58907    0.70118    Auto: F
!  12.000   87.45398     59.37067    0.67535    Auto: F
!  13.000   86.73270     60.09195    0.64931    Auto: F
!  14.000   86.06279     60.76187    0.62309    Auto: F
!  15.000   85.43713     61.38752    0.59669    Auto: F
!  16.000   84.84998     61.97467    0.57011    Auto: F
!  17.000   84.29664     62.52801    0.54336    Auto: F
!  18.000   83.77323     63.05142    0.51643    Auto: F
!  19.000   83.27651     63.54813    0.48933    Auto: F
!  20.000   82.80371     64.02094    0.46205    Auto: F
!  21.000   82.35249     64.47216    0.43462    Auto: F
!  22.000   81.92081     64.90383    0.40701    Auto: F
!  23.000   81.50695     65.31770    0.37925    Auto: F
!  24.000   81.10936     65.71529    0.35133    Auto: F
!  25.000   80.72672     66.09793    0.32326    Auto: F
!  26.000   80.35783     66.46682    0.29504    Auto: F
!  27.000   80.00165     66.82300    0.26666    Auto: F
!  28.000   79.65724     67.16740    0.23814    Auto: F
!  29.000   79.35031     67.47433    0.23602    Auto: R
!  30.000   79.03175     67.79289    0.21192    Auto: R
!  31.000   78.72205     68.10261    0.18702    Auto: R

```

|        |          |          |          |         |
|--------|----------|----------|----------|---------|
| 32.000 | 78.42067 | 68.40397 | 0.16142  | Auto: R |
| 33.000 | 78.12716 | 68.69749 | 0.13518  | Auto: R |
| 34.000 | 77.84107 | 68.98357 | 0.10839  | Auto: R |
| 35.000 | 77.56200 | 69.26264 | 0.08111  | Auto: R |
| 36.000 | 77.28959 | 69.53506 | 0.05338  | Auto: R |
| 37.000 | 77.02348 | 69.80117 | 0.02525  | Auto: R |
| 38.000 | 76.76336 | 70.06128 | -0.00323 | Auto: R |
| 39.000 | 76.50893 | 70.31571 | -0.03204 | Auto: R |
| 40.000 | 76.25991 | 70.56474 | -0.06115 | Auto: R |
| 41.000 | 76.01605 | 70.80859 | -0.09053 | Auto: R |
| 42.000 | 75.77712 | 71.04752 | -0.12015 | Auto: R |
| 43.000 | 75.54288 | 71.28176 | -0.15001 | Auto: R |
| 44.000 | 75.31313 | 71.51151 | -0.18008 | Auto: R |
| 45.000 | 75.08767 | 71.73697 | -0.21033 | Auto: R |
| 46.000 | 74.86632 | 71.95832 | -0.24078 | Auto: R |
| 47.000 | 74.64890 | 72.17575 | -0.27141 | Auto: R |
| 48.000 | 74.43525 | 72.38939 | -0.30219 | Auto: R |
| 49.000 | 74.20721 | 72.61743 | -0.35113 | Auto: R |
| 50.000 | 74.00337 | 72.82127 | -0.37949 | Auto: R |
| 51.000 | 73.80257 | 73.02208 | -0.40829 | Auto: R |
