

Måling av elektromagnetiske feltstyrke fra fugleradar ved Lista Fyr i Farsund kommune

Dato for Målingene

5. juni 2023

Utført av:

Trond Watne og Søren Christensen

Sammendrag

Det er utført måling av feltnivå fra en fugleradar ved Lista fyr i Farsund kommune. Høyeste eksponeringsfaktor basert på målinger ble beregnet til 0,018 W/m² som utgjør 0,18% av ICNIRP sine grenseverdier.

Innholdsfortegnelse

1	Måleoppdrag ved Lista Fyr	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Målinger	5
1.3	Frekvenser	8
1.4	Måleutstyr	8
1.5	Målemetode	9
1.6	Måleusikkerhet.....	9
1.7	Grenseverdier	10
2	Resultater	11
2.1	Måleresultater fra MP1 og MP2.....	12
3	Konklusjon	14
4	Vedlegg	14
4.1	Friis formel «frittromsdempning»	14

1 Måleoppdrag ved Lista Fyr

1.1 Bakgrunn

Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) ved seksjon for Tilsyn og veiledning har foretatt måling av feltnivå utendørs ved Lista fyr i Farsund kommune, basert på bekymring for elektromagnetisk stråling fra en fugleradar plassert like ved fyret i et mye brukt turområde se Bilde 1.

Fugleradaren er satt opp av Norsk institutt for naturforskning (NINA) og brukes blant annet til telling av fugl som beveger seg i radarens deteksjonsområde.

Maksimal rekkevidde til radaren er oppgitt til 15 km.



Bilde 1. Fugleradaren slik den er plassert i terrenget.

1.2 Målinger

Målingene ble utført 5. juni 2023. Det er ikke målt innendørs i noen av bygningene i nærheten, da feltnivået innendørs ikke vil overstige feltnivået utendørs grunnet demping gjennom vindusruter og bygningsmasse.

De tekniske spesifikasjonene Nkom har fått oppgitt, er gjengitt i tabell 1 under.

Radar	Produsent	Robin Radar Systems
	Modell	Max
	Transmisjon	FMCW (Frequency modulated continuous wave)
	Frekvenser	9650 MHz
	Signalbåndbredde	≤ 66 MHz
	Tx Effekt	43 dBm (20W)
Antenne	Antenneforsterkning	36 dBi
	Åpningsvinkel (-3dB) V/H	5.7° / 1.80°
	Polarisasjon	Horisontal
	Rotasjonshastighet	60 rpm
	Høyde	2m over bakken
Antennedimensjon	BxDxH	1237x654x1660 mm

Tabell 1. Radar spesifikasjoner oppgitt til Nkom

Da radarantennen er relativt stor og bølgelengden til radarsignalet liten, er det vesentlig for målingene å finne overgangen fra nær- til fjernfelt slik at vi kan finne gode målepunkter i terrenget.

Antennen er delt opp i tre paneler, som vist på bilde 1. Ut fra de opplysningene Nkom har er senderantennene plassert i det nederste panelet, mens mottakerantennene er plassert i det midterste og øverste panelet. Vi har derfor antatt at den største lineære dimensjonen til radrens senderantenne (D) er 1.2m, som er bredden på antennen, bølgelengden til radarsignalet er 3.1cm.

Overgangen til fjernfeltet (R) er gitt av formelen, $R > \frac{2D^2}{\lambda}$, som gir et fjernfelt $R > 93\text{m}$.

Det ble valgt to målepunkter, et 100m unna (MP1) og et 86m unna (MP2) radaren.

