



r

SSI Rapport

SSI report

2002:01 GERT ANGER

*SAR och utstrålad effekt
för 21 mobiltelefoner*



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Authority

FÖRFATTARE/AUTHOR: Gert Anger

AVDELNING/ DIVISION: Avdelning för miljöövervakning och mätberedskap/
Division for environmental and emergency assessment

TITEL/TITLE: SAR och utstrålad effekt för 21 mobiltelefoner/ SAR and emitted power for 21 mobile phones

SAMMANFATTNING: Rapporten presenterar resultaten från mätningar av 21 olika mobiltelefoners SAR-värde och utstrålad effekt. Ett syfte var att undersöka om information om utstrålad effekt kan kombineras med uppgifter om SAR för att beskriva telefonernas prestanda. SAR-mätningar gjordes enligt en CENELEC-måtspecifikation från 1998. För mätning av telefonens utstrålad effekt användes det tredimensionella PIM-förfarandet.

SUMMARY: The report presents the results from measurements of SAR and emitted power of 21 mobile phones. One purpose of the study was to test whether information about emitted power can be used together with information about SAR in order to describe the performance of mobile phones. SAR-measurements were done according to a CENELEC specification from 1998. The three-dimensional PIM-procedure was used to measure emitted power.

For every test object a quotient of SAR (W/kg) and emitted power (W) was calculated. The quotient varied between 0.24 and 2.9 W/kg/W at 900 MHz and between 0.76 and 5.4 W/kg/W at 1800 MHz.

The highest SAR-value of the test objects varied between 0.49 and 1.7 W/kg. For the same mobile phone the SAR-values at 900 MHz and 1800 MHz could differ considerably. At 900 MHz the highest SAR-values were generally measured at a position with the telephone close to the "cheek" of a phantom-head, while the lowest SAR-values were found at a position where the lower part of the phone was angled away from the head. Telephones with extractable antenna, however, had lower SAR-values at the position close to the "cheek" than the outwards angled position. At 1800 MHz the highest SAR-values were generally measured at the outwards angled position and the lowest values were observed at the position close to the "cheek". Telephones with antennas behind a loudspeaker cover that can be raised, however, had higher SAR-values at the "cheek"-position than in the outwards angled position. At 900 MHz in average there was no obvious difference between SAR-values of telephones with different type of antennas. At 1800 MHz, however, SAR-values were slightly lower for telephones with built-in antennas than for other test objects.

The emitted power of the test objects varied at 900 MHz with phantom-head between 0.19 and 0.49 W. In average telephones could use 16 percent of the nominal power for GSM-phones of 2 W to communicate. Different kinds of losses are resulting in that only 38 percent of power could be used for information-transmission even without phantom-head. At 1800 MHz in presence of the phantom-head the emitted power varied between 0.056 and 0.26 W. In average 17 percent of the permitted power of 1 W could be used for the transfer of information. All telephones had greater directivity at 1800 MHz than at 900 MHz, both with phantom-head and in free space. When the test objects were placed close to the phantom-head the directivity increased in average with a factor of two at 900 MHz and 1.8 at 1800 MHz, respectively. Three- and two-dimensional radiation-diagrams are shown for all test objects, too, in order to illustrate the mobile phones' different directivity and ability to transmit radio waves to the surrounding.

SSI rapport : 2002:01

januari 2002

ISSN 0282-4434

Författarna svarar själva för innehållet i rapporten.

The conclusions and viewpoints presented in the report are those of the author and do not necessarily coincide with those of the SSI.



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Authority

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| 1. Inledning | 3 |
| 2. Mobiltelefonens funktion | 4 |
| 2.1 Signalens väg genom telefonen | 4 |
| 2.2 Frekvenser och effekter av GSM-telefoner | 4 |
| 2.3 Nedreglering | 5 |
| 2.4 Telefonens utstrålningsegenskaper | 5 |
| 3. Gränsvärden för radiofrekventa fält från mobiltelefoner | 6 |
| 4. Material och metoder | 7 |
| 4.1 Mobiltelefoner | 7 |
| 4.2 Mätning av SAR-värdet | 7 |
| Europeisk mätspecifikation | 7 |
| Fantomet | 8 |
| Positionering av telefonen | 8 |
| Mätutförandet | 9 |
| Ny europeisk mätstandard | 9 |
| 4.3 Mätning av utstrålad effekt och direktivitet | 10 |
| Mätuppställning | 10 |
| Mätlokal | 10 |
| Mätning med fantomhuvud | 10 |
| Mätning i fritt rum (utan fantomhuvud) | 12 |
| Kalibrering och mätonoggrannhet | 12 |
| 5. Resultat | 13 |
| 5.1 Resultat från SAR-mätningar | 13 |
| Högsta uppmätta SAR-värden | 13 |
| SAR vid olika mätpositioner | 13 |
| SAR för mobiltelefoner med olika typer av antenner | 14 |
| 5.2 Resultat från mätningar av utstrålad effekt | 16 |
| Utstrålad effekt vid 900 MHz | 16 |
| Utstrålad effekt vid 1800 MHz | 16 |
| Utstrålad effekt för mobiltelefoner med olika typer av antenner | 17 |
| Direktivitet | 17 |
| Strålningsdiagram | 18 |
| 5.3 SAR och utstrålad effekt | 18 |
| 6. Sammanfattning | 21 |
| 7. Referenser | 23 |
| Bilaga A: Bilder på mätobjekt | 24 |
| Bilaga B: Kompletterande resultatredovisning | 27 |
| B.1 Resultat från SAR-mätningar | 27 |
| SAR-värden vid 900 MHz | 27 |
| SAR-värden vid 1800 MHz | 29 |
| SAR vid vänster och höger sida av huvudet | 29 |
| SAR för olika typer av telefonantenner | 31 |
| SAR och telefonens storlek | 33 |

| | |
|---|----|
| B.2 Resultat från mätningar av utstrålad effekt | 33 |
| Utstrålad effekt vid 900 MHz | 33 |
| Utstrålad effekt vid 1800 MHz | 34 |
| Direktivitet | 35 |
| 3D- och 2D-diagram | 35 |
| B.3 SAR och utstrålad effekt | 36 |
| Bilaga C: 3D-diagram över utstrålad effekt | 39 |
| C.1 Koordinatsystem | 39 |
| C.2 Exempel: Mätobjekt 7 | 39 |
| C.3 Allmänna tolkningar av 3D-diagrammen | 40 |
| C.4 3D-diagram över utstrålad effekt för samtliga mätobjekt | 42 |
| Bilaga D: Tvådimensionella strålningsdiagram | 59 |
| D.1 Koordinatsystem | 59 |
| D.2 Exempel: Mätobjekt 7 | 59 |
| D.3 Allmänna tolkningar av 2D-diagrammen | 60 |
| D.4 2D-diagram över utstrålad effekt för samtliga mätobjekt | 61 |

1. Inledning

Användning av elektromagnetisk vågrörelse för radiokommunikation har sitt ursprung i Marconis lyckade försök med trådlös telegrafi för mer än hundra år sedan. Sedan dess har bl.a. rundradio och TV fått spridning runt hela jordklotet och idag finns det knappt något frekvensband inom det radiofrekventa spektrat kvar som inte utnyttjas för någon form av telekommunikation.

Sedan det första mobiltelefonnätet, det analoga NMT450-systemet, introducerades 1981 i Sverige har användningen av mobiltelefoner ökat i stor omfattning. Med den vida spridningen av mobiltelefonin runt hela världen har också frågorna om eventuella risker med exponering för elektromagnetiska fält fått allt större betydelse och uppmärksamhet. Sedan början av sjuttioalet har det funnits regler som begränsar exponering för radiofrekventa fält. Gränsvärdena har under tiden anpassats till nya forskningsrön och rådande kunskapslägen. Den europeiska kommissionen gav 1999 ut rekommendationer för gränsvärden för allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält, som är baserade på riktlinjer från den internationella strålskyddskommissionen för icke joniserande strålning ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). SSI kommer att överföra EU:s rekommendationer till allmänna råd i Sverige.

