

FFI RAPPORT

MULIGE INTERFERENSKILDER FOR GPS

ØHRA Hans, KULBOTTEN Gunnar

FFI/RAPPORT-2000/06205

FFIE/783/113

Godkjent
Kjeller 7 desember 2000

Torleiv Maseng
Forskningsjef

MULIGE INTERFERENSKILDER FOR GPS

ØHRA Hans, KULBOTTEN Gunnar

FFI/RAPPORT-2000/06205

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNINGSPINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
 2027 KJELLER, NORWAY

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2000/06205 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/783/113	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES		
4) TITLE MULIGE INTERFERENSKILDER FOR GPS POSSIBLE GPS INTERFERENCE SOURCES				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) ØHRA Hans, KULBOTTEN Gunnar				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> a) <u>GPS</u> b) <u>Interference</u> c) <u>EMC</u> d) _____ e) _____ </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> IN NORWEGIAN: a) <u>GPS</u> b) <u>Interferens</u> c) <u>EMC</u> d) _____ e) _____ </td> </tr> </table>			a) <u>GPS</u> b) <u>Interference</u> c) <u>EMC</u> d) _____ e) _____	IN NORWEGIAN: a) <u>GPS</u> b) <u>Interferens</u> c) <u>EMC</u> d) _____ e) _____
a) <u>GPS</u> b) <u>Interference</u> c) <u>EMC</u> d) _____ e) _____	IN NORWEGIAN: a) <u>GPS</u> b) <u>Interferens</u> c) <u>EMC</u> d) _____ e) _____			
THESAURUS REFERENCE:				
8) ABSTRACT This report presents possible Norwegian GPS interference sources. A field experiment has been conducted to investigate GPS receivers susceptibility to interference from D-band radars and broadcasting transmitters				
9) DATE 7 December 2000	AUTHORIZED BY This page only Torleiv Maseng	POSITION Director of Research		

ISBN-82-464-0471-7

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
1.1	Interferens	7
2	SIGNALENE TIL GPS	7
3	ÅRSAKER TIL INTERFERENS	8
3.1	Spektrumkonflikter	8
3.2	Uønsket utstråling fra sendere	9
3.2.1	Over- eller underharmoniske frekvenser	9
3.2.2	Intermodulasjon	9
3.2.3	Bredbåndet støy	10
3.3	Uønsket innstråling i mottakeren	10
3.3.1	Innstråling via antenne	10
3.3.2	Direkte innstråling	11
4	INTERFERENSKILDER	11
4.1	Frekvensallokeringer	11
4.2	TACAN	11
4.3	Radiolinjekommunikasjon	12
4.4	Militære kommunikasjonslinker	12
4.5	Kringkastingsendere	13
4.5.1	FM-radio	14
4.5.2	TV	14
4.5.3	DAB	14
4.6	Radarsystemer	14
4.6.1	Primærradar i 'D-bånd'	14
4.6.2	Sekundærradar	15
4.7	Radioamatører	15
5	ANDRE INTERFERENSSTUDIER	15
5.1	'FAA GPS risk Assessment Study'	15
6	RAPPORTERTE TILFELLER AV INTERFERENS	16
6.1	Post og teletilsynet, Frekvenskontrollen	16
7	INTERFERENSFORSØK	17
7.1	Scenarie	17
7.2	Måleoppstillingen	18
7.3	Målinger på kringkastingsenderen	18
7.3.1	Målinger ved Kollia	19
7.3.2	Målinger på Holtberget	21

7.4	Målinger av radarsignalet	22
7.5	GPS-mottakerenes oppførsel	24
7.5.1	Magellan 320	24
7.5.2	TrueTime XL-AK	24
7.5.3	TANS	25
7.5.4	Trimble 400	25
8	OPPSUMMERING	25
APPENDIKS		
A	FORKORTELSER	26
B	KRINGKASTINGSENDERE MED EFFEKT > 1KW SOM HAR HARMONISKE I GPS-BÅNDENE	27
C	BESKRIVELSE AV MÅLEOPPSTILLINGEN	29
D	ANTENNEDIAGRAM FOR KRINGKASTINGSSENDER	31
LITTERATUR		32
	Fordelingsliste	33

MULIGE INTERFERENSKILDER FOR GPS

1 INNLEDNING

Det amerikanske navigasjonssystemet Global Positioning System (GPS) har stor betydning i både militær og sivil sammenheng, og mange brukere vil i stor grad være avhengige av GPS for å utføre oppgavene tilfredsstillende.

Militær bruk av GPS blir stadig mer utbredt og et stort antall enheter er anskaffet til Forsvaret. Innføring av et slikt system som kontinuerlig gir nøyaktig posisjon, hastighet, tid og frekvens medfører at oppmerksomhet og kunnskap om andre system blir mindre. Manglende tilgang til GPS vil derfor kunne få betydelige negative konsekvenser for gjennomføring av effektive operasjoner. I denne rapporten vil manglende tilgang på GPS-signaler på grunn av signaler som utilsiktet forstyrrer (interfererer med) GPS-mottakerene bli behandlet.

1.1 Interferens

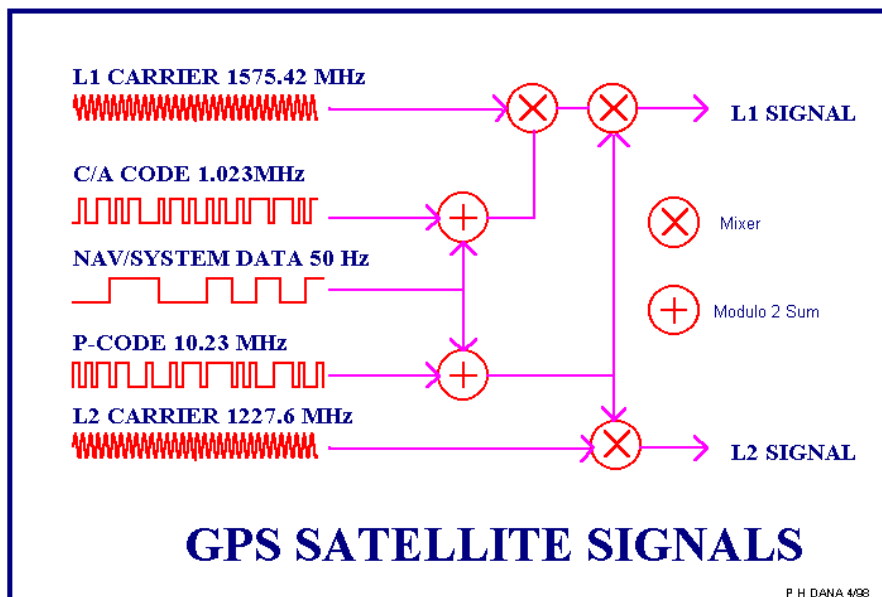
Det elektromagnetiske spekter ('radiobølger') er delt mellom et stort antall brukere (radio, TV, mobiltelefon, radar, navigasjon, industri osv). Frekvensene (9 kHz - 275 GHz) i det elektromagnetiske spekteret er strengt regulert av International Telecommunication Union (ITU) og nasjonale telemyndigheter Post og teletilsynet (PTT). Fordelingen av frekvenser til de forskjellige brukerne tar hensyn til at frekvensen skal være egnet til det aktuelle bruk og at de forskjellige brukere ikke skal forstyrre hverandre.

Imidlertid forekommer det fra tid til annen at forskjellige brukere forstyrrer hverandre (interferens), og denne rapporten vurderer i hvilken grad andre brukere kan forårsake forstyrrelser (interferens) for brukere av GPS.

2 SIGNALENE TIL GPS

Et fullt operativt GPS-system består av minimum 24 satellitter. Alle satellittene benytter de to samme frekvensene: $L1 = 1575,42$ MHz og $L2 = 1227,6$ MHz. Signalene fra de forskjellige satellittene skilles fra hverandre ved hjelp av ortogonale tofasemodulerte koder. Figur 2.1 viser en prinsippskisse av signalgenereringen i GPS-systemet. GPS har en modus (C/A) som er tilgjengelig for alle brukere. Dette signalet sendes bare på L1-frekvensen og er kodet med en bitrate på 1,023 MHz. I tillegg er det en kryptert modus (P(Y)) som er kodet med en bitrate på 10,23 MHz, denne sendes på både L1- og L2-

frekvensene. GPS overfører navigasjonsdata med en rate på 50 Hz på begge frekvensene. Det er vanlig at en GPS-mottaker må benytte C/A-koden ved oppstart.



Figur 2.1 Generering av signalene i GPS

3 ÅRSAKER TIL INTERFERENS

Årsaken til interferens mellom systemer som utnytter det elektromagnetiske spektrum kan deles i tre hovedtyper:

- Flere systemer benytter samme del av frekvensspekteret (spektrumskonflikter)
- Sendere har uønskede utstrålinger på frekvenser utenfor det tillatte frekvensområdet (uønsket utstråling)
- Mottakere slipper inn signaler på frekvenser utenfor det tildelte frekvensområdet (uønsket innstråling)

Hver av disse tre årsakene til interferens blir behandlet hver for seg fordi 'ansvaret' for at interferensen oppstår er forskjellig for de tre hovedtypene.

3.1 Spektrumskonflikter

Spektrumskonflikter oppstår når flere tjenester benytter de samme frekvensene. GPS har utviklet seg til en så viktig tjeneste at man i de fleste land vil forsøke å unngå andre tjenester på L1-frekvensene. Man kan tenke seg at noen land, som ikke kan benytte den krypterte L2-frekvensen, ikke vil ta hensyn

til eventuell interfererende tjenester på L2-frekvensene. Andre tjenester, f eks D-bånd søkeradarer, kan da operere på L2-frekvensene.

I Norge skal ikke spektrumskonflikter forekomme fordi frekvensområdene (± 14 MHz) rundt L1- og L2-frekvensene ikke blir tildelt andre tjenester (1). Ved operasjon i andre land, spesielt utenfor NATO-landene, bør man innhente opplysninger om hvordan L1- og L2-frekvensene blir benyttet.