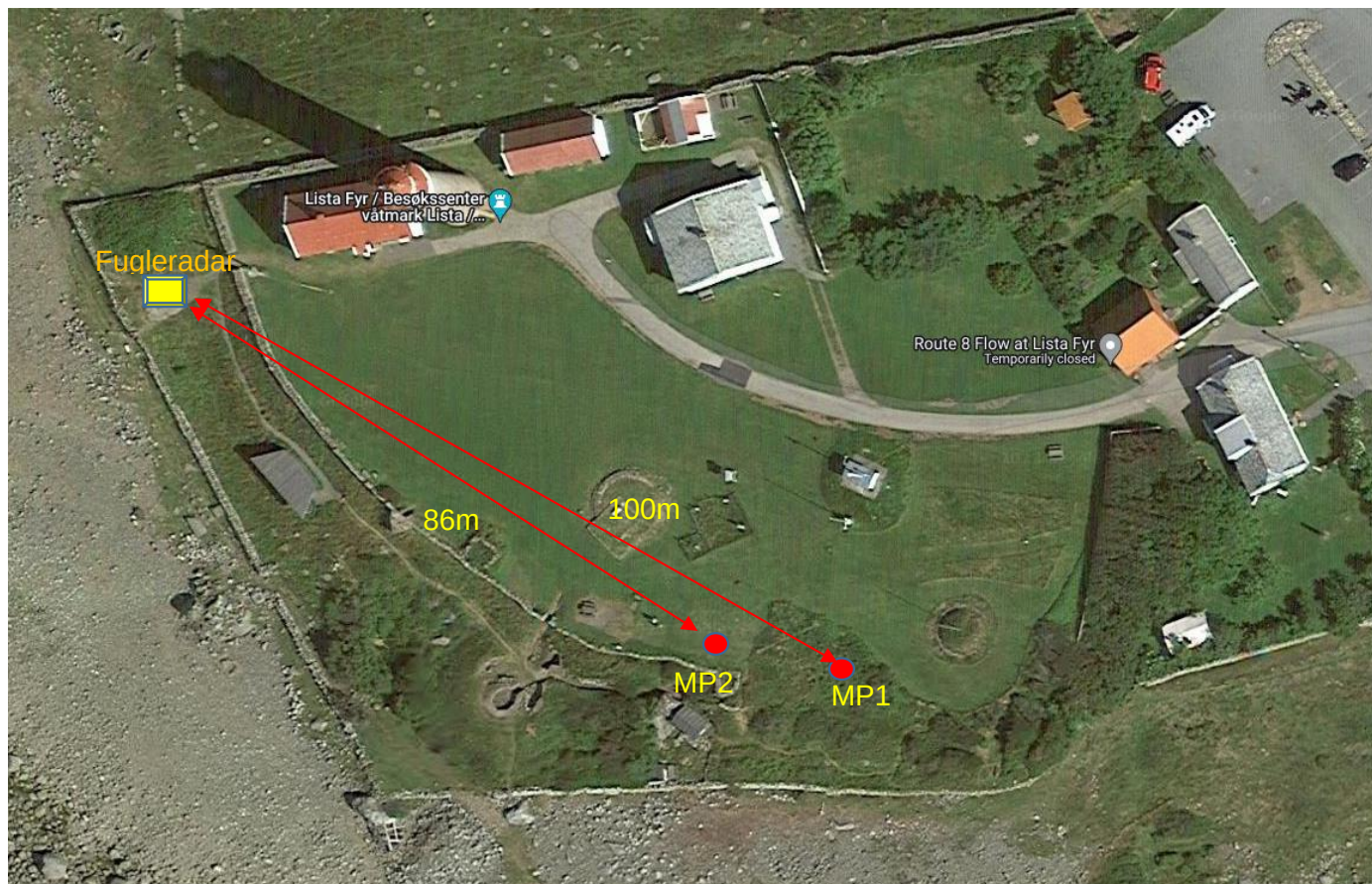
I MP1 ble det målt 1,70m over bakken. Bilde 2.



Bilde 2. Viser måleantenne i MP1 100m fra radaren.

I MP2 ble det gjort målinger i forskjellige høyder for å finne det høyeste signalnivået. Resultatet av denne målingen er brukt til å beregne signalnivåer i avstander som ligger i nærfeltet til radaren.

Det ble brukt en høydejusterbar antennemast montert på en målebil til denne målingen. Da det ikke var praktisk mulig å plassere målebil i MP1, ble MP2 valgt 86m unna radaren. Det sterkeste signalet i MP2 ble målt 4,80m over bakken. Bilde 3 viser de to målepunktene med avstander til radaren.