Mobiltelefonen utgör i regel den starkaste källan för allmänhetens exponering för radiofrekventa fält. Dessa fält överstiger den exponering som allmänheten utsätts för från mobiltelefonens basstationer vanligtvis med flera storleksordningar. För mobiltelefoner måste därför tillverkaren säkerställa att telefonen vid normal användning inte kan ge mera radiofrekvent energi till t.ex. huvudet än vad som är tillåten enligt gällande gränsvärden. Från olika håll har det också framförts krav att tillverkaren, som önskvärd konsumentupplysning, ska ange det maximala värdet för energin, det s.k. SAR-värdet, som telefonen kan överföra till huvudet.

SSI publicerade i februari år 2000 SAR-värden för 20 mobiltelefoner och två trådlösa DECT-telefoner. Mätningarna av SAR-värdena utfördes av ett auktoriserat mätlaboratorium på uppdrag av SSI inom ramen för den föreliggande undersökningen. De uppmätta SAR-värdena är de högsta som telefonerna kan ge upphov till, eftersom mätningar görs när telefonerna sänder med starkast möjliga effekt. I en brukssituation använder en telefon dock endast den effektstyrka som behövs för att uppnå bra kontakt med närmaste basstation. Mätningen av SAR-värdena utgjorde därför endast den första delen av SSI:s undersökning. Den andra delen omfattade upptagningen av telefonernas totala utstrålade effekt, uppmätt på ett avstånd av 4,5 m från telefonen. I en telefon med fullgod funktion är det eftersträvarsvärt att sändarens effekt ska kunna utnyttjas för överföring av information med så få förluster som möjligt. Samtidigt är det också önskvärt att huvudet eller andra kroppsdelar intill absorberar så lite som möjligt av den från telefonen utsända radiofrekventa energin. Dessa båda krav kan vara svåra att förena, men telefontillverkaren kan med hjälp av olika konstruktionsdetaljer få fram olika lösningar. Syftet med denna undersökning är att komplettera upplysningen om SAR-värdena med en beskrivning av telefonernas prestanda med avseende på deras utstrålningsegenskaper och kommunikationsförmåga.

2. Mobiltelefonens funktion

2.1 SIGNALENS VÄG GENOM TELEFONEN

Mobiltelefonen är uppbyggd av ett antal olika komponenter. När man pratar i en mobiltelefon görs ljudvågorna i mikrofonen om till en elektrisk signal. Denna analoga växelspanning omformas i telefonen till en digital talsignal, som görs om till en kod och förses med extra databitar. Datasignalen innehåller kontrollfunktioner och styrinformationer, som gör det möjligt att återskapa det ursprungliga talet i den mottagande mobiltelefonen. Innan dess passerar datasignalen först telefonens SIM-kort, som innehåller en kryptonyckel och en mikroprocessor som krypterar datasignalen. Därefter leds signalen till en liten, svag radiosändare som finns i mobiltelefonen. Där omvandlas datasignalen först till en analog signal som sedan modulerar sändarens sändarfrekvens på 900 eller 1800 MHz. Blandningssignalen förstärks och matas till telefonens antenn, som sänder iväg radiovågor och som bär med sig den information som representerar talet.

I mobiltelefonen finns också en liten, känslig radiomottagare som tar emot radiosignalen. Radiosignalen fångas upp av telefonens antenn och leds till mottagaren, där den demoduleras. Signalen passerar sedan SIM-kortet igen och den avkodas och digital-analog omvandlas innan den analoga talspänningen i hörtelefonen omformas till ljudvågor igen. Strömmen, som driver alla dessa elektroniska kretsar, levereras av telefonens batteri.

Ett samtal kan dock inte föras direkt mellan två telefoner. Radiovågorna som sänds ut från en telefon tas först emot av antennen på närmaste basstation. Precis som telefonen innehåller basstationen också en sändare och en mottagare och liknande kretsar för kryptering och kodning och avkodning. Sker samtalen i samma nät så kopplas de ihop i stationens mobilteleväxel, annars skickas de vidare till näten av andra mobiloperatörer eller till det fasta nätet. För vidare läsning se [1].

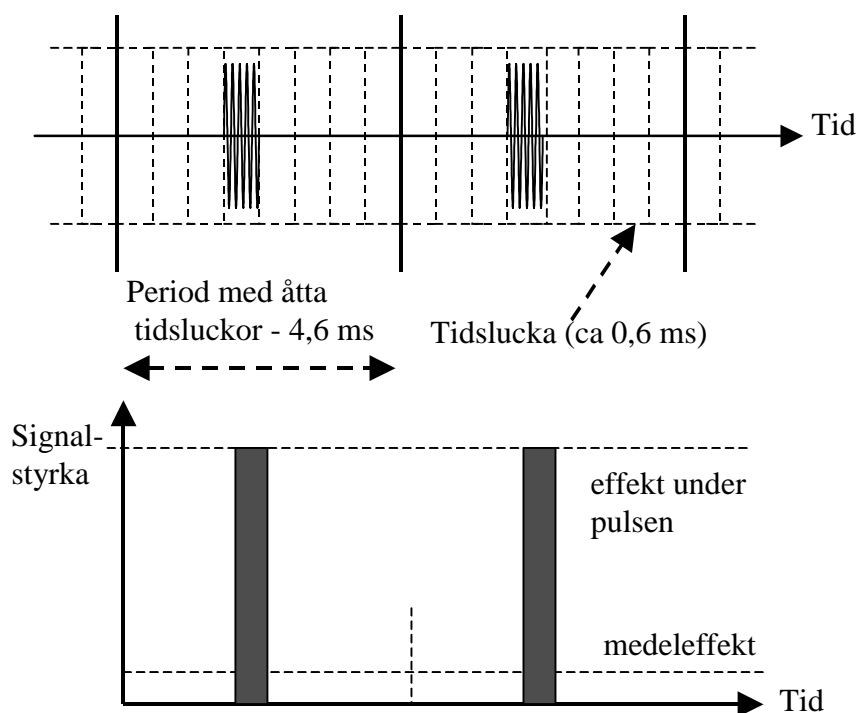
2.2 FREKVENSER OCH EFFEKTER AV GSM-TELEFONEN

Mobiltelefonerna i denna rapport är avsedda att användas i GSM-nätet (Global System for Mobile Communication). För andra typer av mobiltelefonnät se [2]. GSM-systemet utnyttjar radiovågor antingen omkring 900 MHz eller omkring 1800 MHz. 1800-MHz-nätet används företrädesvis i stadsbebyggelse som komplement till nätet på 900 MHz. Kommunikationen från telefon till basstation (upplänk) sker i frekvensbanden 890 – 914 MHz respektive 1710 – 1785 MHz. Telefonen tar emot radiovågor från basstationer (nedlänk) i banden 935 – 959 MHz respektive 1805 – 1880 MHz. Mobiltelefoner som kan utnyttja både 900 MHz och 1800 MHz kallas dual band. Användaren kan inte själv bestämma i vilket frekvensband samtalet överförs, utan detta styrs automatiskt av nätet.