3.2 Uønsket utstråling fra sendere

Alle sendere har en viss utstråling på uønskede frekvenser i tillegg til den tilsiktede senderfrekvensen. Minst tre typer uønsket utstråling kan være aktuelle:

3.2.1 Over- eller underharmoniske frekvenser

Ulineæriteter i senderen kan forårsake uønsket utstråling på et multiplum av senderfrekvensen (7). Utstrålingen fra senderen kan dermed inneholde komponenter med frekvensene

$$f = nf_c \quad (3.1)$$

hvor n er et positivt heltall, og f_c er senderfrekvensen. Typiske kilder for overharmoniske frekvenser er radar og kringkastingssendere, mens en kilde til underharmoniske frekvenser er basestasjoner for mobiltelefon. Amplituden på de harmoniske frekvensene avtar med avstanden til senderfrekvensen, og sendere er vanligvis i tillegg utstyrt med filter for å redusere harmonisk utstråling. Harmonisk utstråling kan gjenoppstå hvis signalet passerer nye ulineæriteter etter filteret.

3.2.2 Intermodulasjon

Hvis to eller flere signaler passerer en senders utgangstrinn vil det oppstå blandingsprodukter av signalene på grunn av senderens ulineæriteter (7). Utstrålingen fra senderen kan inneholde de harmoniske, og alle summer og differanser av grunnharmoniske og overharmoniske komponenter. For to signaler er dette komponenter med frekvensene

$$f = \pm mf_1 \pm nf_2 \quad (3.2)$$

hvor m og n er positive heltall.

Hvis flere sendere er lokalisert i nærheten av hverandre er det fare for intermodulasjon. Da vil noe effekt fra en sender kunne kobles inn i utgangstrinnet til en annen sender, og intermodulasjon kan oppstå. Et annet eksempel er at inngangssignalet til en sender inneholder flere forskjellige

bærefrekvenser, hvor intermodulasjon mellom bærefrekvensene kan oppstå. Dette er tilfelle for tv-signaler, hvor signalet inneholder forskjellige bærefrekvenser for bilde, farge og lyd.

Intermodulasjon kan også oppstå i mottakeren. Komponentene i mottakerens inngang er ikke ideelle; ulineæriteter og metning i lavstøyforsterkere og mikserer produserer mange uønskede frekvenskomponenter når de utsettes for kraftige signaler. Dette problemet reduseres ved å sette inn filter som hindrer at uønskede frekvenser slipper inn i mottakere. I (3) er krav til filtrering i GPS-mottakere vurdert.

3.2.3 Bredbåndet støy

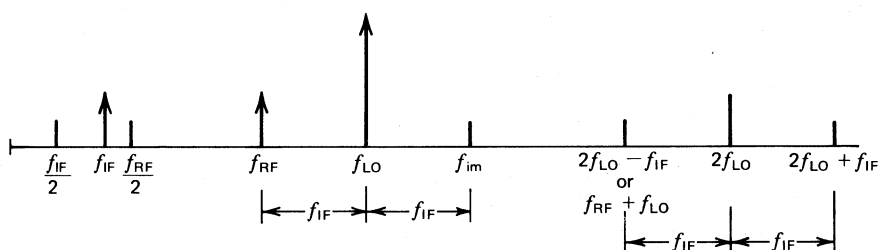
Alle høyfrekvente signaler er beheftet med en viss mengde amplitude- og fasestøy. For kraftige sendere kan denne støyen dekke et ganske bredt bånd sentrert på senderens bærefrekvens. Filtrering av senderens utgangssignal vil fjerne denne støyen.

3.3 Uønsket innstråling i mottakeren

To forskjellige former for uønsket innstråling er viktige: Innstråling via antenne og direkte innstråling.

3.3.1 Innstråling via antenne

De fleste mottakere inneholder en eller flere mikserer som mikser ned det mottatte signalet til en lavere, fast mellomfrekvens. Mellomfrekvensen er differansen mellom et lokaloscillatorsignal og det mottatte signalet. Figur 3.1 viser et spektrum med noen av disse frekvenskomponentene. I tillegg vil det ønskede signal f_{RF} , vil signaler på de andre frekvensene også slippe igjennom til mellomfrekvensene. Uønsket innstråling av denne type løses med filtrering av inngangssignalet før miksing, krav til filtrering er gitt i (3).



Figur 3.1 Frekvenser som kan slippe igjennom mikseren. f_{IF} er mellomfrekvensen, f_{RF} er den ønskede frekvensen, f_{LO} er lokaloscillatorfrekvensen og f_{im} er speilfrekvensen.

3.3.2 Direkte innstråling

Når elektroniske komponenter utsettes for kraftig elektromagnetisk stråling, vil de påvirkes slik at de vil få midlertidige eller varige skader. Varige skader er primært forbundet med elektromagnetisk puls (EMP) og høyeffekt mikrobølgepuls (HMP). Midlertidige feil kan være at apparatet ikke fungerer riktig, blir forstyrret eller slår seg av. Moderne mottakerutstyr har krav til hva de skal tåle av denne type, og det vil vanligvis ikke være noe problem i avstander større enn noen hundre meter fra kraftige sendere (radar og kringkasting).

4 MULIGE INTERFERENSKILDER

4.1 Frekvensallokeringer

Figur 4.1 viser hvilke frekvenser som er allokert til tjenester innen frekvensområdet 900 - 1900 MHz. L1- og L2-frekvensene er markert med rødt på figuren. Mesteparten av disse tjenestene sender med lav effekt, og sender ikke på GPS-frekvensene. De antas derfor ikke å kunne skape problemer for GPS-mottakingen. Nær L2-frekvensen (1227.6 ± 14 MHz) finnes D-bånd radar og TACAN (se "RADIO LOCATION" og "AERONAUTICAL RADIO NAVIGATION" på figuren) som begge har betydelig effekt, og som har potensiale til å forstyrre GPS. Figur 4.2 gir en oversikt over tjenester som kan ha harmoniske frekvenser i nærheten av GPS-frekvensene. Av disse anses kringkasting å ha størst potensiale for å forstyrre GPS.

4.2 TACAN

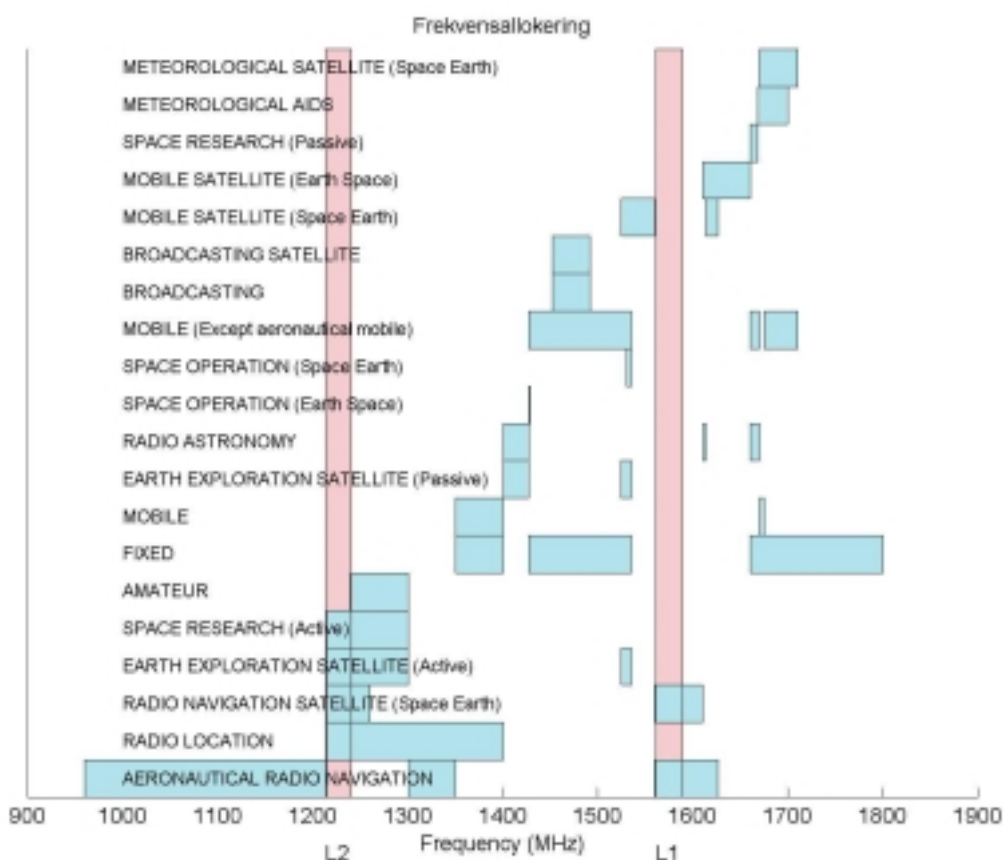
TACAN (Tactical Air Navigation System) er et militært navigasjonssystem for lufttrafikk. Bakkestasjonene sender på frekvenser mellom 962 og 1213 MHz, mens flyene sender på frekvenser mellom 1025 og 1150 MHz. Sendeeffekten på bakkestasjonen er noen få kilowatt. Det er 126 kanaler med 1 MHz båndbredde. For tiden er det bare en håndfull bakkestasjoner som bruker den høyeste frekvensen. Det gjøres spektrumsmålinger på TACAN-stasjonene, men ikke helt opp til GPS-frekvensene. Hvor mye TACAN-signalet er dempet på L1 frekvensen er ikke undersøkt nærmere, men det antas at dempingen er tilstrekkelig til å unngå interferens. Emisjonene er pulsede, noe som også ser ut til å redusere interferensfaren.

4.3 Radiolinjekommunikasjon

Det finnes ikke radiolinjekommunikasjon på L1- eller L2-frekvensene i Norge. De nærmeste båndene hvor det er åpnet for radiolinjekommunikasjon (15) er 1350 - 1375 MHz og 1492 - 1517 MHz. Ved behov vil også båndene 1375 - 1400 MHz og 1427 - 1452 MHz bli åpnet. Dette er såpass langt unna GPS-frekvensene at det ikke burde være fare for interferens. I andre land, f eks Ungarn (10), er det rapportert om forstyrrelser av L1-frekvensen fra radiolinje kommunikasjon, og i ganske mange andre land er det heller ikke forbudt med radiolinjekommunikasjon på denne frekvensen. Noen av disse landene er: Tyskland, Østerrike, Bulgaria, Ungarn, Polen, Tsjekkoslovakia.