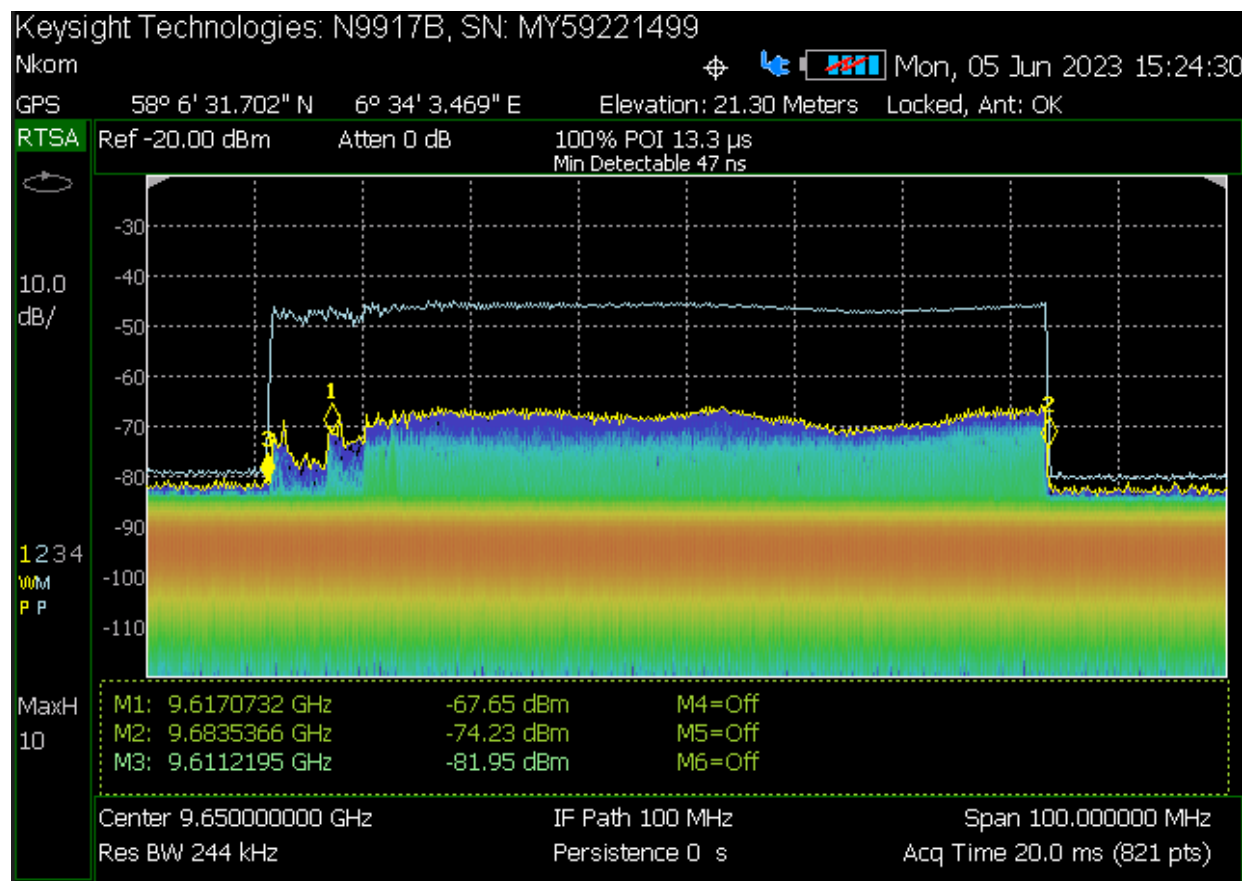
Bilde 3: MP1, 100 meter fra radaren. MP2, 86m fra radaren.

Ved å klatre opp på steingjerdet risikerer man å komme midt i radarstrålen, se bilde1. Avstanden fra steingjerdet til radaren i retning MP2 er 10m, det er derfor viktig å finne feltstyrken fra radaren i denne avstanden. Da dette er i radarens nærfelt, er det ikke mulig å gjøre pålitelige målinger. Vi gjør derfor målinger i radarens fjernfelt (MP2) for å finne det høyeste feltstyrkenivået der.

Basert på disse målingen anvendes formelen for «frittroms dempning» (Friis-formel) til å beregne feltstyrken i 10m avstand.

1.3 Frekvenser

Fugleradaren sender på 9650 MHz over en båndbredde på 72 MHz, som vist på bilde 4. Opplysningene gitt til Nkom indikerer en båndbredde på 66 MHz.



Bilde 4. Senterfrekvens på 9650 MHz med en båndbredde på 72 MHz.

1.4 Måleutstyr

Målingene er utført med spektrumsanalysator og hornantenne.