Mobiltelefonen alstrar inga radiovågor när den är avstängd. Påslagen kan den vara väntande, då endast mottagaren är i drift, eller aktiv, då ett samtal pågår. En viss trafik pågår dock också när telefonen är i väntande läge. Telefonen talar var tredje till fjärde timma om för systemet var den befinner sig med en signal på ca 5 sekunder (uppdatering). En uppdateringssignal sänds också när telefonen flyttas från ett geografiskt område till ett annat. Även när telefonen sätts på eller stängs av, eller när någon meddelande sänds eller tas emot, eller vid datatrafik är telefonens sändare aktiv.

Styrkan, som telefonens sändare kan sända med, bestäms av dess uteffekt, som anges i Watt (W). I GSM-systemet sänder telefonen under ett samtal inte kontinuerligt utan endast i en av hela periodens åtta tidsluckor (TDMA, se vidare under [2]), se figur 1. De andra sju tidsluckorna disponeras av andra användare inom samma frekvensband. Enligt en internationell norm får en GSM-telefon vid 900 MHz sända med en maximal nominell effekt på 2 W i pulsen inom tidsluckan. Då telefonen bara använder en åttondel av hela perioden blir telefonens maximala genomsnittliga effekt 0,25 W.

I mobiltelefonsamband används för effekten ofta det logaritmiska måttet dBm. Det definieras genom $\text{dBm} = 10 \cdot \lg(P/1 \text{ mW})$ där P är effekten i mW ($1 \text{ W} = 1000 \text{ mW}$). 2 W motsvaras således av 33 dBm. Den åtta gånger lägre genomsnittliga effekten på 0,250 W (=250 mW) innebär en minskning av effekten med 9 dB till 24 dBm. Normen för en GSM-telefon föreskriver vid 900 MHz en maximal sändareffekt på $33 \pm 2 \text{ dBm}$ (1,259 – 3,162 W med nominella värdet på 1,995 W). Den föreskrivna sändareffekten vid 1800 MHz är på $30 \pm 2 \text{ dBm}$, vilket motsvarar 0,631 – 1,585 W med en nominell effekt på 1 W. Den högsta genomsnittliga effekten blir i detta frekvensband således 0,125 W (eller 21 dBm). Telefonens faktiska uteffekt inom ovan givna intervaller bestäms av tillverkaren.



Figur 1: Variation i signaltrafiken under pågående samtal. Medeleffekten är 1/8 av effekten under pulsen. (från [2])

2.3 NEDREGLERING

Under ett samtal sänder en telefon inte alltid med högsta styrka. För att minska störningsrisken för samtal i angränsande områden innehåller GSM-systemet en funktion som reglerar ner telefonens sändarstyrka till den nivå som behövs för signalöverföring till närmaste basstation. Nedreglering av telefonens sändare kan ske i tio steg till en lägsta genomsnittlig effekt på 0,0004 W (-4 dBm) vid 900 MHz och 0,0001 W (-10 dBm) vid 1800 MHz. Det tar i regel 3 - 5 sekunder innan nedregleringen av telefonen har verkställts och under denna tid sänder telefonen med högsta tillåtna effekt. Nivån på nedregleringen beror bl.a. på avståndet till närmaste basstation och/eller skärmande hinder mellan denna och telefonen och den påverkar bl.a. batteriets taltid. Dessutom sänder telefonen med mindre styrka så länge man endast lyssnar och inte pratar själv i telefonen.

2.4 TELEFONENS UTSTRÅLNINGSEGENSKAPER

I en välfungerande telefon är det önskvärt att så mycket som möjligt av sändarens uteffekt används för signalöverföring till basstationen. Telefonens utstrålningskaraktistik kan påverkas bl.a. av telefonens och antennens utformning, t.ex. om antennen är inbyggd eller utdragbar eller består av en kort antenn av helixtyp. En del förluster kan pga. olika tekniska skäl redan uppstå i telefonen, t.ex. vid kontakten mellan sändarens utgång och antennen. Radiovågornas utbredning från antennen påverkas också av närheten till användarens kropp. En del radiovågor avböjs eller reflekteras av kroppen och en del absorberas i närliggande kroppsdelar, där radiovågornas energi omvandlas till värme.

När telefonen, t.ex. efter nedreglering, sänder med lägre styrka än maximal effekt leder det också till att mindre energi absorberas i kroppen, t.ex. i huvudet. Andra faktorer som kan påverka SAR-värdet är t.ex. telefonens och antennens utformning samt avståndet mellan huvudet eller andra kroppsdelar och de vid sändningen aktiva delarna i telefonen. Avståndsfaktorn är därvid av stor betydelse eftersom SAR-värdet avtar snabbt med avståndet mellan huvudet och telefonen.

3. Gränsvärden för radiofrekventa fält från mobiltelefoner

Energien som telefonens radiovågor maximalt får deponera t.ex. i huvudet är reglerad genom internationella gränsvärden. Den biologiskt relevanta parametern som beskriver effekterna av elektromagnetiska fält i kroppen inom frekvensområdet 100 kHz – 10 GHz är det så kallade SAR-värdet (Specific Absorption Rate). Detta är ett mått på den energi som varje sekund tas upp av kroppen per kilogram kroppsvikt och anges i W/kg, se fotnot 1.

SAR-värdet utgör vid en viss nivå den gräns som inte får överstigas. Därmed säkerställs att en otillåten uppvärmning av kroppsvävnad genom elektromagnetisk energi förhindras. Gällande gränsvärden bygger på att det finns övertygande vetenskapliga belägg för att oönskade hälsoeffekter kan uppstå om exponeringen överstiger ett visst tröskelvärde. När gränsvärdet fastställdes har man också tagit hänsyn till säkerhetsfaktorer; gränsvärdet förutsätts att vara 50 gånger lägre än tröskelvärdet. Baserat på riktlinjer från ICNIRP [3] anvisar EU ett gränsvärde på 2 W/kg för huvudet mätt som medelvärde under 6 minuter och för en vävnadsvolym med en vikt på 10 g [4].

Det är dock inte utan vidare möjligt att bestämma SAR-värdet i kroppen. Därför definieras referensvärden för de radiofrekventa fältens elektriska och magnetiska fältstyrka och strålningstäthet, som går att mäta utanför kroppen och som är direkt härledda från SAR-gränsvärdet. Så länge de fastställda referensvärdena utanför kroppen iaktas kommer SAR-gränsvärdet i kroppen inte överstigas. Referensvärdena får dock överskridas. I dessa fall måste det med hjälp av lämpliga metoder visas att de radiofrekventa fälten ger upphov till SAR-värden som är lägre än gränsvärdet. I omedelbar närhet av mobiltelefonen är de radiofrekventa fälten högre än referensvärdena. Därför måste en noggrant utformad mätmetod användas för att demonstrera att gränsvärdet på 2 W/kg inte kan överskridas vid användning av mobiltelefonen.

1: SAR-värdet definieras med hjälp av ekvationen $SAR = c \cdot \partial T / \partial t$, där $\partial T / \partial t$ beskriver den momentana temperaturökningen i kroppsvävnaden och c utgör vävnadens specifika värmekapacitet. SAR-värdet kan beräknas med hjälp av den elektriska fältstyrkan E som induceras inne i kroppen vid exponering för elektromagnetiska fält enligt $SAR = \sigma \cdot E^2 / \rho$, där σ är kroppsvävnadens elektriska ledningsförmåga och ρ dess densitet.

4. Material och metoder

4.1 MOBILTELEFONER

Testobjekten utgjordes av 21 olika mobiltelefoner från 10 tillverkare enligt tabell 1 nedan. Två av telefonerna, mätobjekt 5 och 7, provades med två olika antenner, dels med standardantennen dels med utdragbar stavantenn i fullt utdraget läge. I tabellen finns också tillverkarnas uppgifter om telefonernas mått. Dessutom ges information om antenntyp och -placering. Bilder på alla mätobjekt finns i bilaga A.