| 52.000 | 73.60470 | 73.21994 | -0.43749 | Auto: R |
| 53.000 | 73.40967 | 73.41496 | -0.46707 | Auto: R |
| 54.000 | 73.21738 | 73.60725 | -0.49700 | Auto: R |
| 55.000 | 73.02776 | 73.79688 | -0.52724 | Auto: R |
| 56.000 | 72.84071 | 73.98392 | -0.55779 | Auto: R |
| 57.000 | 72.65617 | 74.16846 | -0.58859 | Auto: R |
| 58.000 | 72.47404 | 74.35059 | -0.61966 | Auto: R |
| 59.000 | 72.29425 | 74.53038 | -0.65097 | Auto: R |
| 60.000 | 72.11719 | 74.70744 | -0.68204 | Auto: R |
| 61.000 | 71.94133 | 74.88330 | -0.71433 | Auto: R |
| 62.000 | 71.76770 | 75.05693 | -0.74672 | Auto: R |
| 63.000 | 71.59622 | 75.22841 | -0.77923 | Auto: R |
| 64.000 | 71.42683 | 75.39780 | -0.81183 | Auto: R |
| 65.000 | 71.25948 | 75.56516 | -0.84451 | Auto: R |
| 66.000 | 71.09406 | 75.73057 | -0.87732 | Auto: R |
| 67.000 | 70.93056 | 75.89406 | -0.91019 | Auto: R |
| 68.000 | 70.76890 | 76.05573 | -0.94318 | Auto: R |
| 69.000 | 70.60902 | 76.21561 | -0.97626 | Auto: R |
| 70.000 | 70.45088 | 76.37374 | -1.00941 | Auto: R |
| 71.000 | 70.29443 | 76.53020 | -1.04267 | Auto: R |
| 72.000 | 70.13960 | 76.68502 | -1.07600 | Auto: R |
| 73.000 | 69.98637 | 76.83825 | -1.10943 | Auto: R |
| 74.000 | 69.83472 | 76.98990 | -1.14290 | Auto: R |
| 75.000 | 69.68457 | 77.14005 | -1.17646 | Auto: R |
| 76.000 | 69.53588 | 77.28874 | -1.21011 | Auto: R |
| 77.000 | 69.38860 | 77.43602 | -1.24384 | Auto: R |
| 78.000 | 69.24271 | 77.58191 | -1.27766 | Auto: R |
| 79.000 | 69.09816 | 77.72646 | -1.31155 | Auto: R |
| 80.000 | 68.95493 | 77.86970 | -1.34554 | Auto: R |
| 81.000 | 68.81297 | 78.01166 | -1.37959 | Auto: R |
| 82.000 | 68.67224 | 78.15237 | -1.41374 | Auto: R |
| 83.000 | 68.53274 | 78.29188 | -1.44796 | Auto: R |
| 84.000 | 68.39442 | 78.43021 | -1.48226 | Auto: R |
| 85.000 | 68.25725 | 78.56737 | -1.51663 | Auto: R |
| 86.000 | 68.12120 | 78.70341 | -1.55109 | Auto: R |
| 87.000 | 67.98626 | 78.83836 | -1.58562 | Auto: R |
| 88.000 | 67.85239 | 78.97223 | -1.62022 | Auto: R |
| 89.000 | 67.71956 | 79.10505 | -1.65490 | Auto: R |
| 90.000 | 67.58775 | 79.23686 | -1.68966 | Auto: R |
| 91.000 | 67.45695 | 79.36766 | -1.72448 | Auto: R |

|         |          |          |          |         |
|---------|----------|----------|----------|---------|
| 92.000  | 67.32712 | 79.49749 | -1.75938 | Auto: R |