Antenne	
Produsent: A.H. Systems Inc	
Type: Horn Antenne	Serie nr. 2915
Frekvensområde: 700 MHz – 18 GHz	Kalibrert: 1.2.2023

Spektrumsanalysator	
Produsent: Keysight	Antennefaktor for A.H. Systems Horn er inkludert i programvare
Type: FieldFox RF Analyzer (N9917B)	Serie nr. MY59221499
Frekvensområde: 30 kHz – 18 GHz	Kalibrert: 1.8.2022

Målekabel1	
Produsent: Huber Suhner	Kabeldempning for Huber Suhner kabelen er inkludert i programvare
Type: Sucoflex 104PEA	Serie nr. 38705/4PEA
Frekvensområde: 10 MHz – 18 GHz	Kabellengde: 3m

Målekabel2	
Produsent: Huber Suhner	Kabeldempning for Huber Suhner kabelen er inkludert i programvare
Type: Sucoflex 104PEA	Serie nr. 38706/4PEA
Frekvensområde: 10 MHz – 18 GHz	Kabellengde: 3m

1.5 Målemetode

FMCW radaren varierer radarsignalet i frekvens over radarens båndbredde på 72 MHz (9614 – 9686 MHz). Den maksimale feltstyrken i et målepunkt vil dermed være gitt av den høyeste «peak»-verdien vi måler over denne båndbredden. For å redusere måletiden settes RBW til spektrumsanalysatoren så stor som mulig.

Spektrumsanalysatoren hadde følgende innstillinger:

- Senterfrekvens: 9650 MHz
- Span: 100 MHz
- RBW: 5 MHz
- Detector: Average (RMS)
- Trace: Max hold

1.6 Måleusikkerhet

Måleutstyrets usikkerhet er typisk $\pm 1,5$ dB, men om man legger 95 % konfidens-intervall til grunn får man i verste fall mellom $\pm 2,5$ og $\pm 3,3$ dB av målt verdi, avhengig av frekvensområde. Nivåvariasjoner som følge av påvirkning fra omgivelsene vil, hvis vi ikke tar hensyn til dem, utgjøre mange ganger den usikkerheten som instrument, kabler og måleantenne utgjør. De maksimale nivåene fanges ved å kombinere "MaxHold" med midling over flere målepunkter i samme område, eller små forflytninger av måleantennen. Man kan da komme ned i en usikkerhet fra omgivelsene på ± 2 dB.

Total måleusikkerhet summerer seg til mellom $\pm 4,5$ dB og $\pm 5,3$ dB. Den reelle verdi, avhengig av frekvens, kan derfor være 4,5 – 5,3 dB (ca. 2,8 – 3,4 ganger) høyere eller lavere enn den avleste verdien.

1.7 Grenseverdier

Anbefalte grenseverdier for elektromagnetisk eksponering er utarbeidet av International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). I Norge følger Direktoratet for strålevern og atomsikkerhets (DSA) anbefalingene fra ICNIRP ved vurdering av menneskelig eksponering for elektromagnetiske felt.

Under vises en tabell med oversikt over grenseverdier fra ICNIRP 2020.

Table 5. Reference levels for exposure, averaged over 30 min and the whole body, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values).^a

Exposure scenario	Frequency range	Incident E-field strength; E_{inc} ($V\ m^{-1}$)	Incident H-field strength; H_{inc} ($A\ m^{-1}$)	Incident power density; S_{inc} ($W\ m^{-2}$)
Occupational	0.1 – 30 MHz	$660/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	61	0.16	10
	>400 – 2000 MHz	$3f_M^{0.5}$	$0.008f_M^{0.5}$	$f_M/40$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	50
General public	0.1 – 30 MHz	$300/f_M^{0.7}$	$2.2/f_M$	NA
	>30 – 400 MHz	27.7	0.073	2
	>400 – 2000 MHz	$1.375f_M^{0.5}$	$0.0037f_M^{0.5}$	$f_M/200$
	>2 – 300 GHz	NA	NA	10