Urvalet av telefoner gjordes, dels med avseende på hur vanligt förekommande de var vid starten av projektet hösten år 2000, dels med avseende på olika typer av antenner. Alla telefoner testades vid båda frekvenserna (900 och 1800 MHz), utom mätobjekt 14 som är en single-band telefon (endast 900 MHz). Mätobjekt 9, som är av triple-band typ, testades endast vid 900 och 1800 MHz. Nio telefoner införskaffades genom Konsumentverkets försorg. De övriga telefonerna köptes i olika telefonbutiker i

Tabell 1: Förteckning över mätobjekt

| Nr | Mobiltelefonmärke | Antenntyp | Antennläge | H x B xD (mm) | Figur i bil. A |
|----|-------------------------------------|-----------|------------|---------------|----------------|
| 1 | Alcatel One touch club db | utanpå | höger | 122x48x25 | A1 |
| 2 | Ericsson A1018s | utanpå | vänster | 130x49x19 | A2 |
| 3 | Ericsson A2618s | utanpå | vänster | 131x51x25 | A3 |
| 4 | Ericsson R310s | utanpå | mitten | 131x53x25 | A4 |
| 5a | Ericsson R320s (stand.) | utanpå | vänster | 130x51x15 | A21 |
| 5b | Ericsson R320s (extra) ^a | utdragbar | vänster | 130x51x15 | A20 |
| 6 | Ericsson T20s | utanpå | vänster | 101x54x28 | A5 |
| 7a | Ericsson T28s (stand.) | utanpå | vänster | 95x49x15 | A6 |
| 7b | Ericsson T28s (extra) ^a | utdragbar | vänster | 95x49x15 | |
| 8 | Motorola T2288 | utanpå | höger | 130x47x28 | A7 |
| 9 | Motorola Timeport L7089 | utanpå | höger | 130x46x25 | A8 |
| 10 | Motorola V3688 | utanpå | höger | 82x43x26 | A9 |
| 11 | NEC DB4100 | utanpå | höger | 120x42x22 | A10 |
| 12 | Nokia 3210 | inbyggd | | 124x51x17 | A11 |
| 13 | Nokia 3310 | inbyggd | | 113x48x22 | A12 |
| 14 | Nokia 5110 | utanpå | höger | 132x48x31 | A13 |
| 15 | Nokia 6210 | inbyggd | | 130x47x17 | A14 |
| 16 | Panasonic EB-GD92 | utanpå | vänster | 118x41x16 | A15 |
| 17 | Philips Savvy | utanpå | höger | 129x48x24 | A16 |
| 18 | Samsung SGH-A100 | utanpå | höger | 80x44x22 | A17 |
| 19 | Siemens M35i | inbyggd | | 118x47x23 | A18 |
| 20 | Siemens S25 | utanpå | vänster | 117x47x23 | A19 |
| 21 | Sony CMD-Z5 | utanpå | höger | 88x49x22 | A22 |

^a: med Ericssons High Performance sprötantenn IAT-10

Stockholm av Strålskyddsinstitutet (4 st.), Elsäkerhetsverket (4 st.), Arbetsmiljöverket (2 st.) och Socialstyrelsen (2 st.).

4.2 MÄTNING AV SAR-VÄRDET

Europeisk mätspecifikation

SAR-värdet kan beräknas med hjälp av kunskap om elektriska fältstyrkans effektivvärde E i kroppen enligt formeln $SAR = \sigma \cdot E^2 / \rho$, där σ är kroppsvävnadens elektriska ledningsförmåga och ρ dess densitet. Mätproceduren för bestämningen av SAR-värdet, som mobiltelefonen kan ge upphov till, följer CENELEC:s (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) europeiska mätspecifikation ES59005 från 1998 [5]. En mobiltelefon placeras på en icke metallisk hållare i en väldefinierad position intill ett fantom föreställande huvudet och övre kroppsdelen av en människa. Fördelningen av det

av telefonen alstrade elektriska fältet bestäms i fantomet med en kalibrerad mätsond, som positioneras med hjälp av en robot, se figur 2. Provningsen gjordes i laboratorier på Informationstechnik, Mobilfunktechnik, Satellitenfunktechnik (IMST) i Kamp-Lintfort i Tyskland med mätutrustningen DASY (Dosimetric Assessment System) från Schmid & Partner Engineering AG, Schweiz.



Figur 2: Mätuppställning för mätning av SAR-värdet med robot, mätsond, fantom och hållare för telefon.

Fantomet

Fantomet är fyllt med en vätska, som ska likna kroppsvävnad. Vätskans densitet ρ , elektriska ledningsförmåga σ och relativa dielektricitetskonstant ϵ_r vid 900 och 1800 MHz framgår av tabell 2. Vätskan håller en temperatur på 21 – 23 °C. Fantomets öppna sida täcks med plastfolie för att hindra vätskans avdunstning.

Fantomets skal består av 2 mm tjock glasfiber. Vid örat har avståndet mellan fantomets vävnadslänkande vätska och telefonens hörlur utökats till 4 mm.

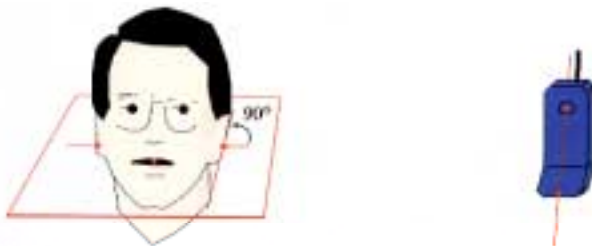
Fantomet är utformat så att mätningar kan göras motsvarande en användning av telefonen både mot höger och vänster örat.

Tabell 2: Parameter för vävnadslänkande vätska i mätfantomet

| GSM-system | ρ (g/cm ³) | σ (S/m) | ϵ_r |
|------------|-----------------------------|----------------|--------------|
| 900 MHz | 1,04 | 0,82 ± 0,11 | 41,9 ± 6,1 |
| 1800 MHz | 1,04 | 1,7 ± 0,21 | 42,9 ± 5,7 |

Positionering av telefonen

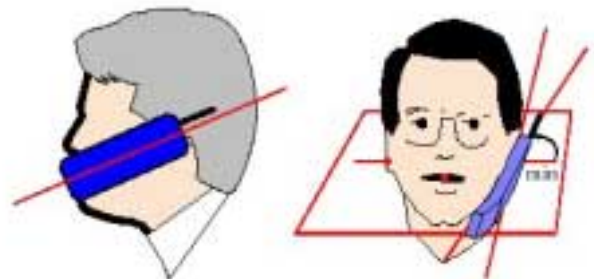
Placeringen av telefonen intill fantomet definieras med hjälp av två referenser, en referenslinje för telefonen och ett referensplan för huvudet. Telefonens referenslinje finns på ytan som är vänd mot fantomet och går både genom hörlurens centrum och mittpunkten på telefonen nedre del, där mikrofonen vanligtvis är placerad. Huvudets referensplan bestäms med hjälp av tre punkter, dels båda öronens hörselöppning, dels mitten av den slutna munnen, se figur 3. Med hjälp av dessa definitioner beskrivs



Figur 3: Geometrisk definition av huvudets referensplan och telefonens referenslinje för beskrivningen av mätpositionerna.

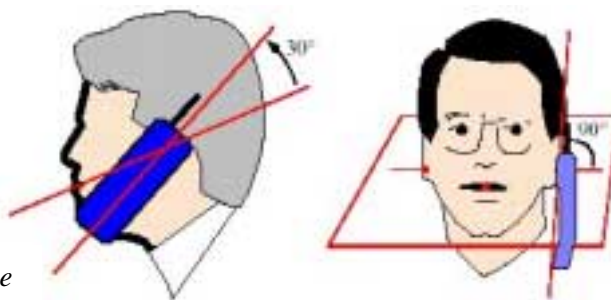
fyra mätpositioner vid vilka telefonen provas.