4.4 Militære kommunikasjonslinker

Link 16 er en taktisk kommunikasjonslink som opererer i frekvensområdet 969 - 1206 MHz. Det er restriksjoner på hvilke deler av frekvensområdet som kan benyttes i fredstid for å unngå interferens med andre tjenester i dette båndet, men selv en full utnyttelse av frekvensbåndet vil ikke skape spektrumskonflikter med GPS. Transmisjonene hopper i frekvens, noe som reduserer faren for å forstyrre GPS. Link-16 signalet skal være dempet minst 60 dB på L2-frekvensen (13).



Figur 4.1 Frekvensallokeringer nær GPS-frekvensene

4.5.1 FM-radio

Benytter frekvensområdet fra 87,5 - 108 MHz, noe som betyr at harmoniske i GPS- båndene antakelig er så mye dempet at en ikke får interferensproblemer. Målingene som er gjennomført viser ingen tegn til harmoniske signaler på L1- eller L2-frekvensene.

4.5.2 TV

TV-senderene opererer i båndene 48-68 MHz, 174-230 MHz, 470-621 MHz og 622-790 MHz. I de to øverste båndene finnes det kanaler hvor andre og tredje harmoniske treffer GPS- frekvensene. Hvis senderen er tilstrekkelig kraftig kan det være nok effekt i de harmoniske til å lage forstyrrelser for GPS. Dette gjelder først og fremst bildebærebølgen, da mesteparten av effekten ligger her.

4.5.3 DAB

Det har foregått prøvesendinger på DAB (Digital Audio Broadcast) i flere år allerede. Sendingene foregår i båndet 224,936 MHz-239,200 MHz, og burde ikke utgjøre noen interferensfare med GPS. Det er også allokeret et bånd 1452,960 MHz-1466,656 MHz til DAB, men det foregår ikke sendinger i Norge i dette båndet foreløpig. Selv om dette båndet tas i bruk er avstanden til GPS- frekvensene stor nok til at interferens ikke burde være et problem.

4.6 Radarsystemer

4.6.1 Primærradar i 'D-bånd'

Frekvensområdet 1215 – 1350 MHz er avsatt til radar og både sivile og militære radarer med forskjellige oppgaver vil operere i dette frekvensområdet. Radarene sender ut pulser med lengde fra 0,1 – 200 μ s med duty-cycle på 0,1 – 10%, pulseffekten er typisk 100 – 3000 kW og antenneforsterkning 30 – 40 dB. Kravene til demping av uønskede signal er satt til 80 dB (8). Det er gitt mer detaljerte krav i (9) og de varierer bla med radarpulsens båndbredde, og vil derfor være spesifikt for hver radartype.

Radarer med store sendereffekter kan forstyrre andre tjenester, men fordi radarene er pulsede og har en roterende antenne med stor forsterkning vil GPS-mottakeren bare utsettes for kortvarige forstyrrende signaler. Det er ikke kjent hvordan GPS-mottakere reagerer på denne type interferens, og det bør gjennomføres målinger med denne type signal samtidig som man måler jammemotstand.

4.6.2 Sekundærradar

Sekundærradar (2) er et transpondersystem hvor en interrogator sender ut et spørresignal på 1030 MHz og transponderen svarer på 1090 MHz. Transpondere finnes i alle fly over en viss størrelse, og interrogatorer finnes i noen militære fly og vanligvis sammen med bakkebaserte radarsystem. Det utsendte signalet består av pulser på 0,8 μ s med en duty-cycle på 0,1%, senderene har en pulseffekt på 200 – 2000 W og antenne som benyttes på de største sekundærradarene har en vinning på 19 – 23 dB (dvs åpningsvinkel på 2 – 5°). Kravene til utsendt signal er gitt i (4) og (5). På L2-frekvensen er kravet en demping på 70 dB, imidlertid vil det naturlige spekteret ha en demping på omkring 85 dB, og med filtrering av utgangen vil signalet være dempet mer enn 130 dB. Det er derfor lite sannsynlig at sekundærradar skal interferere med GPS.

4.7 Radioamatører

Radioamatører har tillatelse til å benytte smale frekvensområder over hele det elektromagnetiske spekteret. Frekvensinndelingen er vanligvis slik at 3. harmoniske vil være i et høyere amatørfrekvensområde, ingen av de lavere harmoniske til radioamatørfrekvensene havner på L1- eller L2-frekvensene. Det frekvensområdet som er nærmest GPS er 1240 – 1300 MHz med maksimal sendereffekt på 100 W og uønsket utstråling utenfor amatørbånd skal være mindre enn 2,5 μ W (14), i andre land f eks USA er maks sendereffekt 1500 W.

Med unntak av et lite antall radiofyr med sendereffekt under 10 W, er de andre utsendelsene svært sporadiske. Det er derfor lite sannsynlig at riktig bruk av radioamatørutstyr vil skape interferens med GPS.

5 ANDRE INTERFERENSSTUDIER

5.1 'FAA GPS risk Assessment Study'

The John Hopkins University har gjennomført studien 'GPS Risk Assessment Study' (6) for amerikanske luftfartsmyndigheter (Federal Aviation Administration (FAA)). Hensikten har vært å vurdere i hvilken grad GPS kan oppfylle kravene til, i framtiden, å være det eneste navigasjonssystem for sivil lufttrafikk. I denne studien inngår bla vurderinger av GPS's sårbarhet til interferens og jamming.

Konklusjonen i denne rapporten er at faren for at andre tjenester interfererer med GPS er liten. Tre potensielle interferensilder ble studert i større detalj: TV-kringkasting (spesielt kanal 23), VHF-radio (taxi, politi etc) og Over-the-horizon (OTH) radar. TV-kringkasting kan, på grunn av lave krav til demping av harmoniske, skape interferensproblem. Disse bør løses ved at tilleggsfiltrering innføres på TV-senderene som interfererer nær flyplasser. VHF-radioer har liten sendereffekt og kan kun påvirke GPS-mottakeren når de er svært nær hverandre. Rapporten slår også fast at svært få tilfeller av interferens er rapportert til amerikanske myndigheter. Kjennskapen til OTH-radarer var så liten at dette ikke er studert i detalj, men man anså en eventuell risiko bare å være tilstede svært nær OTH-radarens senderanlegg.

5.2 SINDRE III radar – kommunikasjon interferens

I forbindelse med planlegging av nye radarstasjoner har Forsvarets tele og datatjeneste og Luftforsvarets forsyningskommando engasjert firmaene Intech og Radian A/S til å gjennomføre en interferensstudie for Gaustadtoppen og Hummelfjell (7). Studien dekker bare L2-frekvensen. På Hummelfjell ble andre harmoniske av TV-senderen (1230 MHz) identifisert mens det på Gaustadtoppen ikke ble detektert signaler nær L2-frekvensen.

6 RAPPORTERTE TILFELLER AV INTERFERENS

6.1 Post og teletilsynet, Frekvenskontrollen

Kun ett verifisert tilfelle av interferens mot GPS er rapportert (16) til Frekvenskontrollen. Dette gjaldt en GPS- installasjon på Troll A- plattformen hvor en GPS- antenne var plassert i samme mast som antenner for GSM og NMT-900 mobiltelefon. GPS- installasjonen var en del av et system for å måle innsynking i havbunnen, og resultatet av forstyrrelsene ble unøyaktighet i posisjonsmålingen. Problemet ble løst ved å flytte GSM og NMT-900 antennene noen meter lenger ned i masten, slik at avstanden til GPS- antennen ble ca 4-5 meter.

Det er også blitt rapportert at GPS på lystbåter i nærheten av Kvitsøy og Sveio- senderne har blitt forstyrret, men dette er ikke verifisert.

Et eksempel på interferens med militær GPS har vi fra Trondenes Øvingsavdeling, som opererer Stridsbåt 90. Mellom Stangnes og Harstad har avdelingen erfart at det GPS- baserte kompasset blir forstyrret. Kompasset er basert på måling av faseforskjell ved mottak av GPS- signalene på to antenner. Sannsynlig årsak er interferens fra en militær radioinstallasjon på Stangnes. Installasjonen

består av flere HF- sendere med stor effekt. Det kan tenkes at forstyrrelsene skyldes at GPS-mottakerene drives i metning. Problemet er neppe harmonisk utstråling, siden frekvensforskjellen er så stor. Tilsvarende radioinstallasjoner finnes mange steder i Norge, og det kan være verdt å undersøke dette nærmere.

I tillegg til Frekvenskontrollen, Post og teletilsynet har det vært rettet uformelle henvendelser til:

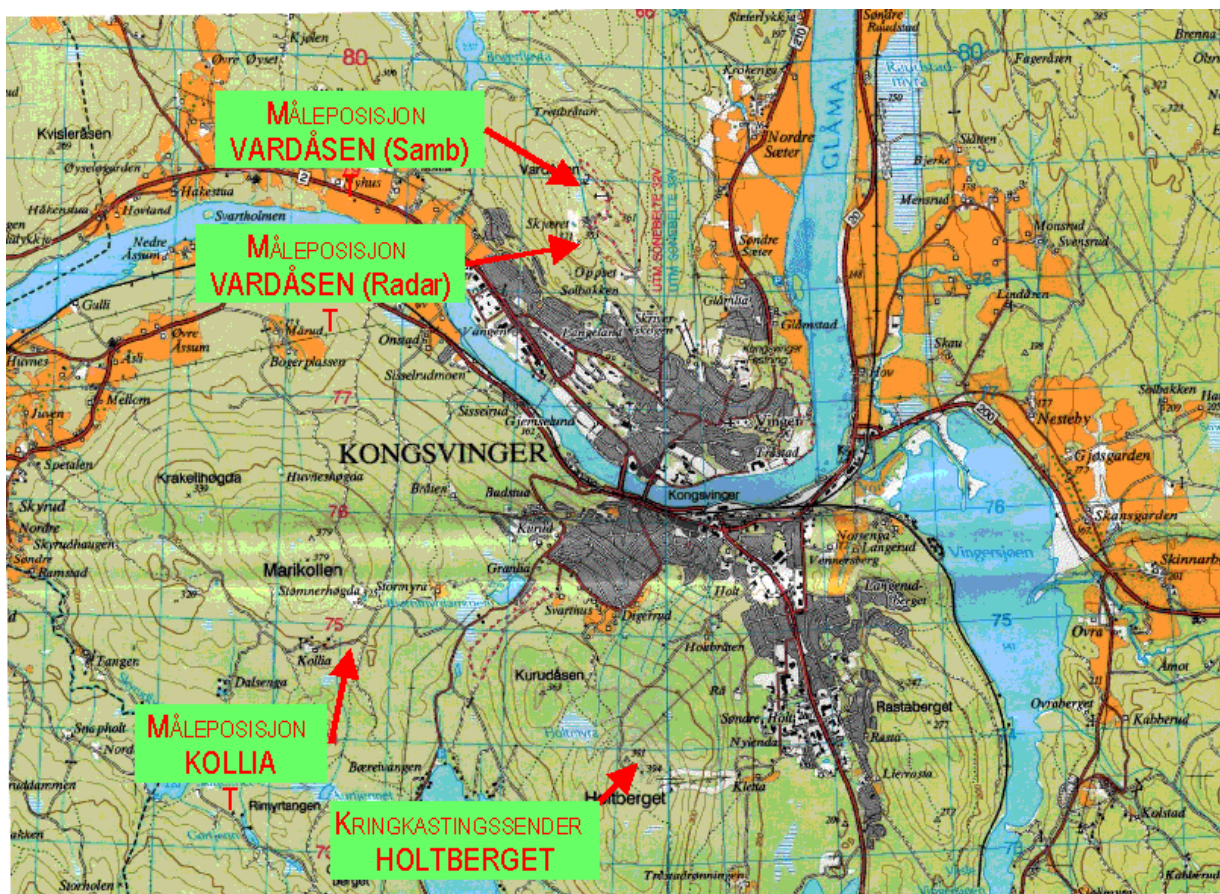
Telenor Nett AS, Norkring AS, Luftfartsverket, FTD, FKN og FO/I. Ingen av disse vet om tilfeller der det har vært påvist interferens med GPS mottakere.

7 INTERFERENSFORSØK

For å kartlegge mulige interferensproblem fra høyeffektstransmisjoner er det gjennomført ett praktisk forsøk nær en D-bånd radar og en VHF/UHF-kringkastingssender. Forsøket bestod i å kartlegge signalnivåene i og utenfor GPS-frekvensene og test av forskjellige GPS-mottakeres oppførsel under sterk påvirkning fra høyeffektssendere.

7.1 Scenarie

I forsøket ble det fra fire posisjoner gjort målinger av emittere på to forskjellige posisjoner slik som vist i Figur 7.1 og Tabell 7.1. Kongsvinger kringkastingssender er plassert på fjellet Holtberget syd for Kongsvinger by



Figur 7.1 Kart med emittere og måleposisjoner for GPS interferensforsøk

Sted	Posisjon		Høyde (GPS)	Avstand Kringkaster	Avstand Radar
Holtberget	N 60°10'03,7"	E11°59'37,5"	444 m	30 m	4500 m
Vardåsen (radar)	N 60°12'33,0"	E11°59'11,7"	380 m	4500 m	35 m
Vardåsen (samb)	N 60°12'43,9"	E11°59'08,9"	374 m	4800 m	300 m
Kollia	N 60°10'38,7"	E11°59'54,4"	326 m	2600 m	4100 m

Tabell 7.1 Geografisk informasjon om emittere og måleposisjoner

7.2 Måleoppstillingen

Måleoppstillingen er beskrevet i Appendiks A og alle målinger inkluderer en antenneforsterkning på omkring 7 dB.

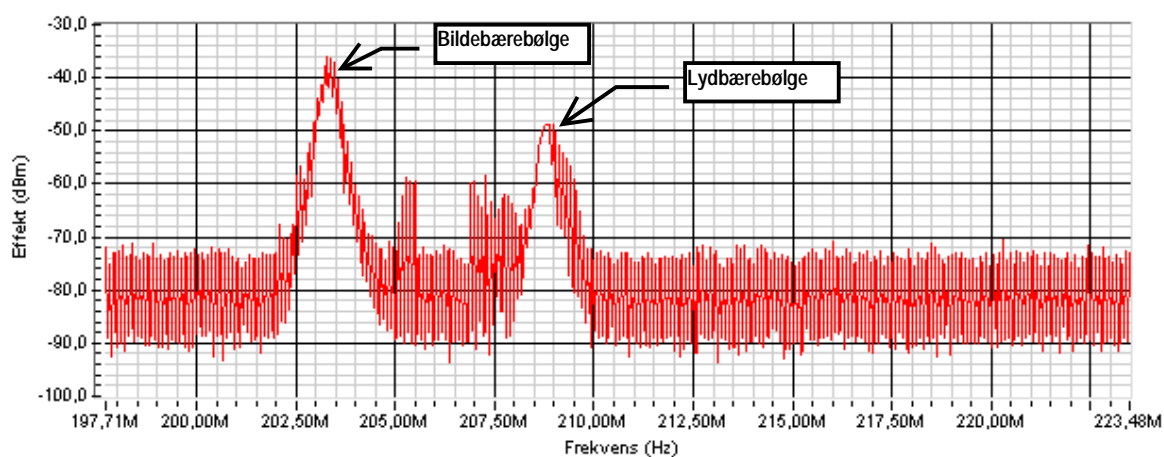
7.3 Målinger på kringkastingssenderen

Hensikten med målingene på kringkastingssenderen var å finne signalstyrken på målestedet, og bestemme dempingen til de overharmoniske signalene på GPS frekvensene. Målingene ble gjort ved kringkastingssenderen (Holtberget) og ved Kollia.

Utsendelsene fra Kongsvinger kringkaster er funnet i (12), og vist i Tabell 7.2. For TV-senderene er laveste angitte frekvens bildebærebølgen og høyeste frekvens er lydbærebølgen som skal være 13dB svakere enn bildebærebølgen. Spekteret til TV sendingen for NRK1 er vist i Figur 7.2.

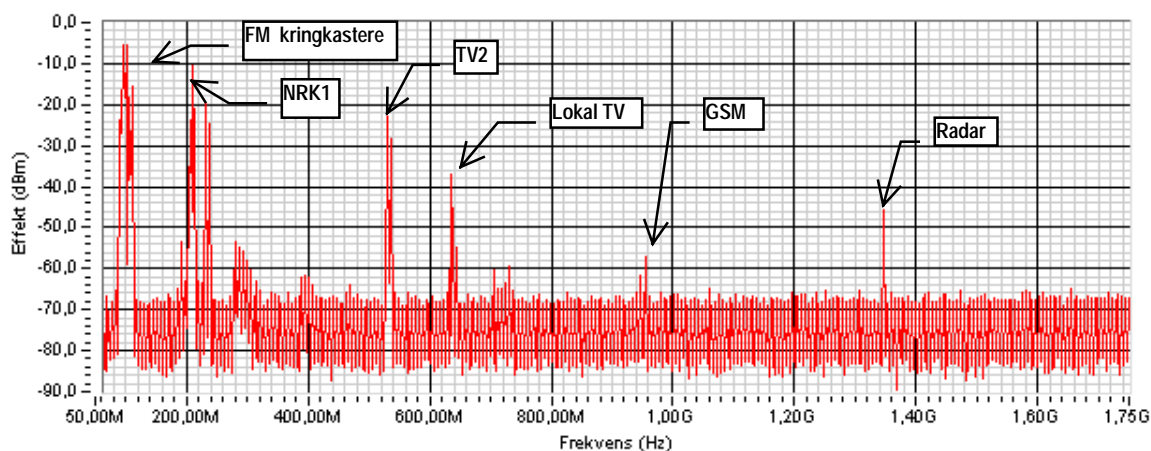
Program	Type	Frekvens	Effekt (EIRP)
NRK1	TV	203,25/208,25 MHz	60 kW
Lokal TV	TV	631,25/636,25 MHz	13 kW
TV2	TV	527,25/532,75 MHz	250 kW
P1	Radio	89,8 MHz	33 kW
P2	Radio	93,9 MHz	33 kW
P3	Radio	96,1 MHz	33 kW
P4	Radio	107,2 MHz	6,6 kW

Tabell 7.2 Emisjoner fra Kongsvinger kringkastingssender



Figur 7.2 Detaljer av spekteret fra NRK1 senderen

7.3.1 Målinger ved Kollia



Figur 7.3 Måling av spekteret fra 50 – 1750 MHz

Figur 7.3 viser mottatt signalstyrke av alle emisjonene fra 50 til 1750 MHz. Mottatt signalstyrke kan beregnes fra

$$S_{RX} = \frac{P_{TX} G_{TX} G_{RX} \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (7.1)$$

hvor

- P_{TX} = Utsendt effekt
- G_{TX} = Senderens antenneforsterkning
- G_{RX} = Mottakerens antenneforsterkning
- λ = Bølgelengden
- R = Avstanden
- L = diverse tap

og beregnet mottatt effekt fra senderene i Tabell 7.2 blir da som gitt i Tabell 7.3.