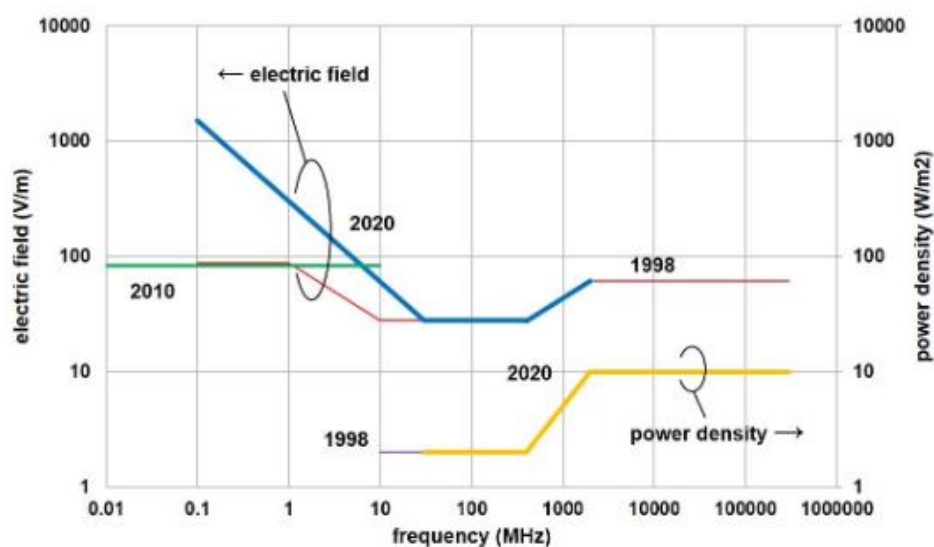
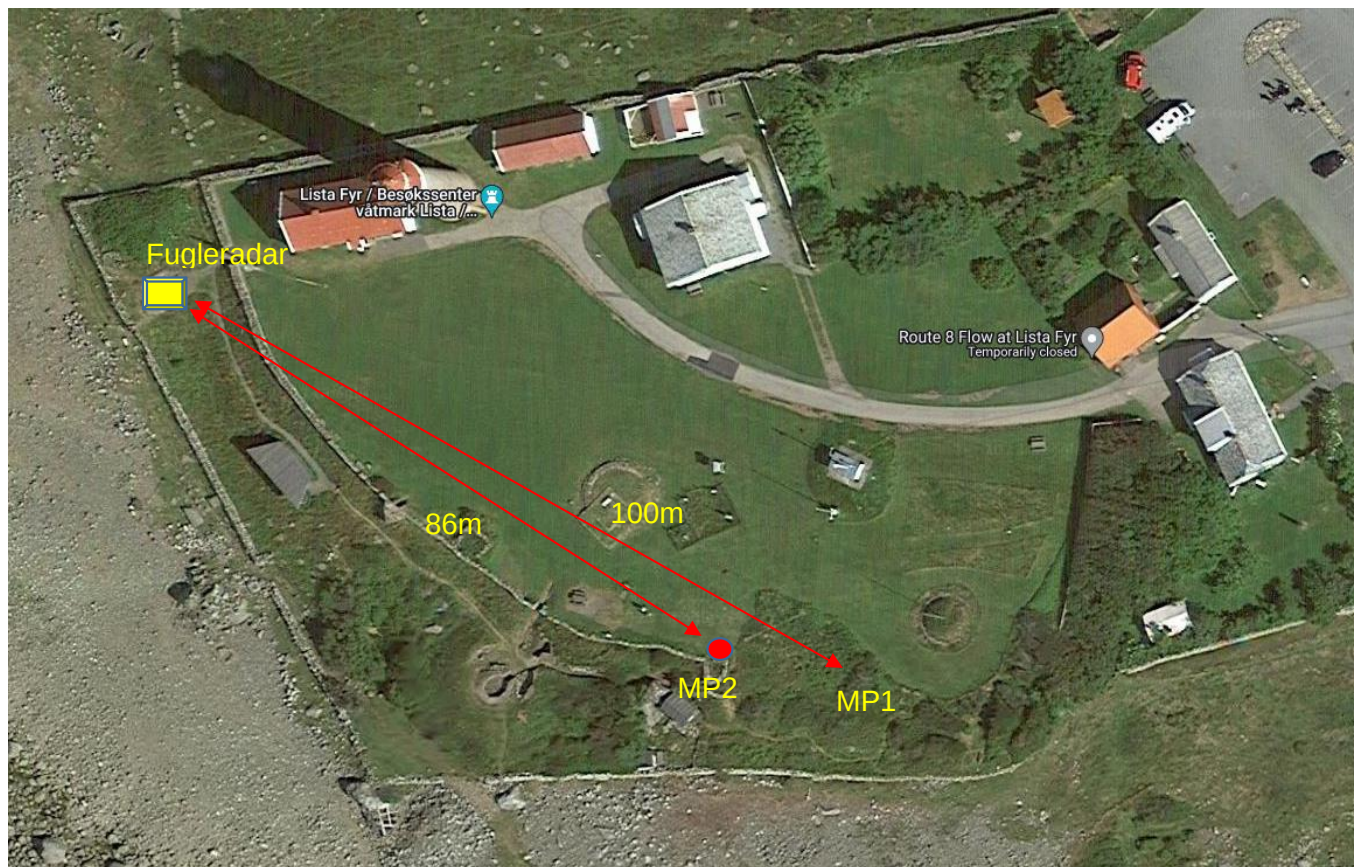