1. Kontaktläge: Telefonens referenslinje ligger i referensplanet. Vinkeln mellan referenslinjen och linjen som förbinder båda hörselöppningar ska minskas tills telefonen vidrör fantomens yta, se figur 4.



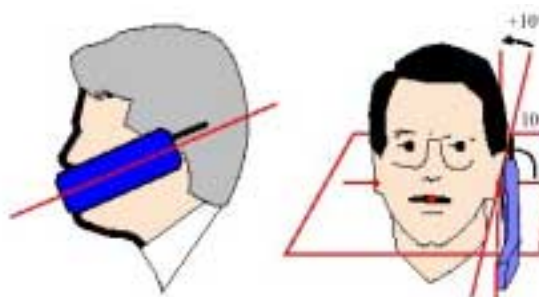
Figur 4: Kontaktläge

2. 30°-läge: Vinkeln mellan referenslinjen och förbindelselinjen mellan hörselöppningarna är 90°. Telefonen vrids samtidigt mot fantomens (kroppens) längdaxel så att vinkeln mellan referenslinjen och referensplanet blir 30°, se figur 5



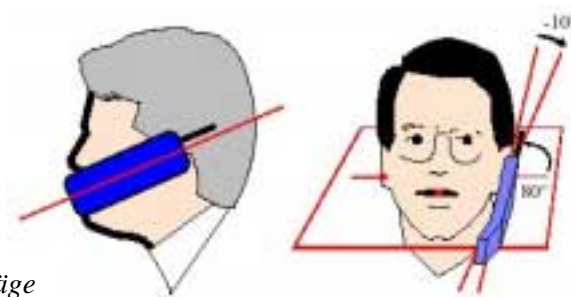
Figur 5: 30°-läge

3. 100°-läge: Telefonens referenslinje befinner sig i huvudets referensplan. Samtidigt vrids telefonen nedre ände 10° utåt så att vinkeln mellan referenslinjen och hörselöppningarnas förbindelselinje blir 100°, se figur 6.



Figur 6: 100°-läge

4. Bruksläge: Telefonens referenslinje ligger i huvudets referensplan. Samtidigt vrids telefonen nedre ände 10° inåt så att vinkeln mellan referenslinje och hörselöppningarnas förbindelselinje blir 80°, se figur 7.



Figur 7: Bruksläge

Lägena 1 och 3 motsvarar således två extrema positioner, där telefonen är i kontakt med kinden (kontaktläge) eller där en utanpåliggande antenn i telefonens topp kommer att vara nära huvudet ovanför örat (100°-läge). Vid bruksläget, 4, är telefonen placerad mellan dessa båda lägen.

Mätutförandet

Mobiltelefonen placeras intill fantomet och drivs så att den sänder med maximal effekt vid mittfrekvensen i 900 MHz- och 1800 MHz-bandet. Sedan mätsonden har placerats i fantomet utförs en grov skanning med hjälp av en robot för att hitta området med högsta SAR-värdet. I detta område görs sedan en fin skanning och mätutrustningens dataprogram beräknar det maximala SAR-värdet som medelvärde över en volym med en vikt på 10 g. Samma procedur upprepas vid alla fyra lägen enligt ovan både vid vänster och höger sida.

Den totala mätonoggrannheten av de redovisade SAR-värdena anges av mätlaboratoriet till högst 25%.

Ny europeisk mätstandard

I augusti 2001 antog CENELEC en ny europeisk standard för mätning av SAR-värdet vid exponering för elektromagnetiska fält från mobiltelefoner [6]. Denna standard avviker något från mätspecifikationen som användes i den föreliggande undersökningen. Fantomet's huvudform har, baserat på mätningar av huvudform och -storlek, modifierats i den nya standarden. Även ledningsförmågan för den vävnadsliknande vätskan i fantomet har i den nya standarden fått ett något högre värde. Antalet mätposi-

tioner på höger och vänster sida har minskats till två, motsvarande kontaktläget och 100°-läget i den tidigare mätningsvisningen, varvid vinkeln i det senare läget har ökat från 10° till 15°. SAR-värdena som uppmätts i denna undersökning är därför inte utan vidare jämförbara med SAR-värden enligt den nya standarden från 2001.

4.3 MÄTNING AV UTSTRÅLAD EFFEKT OCH DIREKTIVITET

En viktig egenskap som bestämmer mobiltelefonens prestanda är dess förmåga att sända ut radiovågor så att sändarens effekt utnyttjas effektivt för överföring av önskad kommunikation. Olika mätmetoder för att i ett laboratorium bestämma den från telefonen utstrålade effekten har beskrivits i [7]. Stirred-mode chamber metoden har vidareutvecklats och använts av P-S Kildals grupp på Chalmers Tekniska Högskola [8]. Hittills finns det ingen standardiserad mätmetod för denna typ av mätningar; arbete med att ta fram en mätstandard pågår dock.

Metoden som användes i denna undersökning kallas ibland för tredimensionell PIM (3D pattern integrated method) och kallas i fortsättningen för 3D-metoden. Genom att flytta en mätantenn på ytan av en sfär runt telefonen och mäta telefonens fältstyrka i fjärrfältet kan man få ett tredimensionellt strålningsdiagram för mobiltelefonen. En integration av den uppmätta fältstyrkan över hela sfären ger sedan telefonens totala utstrålade effekt. Även telefonens direktivitet, som är ett mått på telefonens riktverkan och är definierad som kvot mellan effekten i huvudstrålriktning och total effekt, kan efteråt beräknas.

Mätuppställning

Istället för att flytta mätantennen på ytan av en sfär med telefonen i sfärens centrum kan mätantennen låsas fast vid en punkt på sfärens yta och telefonen vridas till olika vinklar i förhållandet till mätantennen. För att efterlikna växelverkan med en användare kan telefonen fästas vid ett fantomhuvud, se figur 8. Telefonens utstrålning kan också mätas i fritt rum utan fantom, då telefonen fästs vid en hållare. Alla 3D-mätningar utförs i telefonens fjärrfält i ett för radiovågor ekofritt rum. Mätutrustningen består dels av ett vridbord som är försett med en vridbar hållare för telefonen och fantomet, dels av en mätantenn på 4,52 m avstånd från telefonen. Mobiltelefonen kontrolleras av en basstationssimulator så att telefonen sänder med den högsta tillåtna effekten vid mittfrekvensbanden inom 900 respektive 1800 MHz området. Telefonens signal tas emot av mätantennen (hornantenn 3115 från EMCO) och leds vidare till en EMI-mätmottagare, som står utanför mätlokalen.