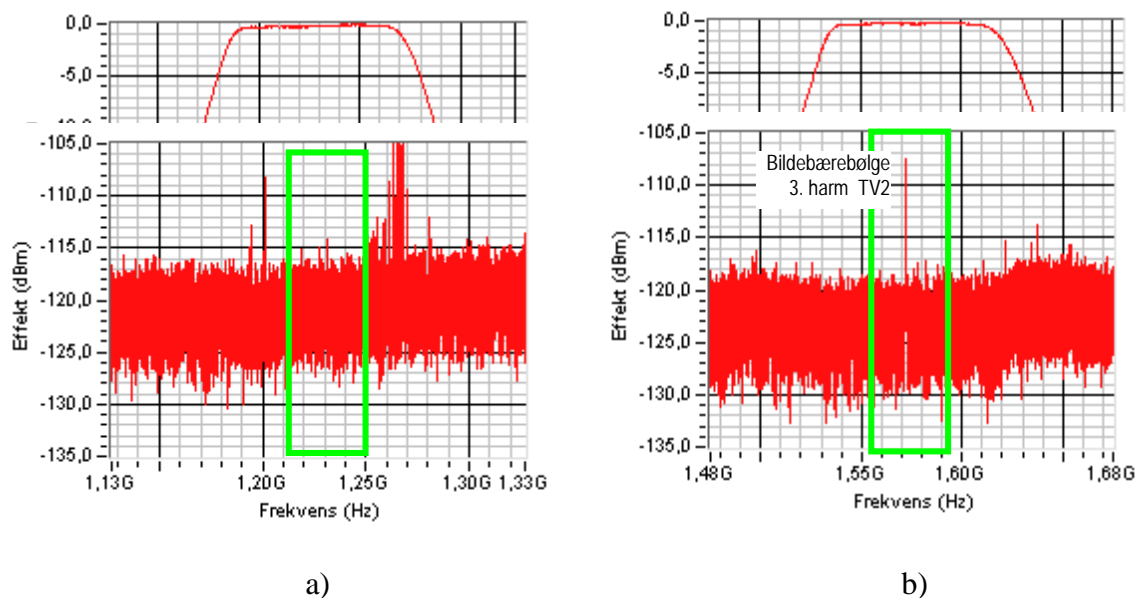
	Beregnet	Målt
NRK1	-2 dBm	-12 dBm
TV2	-4 dBm	-20 dBm
Lokal TV	-19 dBm	-38 dBm
Radio	+1 dBm	-6 dBm

Tabell 7.3 Beregnet og målt signal fra Kongsvinger kringkaster

Som vi ser av Tabell 7.3 er målt signalstyrke lavere enn beregnet signalstyrke. Hensikten med målingene var å finne signalstyrkene på stedet, *ikke* å studere utbredelse av kringkastingssignalene, og det er derfor ikke gjort målinger for å finne årsakene til forskjellene. Mulige årsaker kan være unøyaktig informasjon om sendereffekt, senderene er ikke 100% rundstrålende, senderen ligger 2° - 4° (avhengig av antennens plassering i masten) høyere enn måleposisjonen eller flerbaneutbredelse. For TV2-senderen på 527,25 MHz er antennediagram i horisontal- og vertikalplanet vist i Appendiks A, hvis vi antar vinkelen fra senderen til mottakeren er -3° har antennens forsterkning falt med omkring 10dB, og dette forklarer nesten hele forskjellen på beregnet og målt verdi.

7.3.1.1 Harmoniske signaler

Innvirkningen av overharmoniske fra kringkastingssendere er diskutert tidligere i rapporten, og kravene til demping av overharmoniske er 76dB, denne dempingen er så lav at de overharmoniske kan skape problem for GPS. Det var derfor spesielt interessant å måle de overharmoniske fra TV2 senderen fordi 3.harmoniske vil dekke GPS L1-frekvensene.

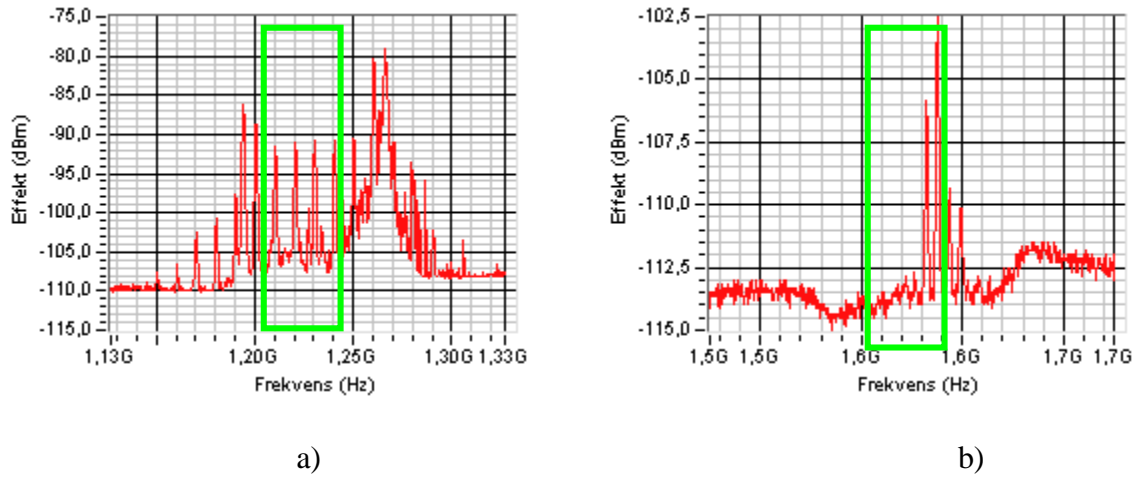


Figur 7.4 Spektrum målt på a) L2- og b) L1-frekvensene. Over spekteret er filterets karakteristikk vist

Målingene i Figur 7.4 er gjort med RF-båndbredde på 100kHz og videobåndbredde på 10kHz for å oppnå god følsomhet for 3. harmoniske av TV-senderendes bildebærebølge og undertrykke radaren noe. På L1-frekvensen er det likevel et betydelig gjennomslag av interferens fra radaren; en videre diskusjon av dette er gjort i avsnitt 7.4. Kringkastingssenderen for TV2 har en bildebærebølge på 527,25 MHz, og det gir en 3. harmoniske på 1581,75 MHz som tydelig kan sees i spekteret for L2-frekvensen. Signalnivået til den 3. harmoniske er målt til -107 dBm, sammenlignet med den grunnharmoniske som er målt til -20 dBm (se Tabell 7.3) er dette en demping på 87 dB. Kravet til demping av signalet er 76 dB slik at senderen tilfredsstiller dette med god margin.

7.3.2 Målinger på Holtberget

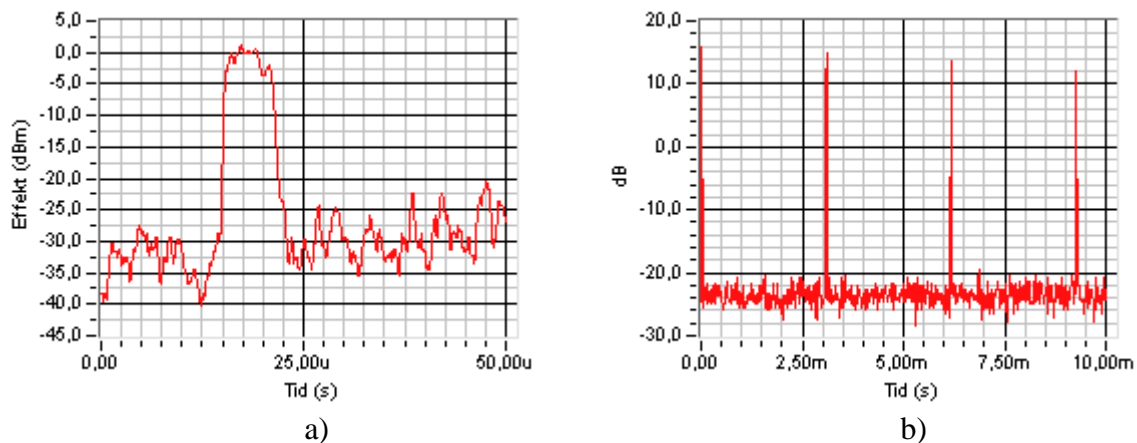
Disse målingene er gjort rett under masten slik at man er i antennenenes nærfelt og det er derfor vanskelig å beregne hva signalstyrken skal være. Figur 7.5 viser målingene av signalene på L2- og L1-frekvensene slik de ble målt når antennen pekte oppover mot senderantennene.



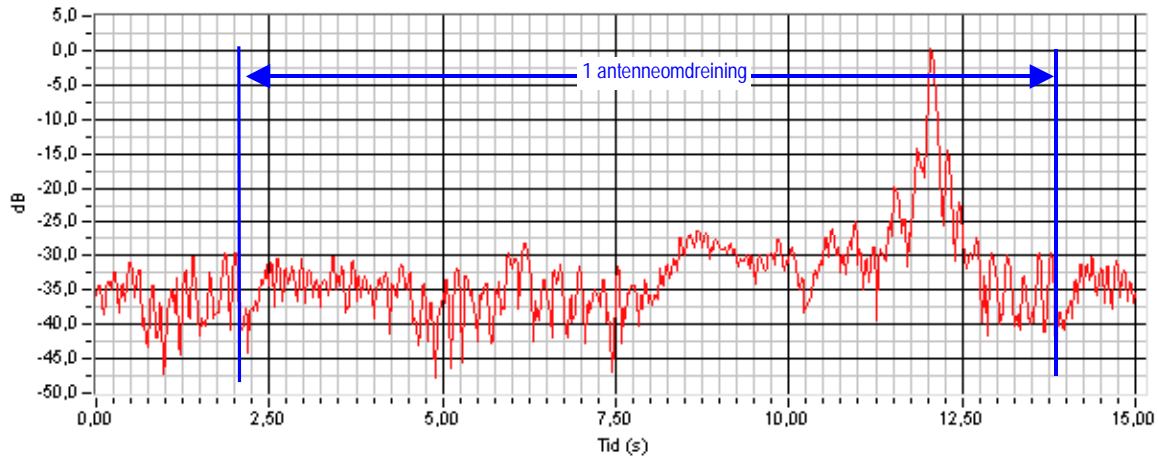
Figur 7.5 Målinger av signaler på a) på L2- og b) L1 frekvensene på Holtberget

7.4 Målinger av radarsignalet

Radaren på Kongsvinger er av typen FPS-110 som benytter to frekvenser, i tillegg er det en sekundærradar som opererer på 1030 MHz. Begge disse systemene benytter pulsede signaler, og måling av pulsede signal med spektrumsanalysator er beskrevet i Appendiks A. Sekundærradarens effekt er omkring 40 dB svakere enn primærradaren, og analysene er derfor konsentrert om primærradaren. I Figur 7.6 er radarsignalet vist i tidsdomenet, og det viser en kortvarig puls på $6,4\mu\text{s}$, pulsen er tofasemodulert med en 13 bit Barkerkode, og de repeteres med et pulsrepetisjonsintervall (PRI) på omkring 3ms. I tillegg modulerer antennens rotasjon signalets amplitude slik som vist i Figur 7.7. Dette betyr at GPS-mottakeren i korte perioder utsettes for et svært kraftig signal.