Figure 1. Whole body average reference levels for the general public for the ICNIRP (1998), ICNIRP (2010) and ICNIRP (2020) guidelines, for the 100 kHz to 300 GHz frequency range. Note that the units of the two y-axes (i.e. electric field and power density) are independent of each other.

2 Resultater

Oversikt over plasseringen av målepunktene og avstand til radaren er illustrert bilde 5.

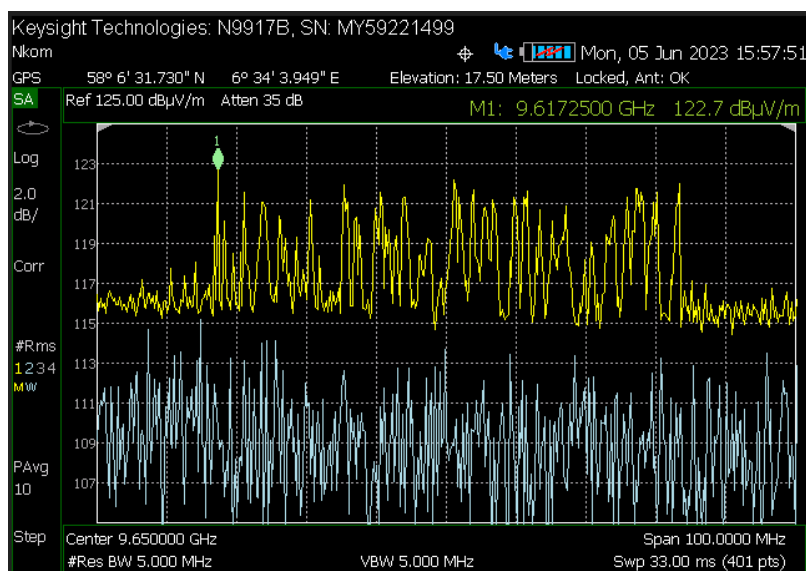


Bilde 5 Oversikt over målepunkt 1 og 2 med avstander

2.1 Måleresultater fra MP1 og MP2

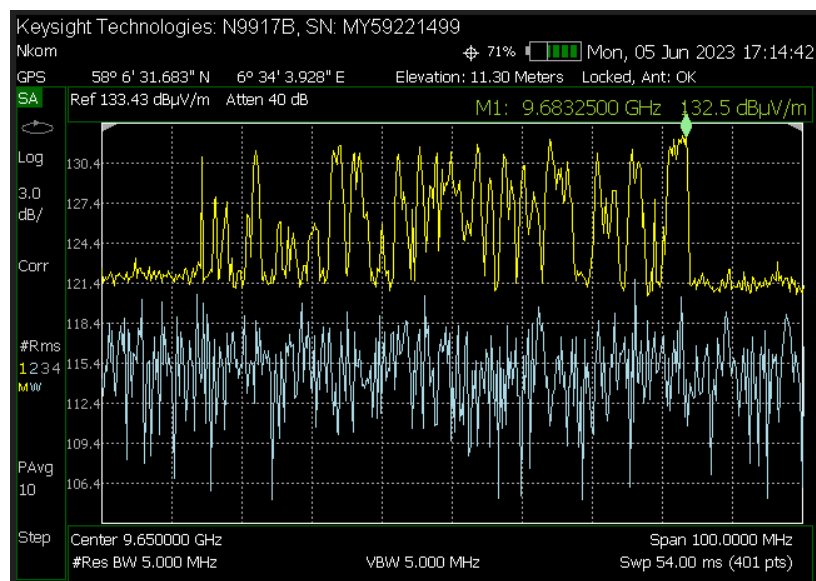
Den maksimale feltstyrken målt i MP1, 100m fra radaren er gitt av den høyeste peak-verdien vi måler som er 123 dB μ V/m, se bilde 6, dette gir en effekttetthet på 0,005 W/m².