Mätlokal

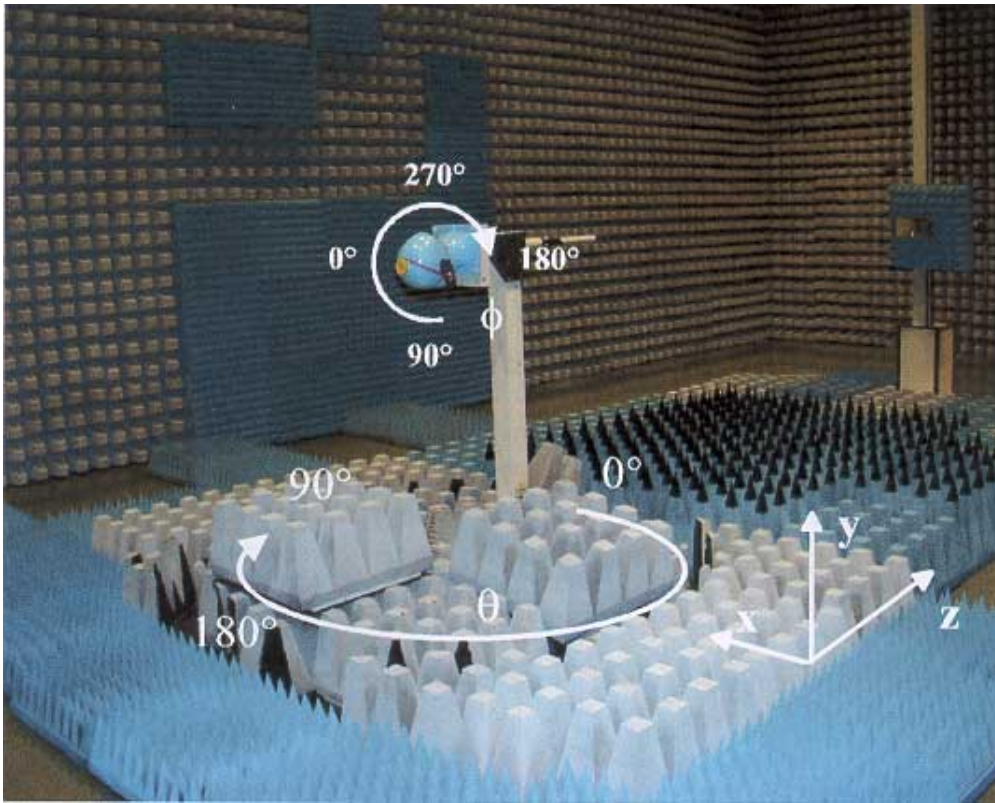
Mätningarna utfördes i IMST:s 13 m långa, 8,5 m breda och 6 m höga ekofria (radiodöda) rum. Väggarna, taket och golvet var försedda med dämpande material med god absorption av radiovågor ner till 30 MHz. Genom att sätta upp särskilt mikrovågsdämpande material på i förväg beräknade ställen på väggarna och golvet har radiovågornas reflektion vid väggarna och golvet minskats ytterligare, se figur 8. Detta leder till extra dämpning av alla radiovågor från telefonen som når mätantennen via en indirekt väg genom reflektioner jämfört med de vågor som når mottagarantennen direkt från telefonen.

Mätning med fantomhuvud

3D-mätningar med fantomhuvudet utfördes med alla 23 mätobjekt enligt tabell 1.

Positioneringssystem för telefon och mätantenn

Fantomet med telefonen sätts upp på en vridbar hållare, som sitter fast i mitten på ett vridbord. Mittpunkten av både fantomet med telefonen och mätantennen på 4,52 m håll är placerade 1,50 m ovanför golvet. Hållaren är gjord av ett material som minimerar reflektion och absorption av telefonens radiovågor. Förbindningslinjen mellan antennens och fantomets mittpunkter ligger i z-riktningen av ett koordinatsystem med fantomet i origon. x-z-planet är parallellt med vridbordets plan och golvet, se figur 8.



Figur 8: Mätupställning med vridbord, fantomhållare, fantom, telefon och mätantenn i ett ekofritt rum för mätning av utstrålad effekt enligt 3D-metoden. Bilden visar startläget vid $\theta = 0$ och $\phi = 0$. Pilarna visar vridbordets och elevationshållarens rotationsriktning. Gradangivelsen visar strålningsriktningen sett från mätobjektet.

Vid mätningarna vrids vridbordet runt y-axeln, så att azimutvinkeln θ ändras stegvis med en grad från 0 till 180 grader. Samtidigt vrids hållaren med fantomet och telefonen runt z-axeln, så att telefonens elevationsvinkel ϕ kan ändras stegvis med 20 grader från 0 till 360 grader. Detta resulterar i att telefonens utstrålade effekt mäts på 4,52 m håll successivt i 18 halvcirkelformade plan, som sammanlagt bildar ett tredimensionellt strålningsdiagram för telefonen. Vid utgångsläget (azimutvinkel $\theta = 0$, elevationsvinkel $\phi = 0$) är fantomet placerat med framsidan ("näsan") neråt och fantomet's längdaxel sammanfaller med förbindelselinjen mellan antennens och fantomet's mittpunkter.

I varje mätpunkt mäts den horisontella och vertikala polarisationen av det elektriska fältet genom en vridning av mottagarantennen. En efterföljande beräkning ger den resulterande fältstyrkan i varje mätpunkt. Mätvärdena i alla dessa mätpunkter bildar telefonens strålningsdiagram, som återges i bilaga C med hjälp av tredimensionella färgdiagram. Genom integrationen över hela sfärens yta beräknas telefonens totala utstrålade effekt och direktivitet.

Telefonens strålningsdiagram återges också i tre tvådimensionella diagram, ett i x-z-planet, ett i y-z-planet och ett i x-y-planet, som återges i bilaga D. Dessa har tagits fram genom separata mätningar, där elevationsvinkeln har ändrats i mindre steg för att åstadkomma en bättre upplösning i vissa riktningar.

Fantomet

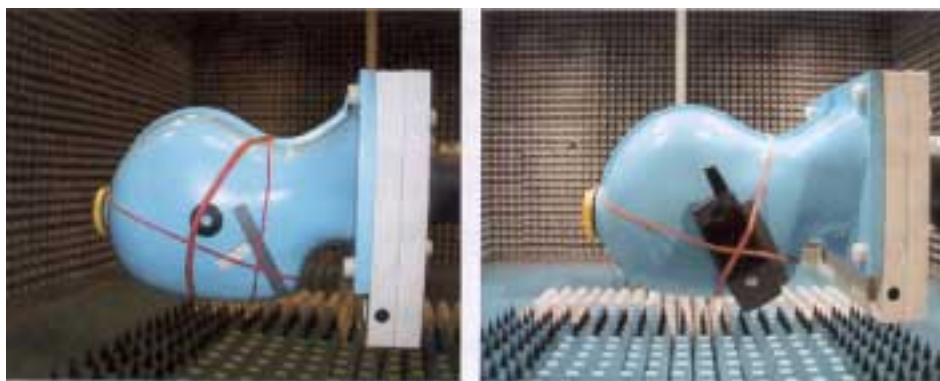
Fantomet består av en ihålig huvudmodell (Generic head phantom V3.5 från Schmid & Partner Engineering AG, Schweiz) som fylls med en vätska, som ska efterlikna kroppsvävnad. Vätskans densitet ρ , elektriska ledningsförmåga σ och relativa dielektricitetskonstant ϵ_r , vid 900 och 1800 MHz framgår av tabell 3.

Tabell 3: Parameter för vävnadsliknande vätska i fantomhuvudet

| GSM-system | ρ (g/cm ³) | σ (S/m) | ϵ_r |
|------------|-----------------------------|-----------------|----------------|
| 900 MHz | 1,04 | $0,84 \pm 0,11$ | $43,1 \pm 5,9$ |
| 1800 MHz | 1,04 | $1,62 \pm 0,23$ | $39,9 \pm 6,0$ |

Placering av telefonen på fantomet

Telefonen placeras alltid på fantomhuvudets vänstra sida i en position som tidigare har benämnts bruksläget och som finns beskrivet under avsnitt 4.2. Reproducerbarheten av telefonens placering underlättas genom att man med hjälp av en tejprensa markerar på fantomet en linje som är parallell med huvudets referensplan. Vinkeln på -10° åstadkoms med hjälp av lämpliga avståndshållare. Telefonen justeras till rätt läge och hålls på plats med hjälp av gummiband, se figur 9.



Figur 9: Bruksläge och positionering av telefonen intill fantomhuvudet för 3D-mätningar.