| 93.000  | 67.19825 | 79.62636 | -1.79435 | Auto: R |
| 94.000  | 67.07031 | 79.75430 | -1.82939 | Auto: R |
| 95.000  | 66.94328 | 79.88133 | -1.86451 | Auto: R |
| 96.000  | 66.81715 | 80.00746 | -1.89969 | Auto: R |
| 97.000  | 66.69188 | 80.13272 | -1.93494 | Auto: R |
| 98.000  | 66.56769 | 80.25692 | -1.97005 | Auto: R |
| 99.000  | 66.44411 | 80.38049 | -2.00544 | Auto: R |
| 100.000 | 66.32136 | 80.50324 | -2.04090 | Auto: R |



|         |          |           |           |         |
|---------|----------|-----------|-----------|---------|
| 32.000  | 13.44606 | 122.21046 | -53.64507 | Auto: F |
| 33.000  | 12.88651 | 122.77001 | -53.93735 | Auto: F |
| 34.000  | 12.34252 | 123.31400 | -54.22204 | Auto: F |
| 35.000  | 11.81320 | 123.84332 | -54.49957 | Auto: F |
| 36.000  | 11.29760 | 124.35893 | -54.77049 | Auto: F |
| 37.000  | 10.79476 | 124.86176 | -55.03534 | Auto: F |
| 38.000  | 10.30467 | 125.35185 | -55.29380 | Auto: F |
| 39.000  | 9.82670  | 125.82982 | -55.54614 | Auto: F |
| 40.000  | 9.35905  | 126.29747 | -55.79388 | Auto: F |
| 41.000  | 8.90230  | 126.75422 | -56.03616 | Auto: F |
| 42.000  | 8.45594  | 127.20058 | -56.27321 | Auto: F |
| 43.000  | 8.01906  | 127.63747 | -56.50571 | Auto: F |
| 44.000  | 7.59035  | 128.06618 | -56.73474 | Auto: F |
| 45.000  | 7.22366  | 128.43286 | -56.90622 | Auto: R |
| 46.000  | 6.81151  | 128.84500 | -57.12747 | Auto: R |
| 47.000  | 6.40702  | 129.24950 | -57.34515 | Auto: R |
| 48.000  | 6.00989  | 129.64664 | -57.55943 | Auto: R |
| 49.000  | 5.61983  | 130.03668 | -57.77039 | Auto: R |
| 50.000  | 5.23654  | 130.41998 | -57.97820 | Auto: R |
| 51.000  | 4.85978  | 130.79675 | -58.18297 | Auto: R |
| 52.000  | 4.48928  | 131.16724 | -58.38480 | Auto: R |
| 53.000  | 4.12481  | 131.53169 | -58.58380 | Auto: R |
| 54.000  | 3.76615  | 131.89035 | -58.78011 | Auto: R |
| 55.000  | 3.41309  | 132.24344 | -58.97380 | Auto: R |
| 56.000  | 3.06542  | 132.59109 | -59.16496 | Auto: R |
| 57.000  | 2.72295  | 132.93355 | -59.35368 | Auto: R |
| 58.000  | 2.38551  | 133.27100 | -59.54006 | Auto: R |
| 59.000  | 2.05291  | 133.60361 | -59.72420 | Auto: R |
| 60.000  | 1.72499  | 133.93152 | -59.90612 | Auto: R |
| 61.000  | 1.40160  | 134.25491 | -60.08595 | Auto: R |
| 62.000  | 1.08258  | 134.57393 | -60.26372 | Auto: R |