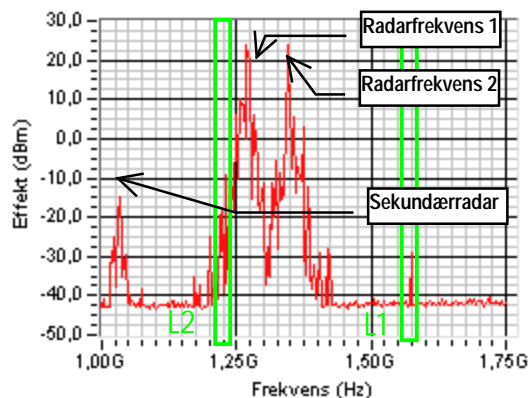


Figur 7.6 a) Puls lengde og b) pulsrepetisjonsintervall (PRI) til radaren



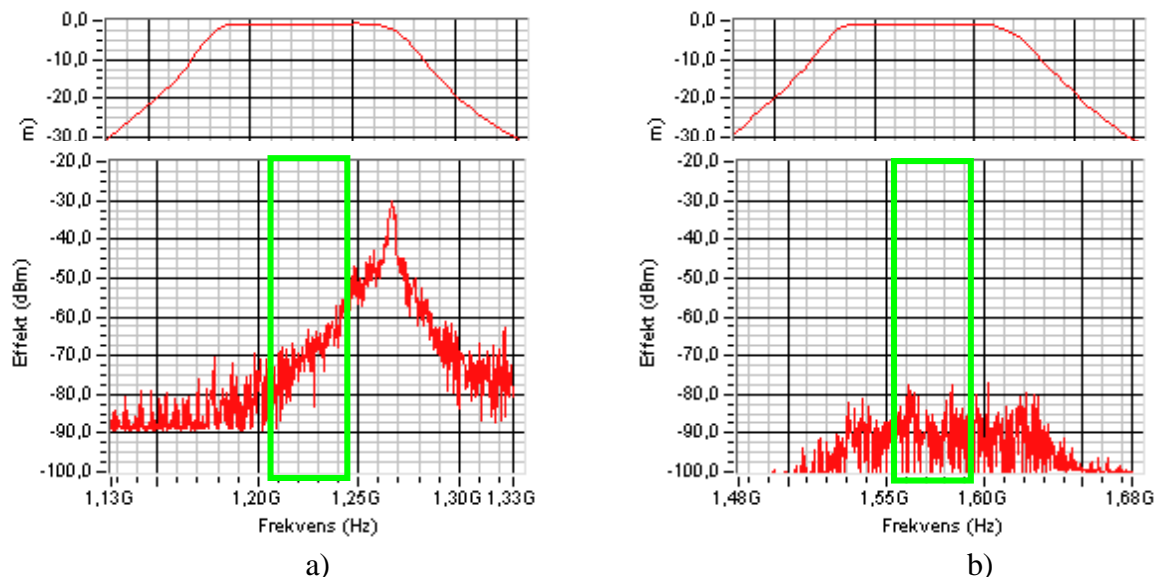
Figur 7.7 Antennediagrammet målt på den høyeste radarfrekvensen

Spekteret av signaler består av kringkastingssenderene og radarsignalene. For å registrere radarpulsene er det benyttet en RF- og videobåndbredde på 1 MHz, og funksjonen 'peak hold' er benyttet (se Appendiks A). Figur 7.8 viser signalet fra de to radarsenderene og sekundærradaren. Signalstyrken fra primærradaren er +24 dBm.



Figur 7.8 Målt spekter fra 1000 – 1750 MHz fra posisjon Vardåsen (Samb)

De samme målingene utført med filter og antenneforsterker på L1- og L2-frekvensene, se Figur 7.9. På L2-frekvensen, som ligger nærmest radarfrekvensen, er det et betydelig innslag av interferens fra radaren. Legg merke til hvordan filteret reduserer interferensen på de høyeste frekvensene. Også på L1-frekvensen er det tydelig å se hvordan filteret fjerner støy i stoppbåndet, og dette er en bekreftelse på at det målte signalnivået stammer fra eksterne kilder. Støynivået på L1-frekvensen i denne posisjonen er omkring 20 dB høyere enn på Kollia.



Figur 7.9 Spektrum målt på a) L2- og b) L1-frekvensene på Vardåsen (Samb). Over spekteret er filterets karakteristikk vist

7.5 GPS-mottakerenes oppførsel

Hensikten med forsøkene var å registrere hvordan GPS-mottakerene reagerte ved påvirkning av de forskjellige signalene. Informasjonen fra GPS-mottakerene ble logget til fil, og er i ettertid analysert. Mottakerene opererte i de fleste tilfeller normalt både med antall satellitter som ble fulgt og nøyaktigheten til målingene. Rapporten presenterer ikke detaljerte analyseresultater, men kommenterer de tilfellene hvor GPS-mottakerene ble negativt påvirket.

7.5.1 Magellan 320

Magellan 320 er en liten håndholdt GPS-mottaker beregnet til sivil bruk. Den benytter C/A-koden. På Vardåsen, både ved radaren og sambandsinstallasjonen, hadde mottakeren en del problemer. I noen tilfeller skrudde mottakeren seg helt av og når den var på ga den meldingen 'poor GPS coverage' ved flere anledninger. Ved Holtberget og Kollia opererte mottakeren som den skulle.

7.5.2 TrueTime XL-AK

TrueTime XL-AK er en sivil GPS-mottaker spesielt laget til bruk som tid- og frekvensreferanse. Den benytter en aktiv antenne og kan følge opp til åtte satellitter med C/A-kode. I posisjonen Vardåsen (Radar) ville mottakeren ikke låse på noen satellitter. I de andre posisjonene oppnådde mottakeren stabil låsing på satellittene etter normal tid for den benyttede oppstartsmodusen. Det skal bemerkes at antall satellitter man oppnådde låsing til på Holtberget varierte sterkt med antenneplasseringen.

7.5.3 Trimble TANS

Denne mottakeren er anskaffet som et GPS-kort (NAV 06) som er det samme som benyttes i Trimble TANS. GPS-kortet er bygd inn i en metallkasse som er montert under en bærbar PC, det er ikke gjort spesielle tiltak for å skjerme innstråling. Mottakeren benytter C/A-kode, og den opererte uten problem i alle posisjoner.

7.5.4 Trimble 4000DL

Trimble 4000DL er en moderne sivil GPS-mottaker, den benytter C/A-kode og kan benyttes til differensiell GPS. Mottakeren opererte uten problem i alle posisjoner.

7.5.5 Rockwell PLGR+96FED

Rockwell PLGR+96FED har også betegnelsen AN/PSN-11(V)1. Dette er en militær mottaker som i stor grad benyttes av det amerikanske forsvaret. Mottakeren opererer bare på L1-frekvensen og under testene ble P(Y)-kode benyttet. Mottakeren opererte uten problem i alle posisjoner.

8 OPPSUMMERING

Ved nøye planlegging av forskjellige tjenesters bruk av frekvensområdet og krav til utstråling fra alle typer utstyr forsøker man å unngå interferens. I Norge har Post- og teletilsynet bare mottatt rapport om ett tilfelle hvor GPS har blitt forstyrret. Selv om prosjektet har kjennskap til noen flere tilfeller er interferens med GPS et lite problem.

Radar og kringkasting er to høyeffektjenester som har blitt studert nærmere i prosjektet.

Kringkastingssendere kan produsere harmoniske signal på GPS-frekvensene. Det ble gjort forsøk med GPS-mottakere helt inntil og 4 - 5 km fra en kringkaster som har tredje harmoniske på L1-frekvensen og det viste seg at ingen av GPS-mottakerene ble forstyrret. Radarinterferens ble forsøkt ved å plassere GPS-mottakerene omkring 30 m og 500 m fra en D-bånd radar. I posisjonen nærmest radaren hadde to av fem mottakerene problem (den ene greide ikke å låse på noen satellitter, mens den andre til tider falt ut). I den andre posisjonen hadde en av mottakerene problem. Tatt i betraktning de korte måleavstandene må man si at GPS-mottakerene tåler pulsstøy godt, men pulsstøyens innvirkning bør forsøkes i forbindelse med de hardware-in-the-loop jammesimuleringer som skal gjennomføres. Ingen av de testede mottakerene benyttet L2-frekvensen. Radarer i D-bånd kan operere nær og på L2-frekvensene og det kan medføre betydelig større interferensproblem (spesielt i land som ikke selv kan utnytte L2-signalene).

APPENDIKS**A FORKORTELSER**

DAB	Digital Audio Broadcast
EMP	Elektromagnetisk puls
FAA	Federal Aviation Administration
FM	Frekvensmodulert
GPS	Global Positioning System
HF	Høyfrekvens (3 – 30 MHz)
HMP	Høyeffekt mikrobølgepuls
ITU	International Telecommunication Union
OTH	Over-the-horizon (radar)
PTT	Post og teletilsynet
PRI	Pulsrepetisjonsintervall
RF	Radiofrekvens

B KRINGKASTINGSENDERE MED EFFEKT > 1KW SOM HAR HARMONISKE I GPS-BÅNDENE

Tabellen under gir en oversikt over hvor langt fra en kringkastingssender det er fare for interferens med en GPS- mottaker. Tallene er "worst case", og forutsetter at kringkastingssenderen ligger på grensen av det som er tillatt av harmonisk utstråling. Frekvens og utstrålt effekt for senderne er hentet fra (12).