Mätning i fritt rum

Mätningar i fritt rum kan användas för att beskriva telefonens utstrålningskaraktäristik utan inverkan av fantomhuvudet. 3D-mätningar i fritt rum utfördes för 10 av mätobjekten enligt tabell 1.

Placering av telefonen

Mätningar görs med samma mätuppställning som förut, men istället för fantomet monteras ett telefonstöd av plast på den vridbara hållarens motsatta sida. Stödet flyttas till hållarens motsatta sida för att därigenom minimera radiovågornas reflektion vid hållarens fäste, som av stabilitetsskäl är gjord av metall. Telefonen placeras på stödet med displayen uppåt och spänns fast med kardborreband, se figur 10.

Stödets montering på hållarens motsatta sida medför att hållaren måste vändas 180° för att få samma utgångsläge för telefonen som vid mätningarna med fantomet. Samtidigt måste hållaren med stödet nu vridas moturs för att mätningar ska göras i samma ordningsföljd som förut.



Figur 10: Mätuppställning för 3D-mätningar i fritt rum

Kalibrering och mätonoggrannhet

Mätsystemet kalibreras genom att telefonen och fantomet byts ut mot en referensantenn med väl känt strålningsdiagram. Den sammanlagda mätonoggrannheten för den totala utstrålade effekten orsakas bl.a. av mätmottagarens onoggrannhet, osäkerheten på referensantennens karakteristik, kabelförluster, mättrumets resonans samt positioneringen av telefon och uppskattas sammanlagd till $\pm 2,6$ dB (konfidensintervall 95 %). Telefonens placering utgör endast 0,5 dB och övriga bidrag till mätonoggrannheten är ungefär lika för alla telefoner. Den uppmätta totala utstrålade effekten används huvudsakligen för att jämföra olika telefoner med varandra.

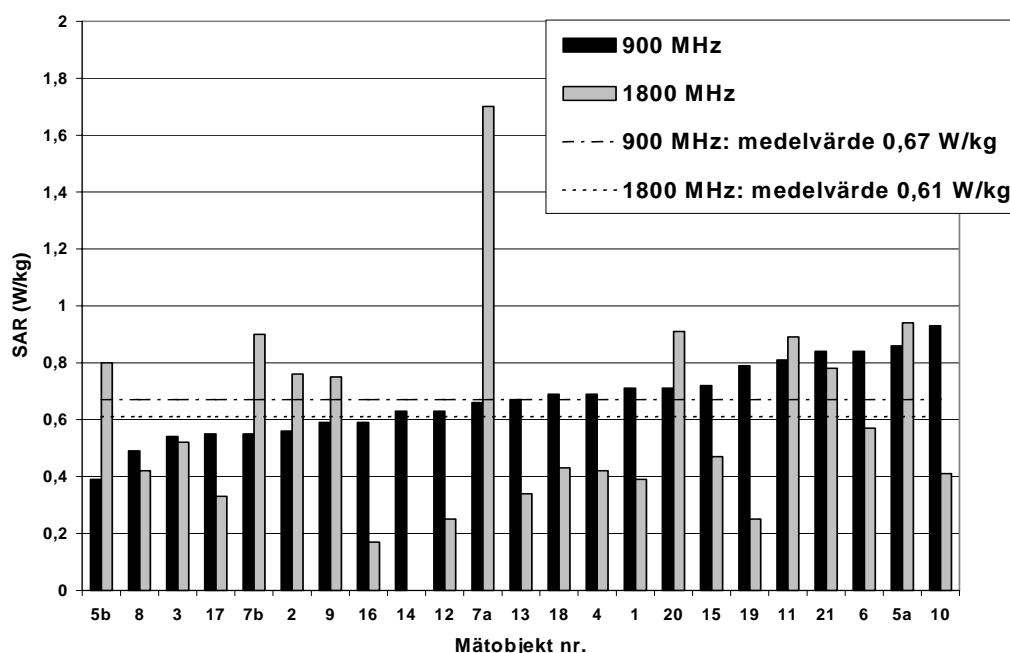
5. Resultat och diskussion

En del kompletterande resultatredovisningar finns också i bilaga B, C och D.

5.1 RESULTAT FRÅN SAR-MÄTNINGAR

Högsta uppmätta SAR-värden

I tabell 1 och 2 i bilaga B återges mätobjektens SAR-värden vid alla åtta mätpositioner vid 900 och 1800 MHz. SAR-värden vid båda frekvenser kunde skilja sig mycket från varandra för samma telefon. Figur 11 visar de högsta SAR-värdena som uppmättes vid 900 MHz och 1800 MHz. Vid 900 MHz var det högsta SAR-värdet 0,93 W/kg (mätobjekt 10) och vid 1800 MHz 1,7 W/kg (mätobjekt 7a). De lägsta värdena låg på 0,39 W/kg (mätobjekt 5b) vid 900 MHz och 0,17 W/kg (mätobjekt 16) vid 1800 MHz.



Figur 11: Högsta SAR-värden vid 900 MHz och 1800 MHz.

(Medelvärdenas standardavvikelser vid 900 MHz: 0,16 W/kg, vid 1800 MHz: 0,34 W/kg)

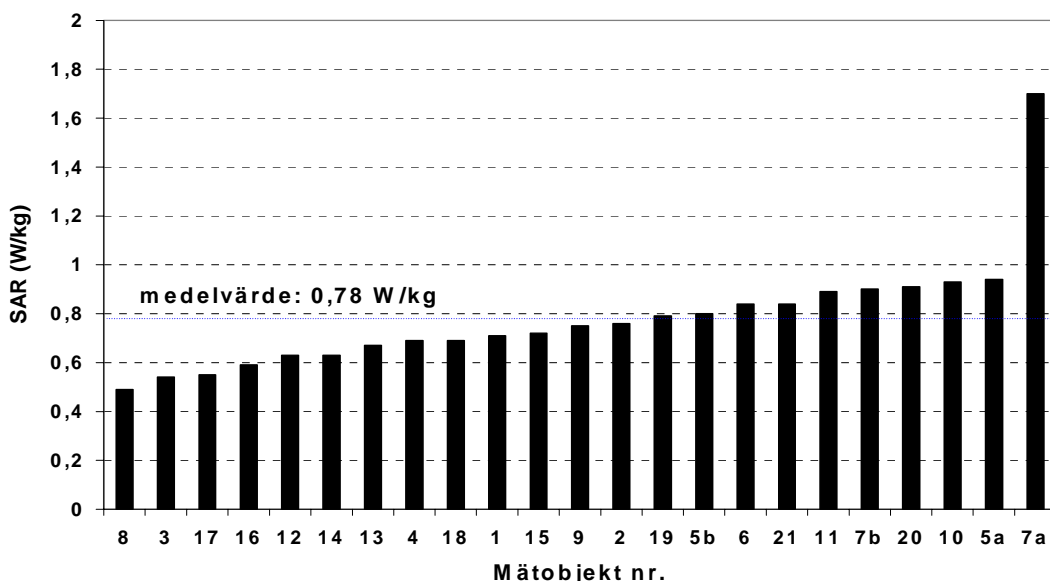
Enligt mätstandarden ska telefonens högsta uppmätta SAR-värde anges, oberoende av vid vilken frekvens det registrerades. Dessa resultat återges i figur 12. SAR-värdet för samtliga mobiltelefoner låg under det föreskrivna gränsvärdet på 2 W/kg. Mätobjekt 7a hade det högsta SAR-värdet, 1,7 W/kg. Det lägsta SAR-värdet, 0,49 W/kg, uppmättes för mätobjekt 8. Medelvärdet för alla telefoner låg på 0,78 W/kg.