Radaren roterer (60 rpm) og har en horisontal åpningsvinkel på 1,80 grader. Dette medfører at man eksponeres for stråling med 0,005 W/m² x 1,80/360, som tilsvarer 0,03 mW/m² pr rotasjon.



Bilde 6. Høyeste peak-verdien målt i MP1 er 123 dB μ V/m

For å finne det sterkeste signalet fra radaren i fjernfeltet gjøres det målinger i forskjellige høyder. Da det ikke var praktisk mulig å plassere målebilen i MP1, ble MP2 valgt som er 86m unna radaren. Det sterkeste signalet i MP2 ble målt 4,80m over bakken til 132,5 dB μ V/m, se bilde 7, som gir en effekttetthet på 0,047 W/m². Dette medfører at man eksponeres for stråling med 0,047 W/m² x 1,80/360, som tilsvarer 0,2 mW/m² pr rotasjon.



Bilde 7. Høyeste peak-verdien målt i MP2 er 132,5 dB μ V/m

Måleresultat i MP1 100m fra radaren i en høyde av 1,70m er oppsummert i tabell 2.

Radar	Senterfrekvens [MHz]	Feltstyrke målt 100m fra radaren [dB μ V/m]	Effektetthet midlet over rotasjon 100m fra radaren [W/m ²]	Grenseverdi [W/m ²]	Eksponering [%]
Robin radar systems, modell Max	9650	123	0,000003	10,0	0,00003

Tabell 2 Måleresultater fra MP1. 100m fra radaren

Et spesielt utsatt område for stråling er oppe på steinmuren 10m fra radaren se bilde 1. Ved å anvende Friis-formel beregnes feltstyrken like ved radarantennen basert på målingen i MP2 (86m avstand), deretter anvendes dette resultatet til å beregne effektettheten i 10m avstand.

Eksponering fra radaren målt i 86m avstand er oppsummert i tabell 3, mens beregnet eksponering i 10m avstand er oppsummert i tabell 4.

Radar	Senterfrekvens [MHz]	Feltstyrke målt 86m fra radaren [dB μ V/m]	Effektetthet midlet over rotasjon 86m fra radaren [W/m ²]	Grenseverdi [W/m ²]	Eksponering [%]
Robin radar systems, modell Max	9650	132,5	0,0002	10,0	0,002

Tabell 3 Måleresultater fra MP2. 86m fra radaren

Radar	Senterfrekvens [MHz]	Feltstyrke beregnet 10m fra radaren [dB μ V/m]	Effektetthet midlet over rotasjon 10m fra radaren [W/m ²]	Grenseverdi [W/m ²]	Eksponering [%]
Robin radar systems, modell Max	9650	151,2	0,018	10,0	0,18

Tabell 4 Beregnet resultat 10m fra radar.

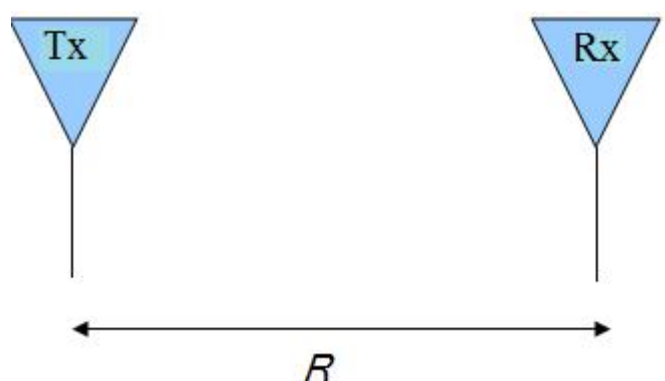
3 Konklusjon

Beregninger basert på målingene viser ingen overskridelser av ICNIRP sine grenseverdier. Høyeste eksponeringsfaktor fant vi 10m fra radaren oppe på en steinmur, se bilde 1, som ble beregnet til 0,018 W/m² eller 0,18% av grenseverdien.

4 Vedlegg

4.1 Friis formel «frittromsdempning»

Friis-formel for «frittromsdempning»



$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$