Fylke	Sender	Program	Kanal	Frekvens [MHz]	Effekt [kW]	Mulig Interf.	Harm#	Max avstand [m] fra sender for mulig interferens J/S=50dB, Sr=-160dBW, Gj=Lf=0dB Max harm eff=-76dB (max tillatt)	Max avstand [m] fra sender for mulig interferens J/S=25dB, Sr=-160dBW, Gj=Lf=0dB Max harm eff=-76dB (max tillatt)
Finnmark	Varanger	P1		88,1	30	L1	18	131	7381
		P1		88,1	30	L2	14	166	9323
		P4		105,8	6	L1	15	59	3301
Finnmark	Tana	NRK-1	8	196,25	60	L1	8	186	10438
		P1		92,5	24	L1	17	117	6602
Finnmark	Nordkapp	P2		95,4	15	L2	13	117	6593
		P3		98,2	15	L1	16	93	5219
		P4		102,5	3	L2	12	52	2948
Finnmark	Kautokeino	P2		93,8	35	L2	13	179	10070
		P3		99,2	35	L1	16	142	7972
Finnmark	Karasjok	NRK-1	5	175,25	10	L1	9	76	4261
		NRK-1	5	175,25	10	L2	7	96	5383
		P1		87,9	1,5	L1	18	29	1650
		P1		87,9	1,5	L2	14	37	2085
		P2		94,7	1,5	L2	13	37	2085
Finnmark	Iskuras	P3		92	2,2	L1	17	36	1999
Finnmark	Hammerf.	NRK-1	9	203,25	90	L2	6	287	16148
		P2		87,7	24	L1	18	117	6602
		P2		87,7	24	L2	14	148	8339
		P3		93,6	24	L2	13	148	8339
		P4		102,8	4,2	L2	12	62	3488
Finnmark	Alta1	P2		94,6	3,5	L2	13	57	3184
Troms	Trolltind	P1		88,2	50	L1	18	169	9529
		P1		88,2	50	L2	14	214	12036
		P2		94	50	L2	13	214	12036
		P4		101,7	5	L2	12	68	3806
Troms	Lyngen	NRK-1	5	175,25	3	L1	9	42	2334
		P1		93,3	4,2	L1	17	49	2762
		P1		93,3	4,2	L2	13	62	3488
Nordland	Kistefjell	NRK-1	8	196,25	87,5	L1	8	224	12605
		P4		103,1	4,4	L2	12	63	3571
Nordland	Vega	NRK-1	9	203,25	50	L2	6	214	12036
		Lokal TV	28	527,25	17,8	L1	3	101	5685
		P2		95,2	55	L2	13	224	12624
		P3		98,2	55	L1	16	178	9994
Nordland	Steigen	P4		102,8	5,5	L2	12	71	3992
		P2		97,8	106,5	L1	16	247	13907
		P3		93,9	107,56	L2	13	314	17654
Nordland	Salten	P4		102,1	13,37	L2	12	111	6224
		P1		93,3	48	L1	17	166	9336
Nordland	Kappfjell	P2		95,5	48	L2	13	210	11793
		NRK-1	8	196,25	2,97	L1	8	41	2322
Nordland	Hemnes	P1		95,5	2,27	L2	13	46	2565
		P3		93,4	2,35	L1	17	37	2066
		P3		93,4	2,35	L2	13	46	2609
		P4		103,4	2,07	L2	12	44	2449
Nordland	Hadsel	TV-2	39	615,25	2	L2	2	43	2407
		P1		88,5	36	L2	14	182	10213
		P4		104,2	7,2	L1	15	64	3616
Nordland	Hadsel	NRK-1	4	62,25	60	L2	18	234	13185
		P1		92,4	30	L1	17	131	7381
		P2		99,3	30	L1	16	131	7381
		P3		94,5	30	L2	13	166	9323
		P4		101,4	6	L2	12	74	4169
Nord-Tr.	Mosvik	P2		98,4	33	L1	16	138	7741
		P3		93,4	33	L2	13	174	9778
Nord-Tr.	Grong	NRK-1	5	175,25	100	L1	9	240	13476
		NRK-1	5	175,25	100	L2	7	303	17022
		P1		91,9	95	L1	17	234	13134
		P4		102	9,5	L2	12	93	5246
Nord-Tr.	Melhus	P1		92,4	60	L1	17	186	10438
		P3		99,1	60	L1	16	186	10438
Nord-Tr.	Kopparen	P1		88,3	49,94	L1	18	169	9523
		P1		88,3	49,94	L2	14	214	12029
		P2		94,5	55,12	L2	13	225	12637

Fylke	Sender	Program	Kanal	Frekvens [MHz]	Effekt [kW]	Mulig Interf.	Harm#	Max avstand [m] fra sender for mulig interferens	Max avstand [m] fra sender for mulig interferens
		P4		102,4	15,27	L2	12	118	6652
Møre og R.	Reinsfjell	P2		95,1	24	L2	13	148	8339
Møre og R.	Gamlemsv.	P1		91,9	50	L1	17	169	9529
		P4		102,8	50	L2	12	214	12036
Sogn og Fj.	Sogndal	P2		95,1	25	L2	13	151	8511
		P3		98,7	25	L1	16	120	6738
Sogn og Fj.	Nordfj. eid	P2		99,3	12	L1	16	83	4668
		P3		92,3	12	L1	17	83	4668
		P4		101,2	2,4	L2	12	47	2637
Sogn og Fj.	Gulen	P1		88	39	L1	18	150	8416
		P1		88	39	L2	14	189	10630
		P2		94,5	39	L2	13	189	10630
		P4		101,4	7,8	L2	12	85	4754
Sogn og Fj.	Førde	NRK-1	5	175,25	1,2	L1	9	26	1476
		NRK-1	5	175,25	1,2	L2	7	33	1865
		P1		92,8	12	L1	17	83	4668
		P4		102	2,4	L2	12	47	2637
Sogn og Fj.	Bremanger	NRK-1	4	62,25	80	L2	18	271	15225
		P1		93,6	46	L2	13	205	11545
		P2		98,1	46	L1	16	163	9140
		P4		103,2	9,2	L2	12	92	5163
Hordaland	Stord	NRK-1	5	175,25	60	L1	9	186	10438
		NRK-1		175,25	60	L2	7	234	13185
		P1		92,6	60	L1	17	186	10438
		P4		101,8	6	L2	12	74	4169
Hordaland	Lønahorgi	P1		93,3	48	L1	17	166	9336
		P2		88,3	48	L1	18	166	9336
		P2		88,3	48	L2	14	210	11793
Hordaland	Bergen	NRK-1	9	203,25	80	L2	6	271	15225
		P2		94,8	46	L2	13	205	11545
		P3		99	46	L1	16	163	9140
		P4		102,5	46	L2	12	205	11545
Oppland	Bagn	P2		95,3	35	L2	13	179	10070
		P3		88	35	L1	18	142	7972
		P3		88	35	L2	14	179	10070
		P4		102,1	7	L2	12	80	4504
Oppland	Jetta	NRK-1	8	196,25	95	L1	8	234	13134
		P4		101,6	8,5	L2	12	88	4963
Hedmark	Tron	NRK-1	9	203,25	67,5	L2	6	249	13985
		P1		98,3	24	L1	16	117	6602
		P3		94,3	24	L2	13	148	8339
		P4		102,5	6,25	L2	12	76	4255
Hedmark	Nordhue	NRK-1	5	175,25	40	L1	9	152	8523
		NRK-1	5	175,25	40	L2	7	191	10766
		TV-2	27	519,25	28	L1	3	127	7131
		P1		87,6	70	L1	18	200	11275
		P1		87,6	70	L2	14	253	14241
		P3		92,5	70	L1	17	200	11275
Hedmark	Kongsv.	NRK-1	9	203,25	60	L2	6	234	13185
		TV-2	28	527,25	250	L1	3	379	21307
		P2		93,9	33	L2	13	174	9778
Buskerud	Kongsberg	NRK-1	4	62,25	100	L2	18	303	17022
		P2		95,5	60	L2	13	234	13185
		P3		97,8	30	L1	16	131	7381
		P4		102,5	60	L2	12	234	13185
Oslo	Oslo	P3		93,5	45	L2	13	203	11419
		P3		93,5	45	L1	17	161	9040
		Alltid nyheter		93		L1	17		
Østfold	Halden	P1		94,8	72,5	L2	13	258	14494
		P3		101,5	72,5	L2	12	258	14494
Telemark	Gausta	NRK-1	8	196,25	45	L1	8	161	9040
		P4		103,1	7,15	L2	12	81	4552
Telemark	Skien	P1		88,2	80	L1	18	214	12053
		P1		88,2	80	L2	14	271	15225
		P2		92,3	80	L1	17	214	12053
		P4		105,2	80	L1	15	214	12053
A&V-Agder	Greipstad	P2		92,5	57,5	L1	17	182	10218
A&V-Agder	Hovdefjell	P1		87,8	25	L1	18	120	6738
		P1		87,8	25	L2	14	151	8511
		P2		93,7	25	L2	13	151	8511
A&V-Agder	Lyngdal	NRK-1	9	203,25	80	L2	6	271	15225
		P1		97,6	50	L1	16	169	9529
		P2		88,3	50	L1	18	169	9529
		P2		88,3	50	L2	14	214	12036
		P3		95	50	L2	13	214	12036
		P4		102	10	L2	12	96	5383
Rogaland	Bjerkreim	TV-2	27	519,25	42	L1	3	155	8733
		P1		94,2	60	L2	13	234	13185
		P2		98,7	60	L1	16	186	10438
Rogaland	Bokn	NRK-1	8	196,25	100	L1	8	240	13476
		P4		102,8	120	L2	12	332	18646

Tabell B.1 Harmoniske i GPS- båndene fra kringkastingssendere med effekt > 1kW

C BESKRIVELSE AV MÅLEOPPSTILLINGEN

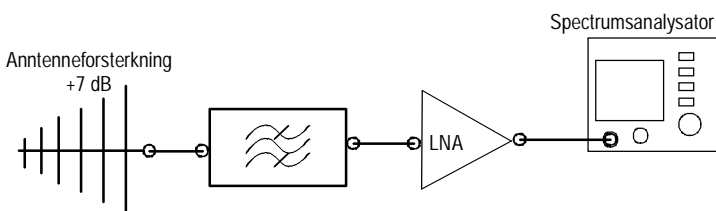
Målingene er utført med en HP8563E spektrumsanalysator. Oppsett av spektrumsanalysatoren og lagring av data ble gjort fra en PC programmert med LabVIEW™.

Ved måling av senderenes effekt ble antennen koblet direkte til spektrumsanalysatorens inngang og effektnivåene ble avlest direkte på spektrumsanalysatoren slik som Figur C.1 viser.