| 63.000  | 0.76779  | 134.88872 | -60.43954 | Auto: R |
| 64.000  | 0.45710  | 135.19942 | -60.61345 | Auto: R |
| 65.000  | 0.15037  | 135.50615 | -60.78551 | Auto: R |
| 66.000  | -0.15253 | 135.80904 | -60.95579 | Auto: R |
| 67.000  | -0.45171 | 136.10822 | -61.12434 | Auto: R |
| 68.000  | -0.74729 | 136.40379 | -61.29124 | Auto: R |
| 69.000  | -1.03937 | 136.69588 | -61.45653 | Auto: R |
| 70.000  | -1.32807 | 136.98456 | -61.62024 | Auto: R |
| 71.000  | -1.61348 | 137.26999 | -61.78246 | Auto: R |
| 72.000  | -1.89571 | 137.55222 | -61.94319 | Auto: R |
| 73.000  | -2.17484 | 137.83133 | -62.10252 | Auto: R |
| 74.000  | -2.45096 | 138.10745 | -62.26046 | Auto: R |
| 75.000  | -2.72416 | 138.38066 | -62.41708 | Auto: R |
| 76.000  | -2.99453 | 138.65103 | -62.57239 | Auto: R |
| 77.000  | -3.26214 | 138.91864 | -62.72646 | Auto: R |
| 78.000  | -3.52706 | 139.18356 | -62.87932 | Auto: R |
| 79.000  | -3.78939 | 139.44588 | -63.03098 | Auto: R |
| 80.000  | -4.04916 | 139.70566 | -63.18150 | Auto: R |
| 81.000  | -4.30648 | 139.96298 | -63.33091 | Auto: R |
| 82.000  | -4.56139 | 140.21788 | -63.47925 | Auto: R |
| 83.000  | -4.81396 | 140.47044 | -63.62653 | Auto: R |
| 84.000  | -5.06425 | 140.72076 | -63.77281 | Auto: R |
| 85.000  | -5.27900 | 140.93550 | -63.88477 | Auto: R |
| 86.000  | -5.52703 | 141.18350 | -64.03119 | Auto: R |
| 87.000  | -5.77285 | 141.42935 | -64.17661 | Auto: R |
| 88.000  | -6.04188 | 141.69836 | -64.34636 | Auto: R |
| 89.000  | -6.28171 | 141.93820 | -64.48804 | Auto: R |
| 90.000  | -6.51958 | 142.17607 | -64.62887 | Auto: R |
| 91.000  | -6.75554 | 142.41203 | -64.76885 | Auto: R |
| 92.000  | -6.98963 | 142.64612 | -64.90802 | Auto: R |
| 93.000  | -7.22191 | 142.87839 | -65.04639 | Auto: R |
| 94.000  | -7.45242 | 143.10892 | -65.18401 | Auto: R |
| 95.000  | -7.68119 | 143.33768 | -65.32085 | Auto: R |
| 96.000  | -7.90826 | 143.56476 | -65.45698 | Auto: R |
| 97.000  | -8.13368 | 143.79016 | -65.59238 | Auto: R |
| 98.000  | -8.35748 | 144.01398 | -65.72710 | Auto: R |
| 99.000  | -8.57971 | 144.23619 | -65.86115 | Auto: R |
| 100.000 | -8.80039 | 144.45686 | -65.99452 | Auto: R |

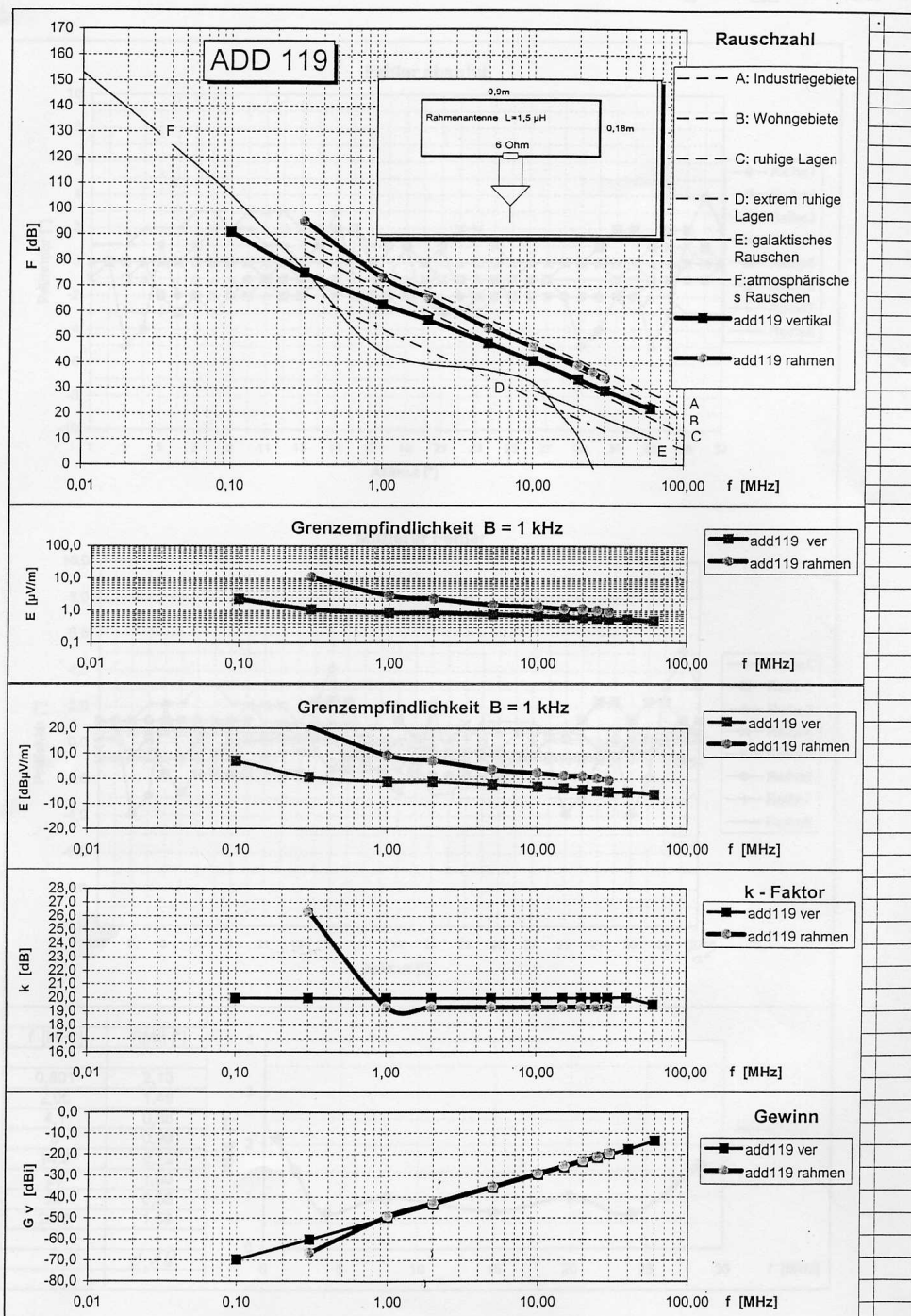


# Bilaga 3. Mätningar på ADD 119 från R&S

AD119KR2.xls

Tabelle1

be 24.06.03 15:18



Seite 4



PEIL119.xls

Gesamt

8GE3\_13.8.99\_\_13.08.9912:05