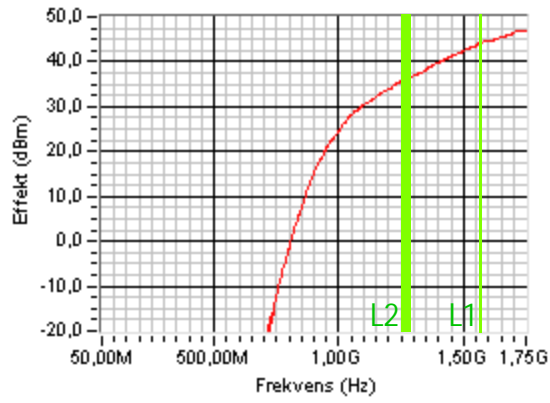


Figur C.1 Måleoppstilling for måling av senderenes effekt

Det var forventet at signalene på L1- og L2-frekvensene var svært svake. En spektrumsanalysator har vanligvis et høyt støytall ($NF \approx 30\text{dB}$) slik at spektrumsanalysatorens støygulv vil overstige de signalnivåene vi ønsker å måle. For å måle signalene på L1- og L2-frekvensene ble det derfor satt inn en Low Noise Amplifier (LNA) med et støytall på 3dB. Da målingene skulle gjennomføres var det ingen tilgjengelige LNAer beregnet for GPS-frekvensene, men den LNAen som ble benyttet ble målt for å fastslå forsterkningen (se Figur C.3). Selv om målebåndbredden til spektrumsanalysatoren er liten, har den en meget bredbåndet inngang og dette skaper lett uønskede mikseprodukt når sterke signal er tilstede. For å hindre senderenes grunnfrekvenser i å gi opphav til uønskede mikseprodukter ble det benyttet to filtre som dekket henholdsvis L1- og L2-frekvensene, filterresponsen er vist i Figur C.4. Måleoppstillingen er som vist i Figur C.2



Figur C.2 Måleoppstilling for måling av signaler på L1- og L2-frekvensene

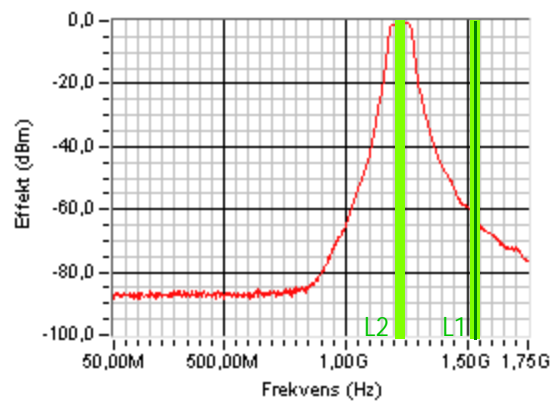
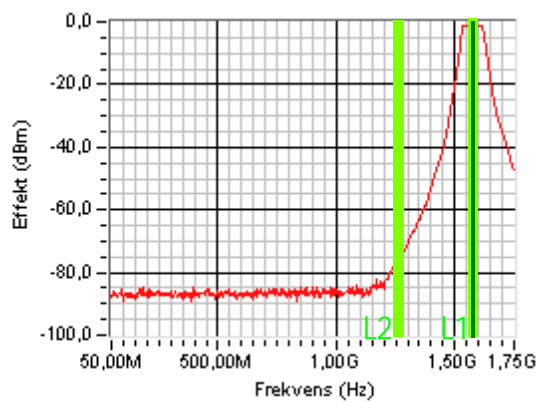


Frekvens	Forsterkning
----------	--------------

L1	+44dB
----	-------

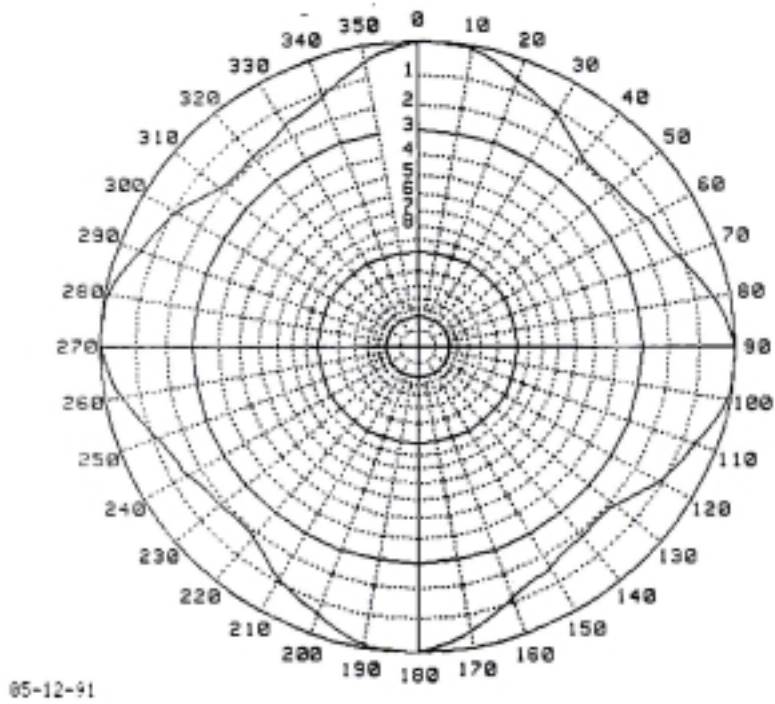
L2	+37dB
----	-------

Figur C.3 Karakteristikk av antenneforsterker

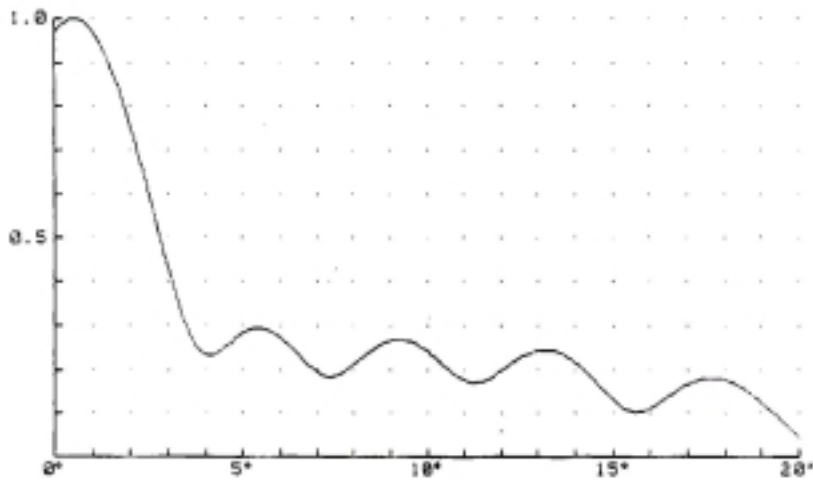


Figur C.4 Karakteristikk av filter for L1- og L2-frekvensene

D ANTENNEDIAGRAM FOR KRINGKASTINGSSENDER



Figur D.1 Antennediagram i horisontalplanet av senderen på 527,25 MHz



Figur D.2 Antennediagram i vertikalplanet av senderen på 527,25 MHz

Litteratur

- (1) Tabell for Norsk Frekvensplan, offentlig utgave, Post og teletilsynet, 4. november 1998.
- (2) Michael C. Stevens (1988): Secondary Surveillance Radar, Artech House.
- (3) F Klinker (1993): Determination of the minimum required filter characteristics of GPS PPS receivers, National Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Amsterdam.
- (4) Aeronautical telecommunications (1985), Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Vol 1, ICAO.
- (5) Technical characteristics of IFF Mk XA and Mk XII interrogators and transponders (1986), Standardization Agreement, STANAG 4193, Edition 3, NATO.
- (6) T M Corrigan et al (1999): GPS Risk Assessment Study Final Report, The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Maryland (USA).
- (7) Intech AS / Radian AS (1999): Radar Interference Evaluation for NODECA and AIRMATCOMNOR, Phase II Final Report (Restricted).
- (8) Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility (1993), MIL-STD-461D
- (9) Radar Engineering Interface Requirements, Electromagnetic Compatibility (1996), MIL-STD-496B
- (10) T Borza, I Fejes (1999): GPS Interference in Hungary, Paper, The 5th International Seminar on GPS in Central Europe, Penc, Hungary, 5-7 May.
- (11) Post og teletilsynet (1994): Forskrift om typegodkjenning av tv-sendere
- (12) Norkring AS (1998): Kringkastingsstasjoner i Norge. Riksdekkende program 1998/99
- (13) ANNEX A to NATO STANAG 4175 : Side A-238.
- (14) Forskrift om radioamatørlisens, Post og teletilsynet (1995)
- (15) Post og teletilsynet - Frekvensforvaltning (2000):
<http://www.npt.no/norsk/fagomraader/frekvensforvaltning/dokumenter/radiolinje>.
- (16) Ove Tovås (2000): E-post, Post og teletilsynet, Ski målestasjon.

FORDELINGSLISTE

FFIE
Dato: 7 desember 2000

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR		RAPPORT NR. 2000/06205	REFERANSE FFIE/783/113	RAPPORTENS DATO 7 desember 2000
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT 40	ANTALL SIDER 33	
RAPPORTENS TITTEL MULIGE INTERFERENSKILDER FOR GPS		FORFATTER(E) ØHRA Hans, KULBOTTEN Gunnar		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:		

EKSTERN FORDELING
INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		HFK v/Inge Hopen	14		FFI-Bibl
			1		Adm direktør/stabssjef
			1		FFIE
1		FO/E v/Tom Grønlien	1		FFISYS
			1		FFIBM
			1		FFIN
1		FO/HST v/Maj Geir Fredrik Sissener	1		Torleiv Maseng, FFIE
			1		Arne Slåstad, FFIE
			1		Frode Johan Lillevold, FFIE
1		LTI v/Oblt Morten A Hansen	1		Geir Heltzen Garpe, FFIE
			1		Gunnar Kulbotten, FFIE
			1		Hans Øhra, FFIE
1		FO/O v/Oblt Gaute Dyrdal	1		Håkon Vinge, FFIE
			1		Jarle Synnevåg, FFIE
			1		Ørnulf Kandola, FFIE
1		KNM T v/ KL Rune Crowo	1		Arkiv, FFIE
					FFI-veven
1		SBR/EK-seks v/Maj Liv Lundstein			
1		v/Kapt Torkjell Haugen			
1		SBR/VSHSB v/Kapt Rune Breigutu			
1		SFK v/OK Lars Giske			
1		Post og teletilsynet, Ski målestasjon v/Ove Tovås			

FFI-K1 Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.