SAR vid olika mätpositioner

Telefonens åtta mätpositioner, vänster och höger 1 – 4, återspeglar i viss mån olika sätt att hålla telefonen på olika avstånd från huvudet vid samtal. Mätningarna tar inte hänsyn till hur handen kan påverka telefonens utstrålning.

För en och samma telefon kunde stora skillnader mellan SAR-värden registreras beroende på mätposition. Men det finns också telefoner där SAR-värdena skiljde sig endast obetydligt från varandra i de olika positionerna.

Vid 900 MHz uppmättes i genomsnitt högre SAR-värden i lägena 1 och 4 än i lägena 2 eller 3, se tabell 4. Det högsta SAR-värdet förekom i regel i läge 1 (kontaktläge), dvs. när telefonen ligger an mot fantomet's "kind". Det lägsta SAR-värdet hittades oftast i läge 3 (100°-läge), dvs. när telefonen vinkla-



Figur 12: Högsta SAR oberoende av frekvens. (Standardavvikelse 0,24 W/kg, medianvärde 0,75 W/kg)

des utåt bort från huvudet. Vid 900 MHz skedde utstrålningen tydligen på sådant sätt att de högsta SAR-värdena uppstod vid områden mitt i telefonen, som hamnade närmare huvudet i positionerna 1 och 4 än i positionerna 2 eller 3. Ett undantag utgjorde telefonerna med utdragna antenner (mätobjekt 5b och 7b): De högsta SAR-värden uppmättes i läge 3 och de lägsta i kontaktläget 1.

Tabell 4: SAR-värdens medelvärde vid de olika mätpositionerna

| Mätposition | SAR (W/kg) vid 900 MHz | | SAR (W/kg) vid 1800 MHz | |
|-----------------|------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | vänster | höger | vänster | höger |
| 1 (kontaktläge) | 0,61 | 0,60 | 0,34 | 0,34 |
| 2 (30°-läge) | 0,41 | 0,42 | 0,51 | 0,53 |
| 3 (100°-läge) | 0,38 | 0,38 | 0,49 | 0,52 |
| 4 (bruksläge) | 0,50 | 0,49 | 0,41 | 0,41 |

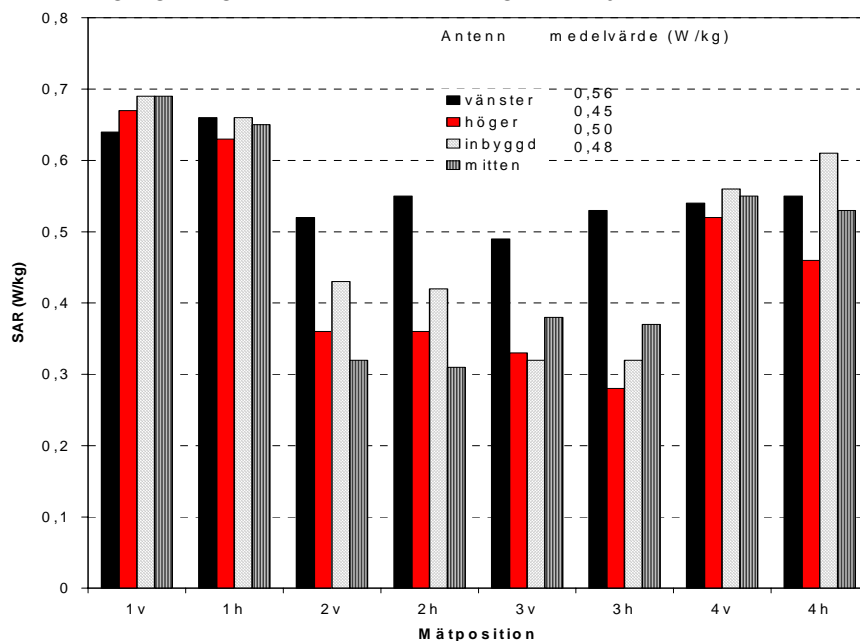
Vid 1800 MHz var förhållandena annorlunda. I mätpositionerna 2 och 3 uppmättes i genomsnitt högre SAR-värden än i lägen 1 eller 4, se tabell 4. Det högsta SAR-värdet hittades för det mesta i läge 3, dvs. när telefonen vinklades uppåt, och det lägsta värdet i kontaktläge 1. Även vid 1800 MHz fanns det två telefoner som uppenbart avvek från dessa iakttagelser: Mätobjekten 10 och 18 hade sina högsta SAR-värden i kontaktläge 1 och de lägsta värdena i läge 3. Vid 1800 MHz fanns telefonens utstrålningscentrum tydligen närmare antennen än vid 900 MHz, och detta område hamnade närmare huvudet i position 2 och 3 än 1 eller 4. Samma resonemang stämmer också för mätobjekt 10 och 18: Vid dessa telefoner finns antennen bakom en högtalarlucka som fälls upp under samtal. Antennens fotpunkt hamnade därför nedanför örat och befann sig därför närmare huvudet i kontaktläge 1 än i läge 3.

SAR för mobiltelefoner med olika typer av antenner

Mätobjekten hade valts med avseende på några olika typer av antenner eller antennplaceringar, se tabell 1. Fyra telefoner hade inbyggda antenner. Alla andra var utrustade med antenner på utsidan av telefonen, antingen till höger eller vänster om mittlinjen (referenslinjen). På ett mätobjekt var antennen placerad längs mittlinjen. På två telefoner kunde standardantennen dessutom bytas ut mot en utdragbar sprötantenn.

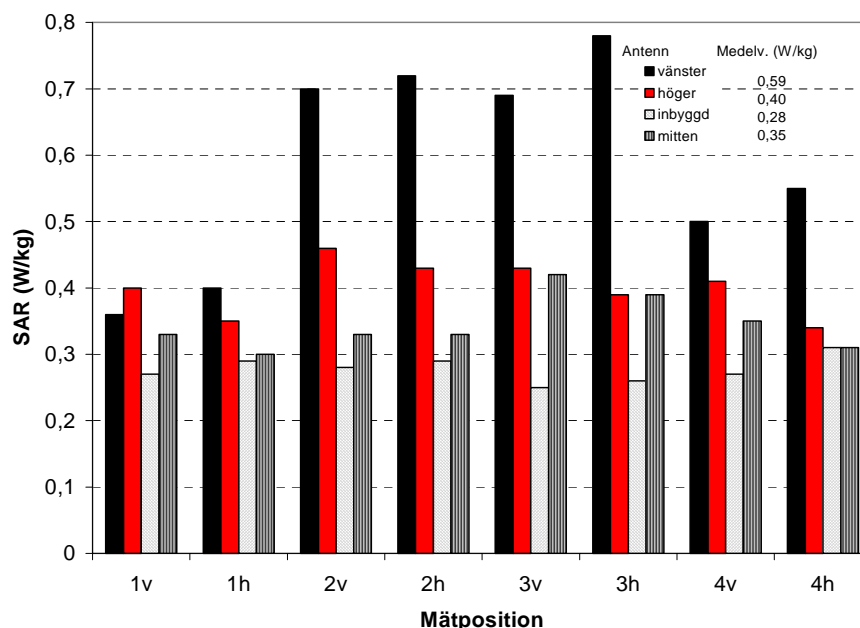
Vid 900 MHz fanns det ingen påfallande skillnad mellan SAR-värdena för telefoner med inbyggd antenn och telefoner med standardantenn på utsidan i de olika mätpositionerna, se figur 13. SAR-värdena för telefoner med utdragen stavantenn skilde sig dock med avseende på mätpositionen från de

övriga mätobjekt på sådant sätt som beskrivits i förra avsnittet. Särskilt i kontaktläge hade dessa båda telefoner mer än tio gånger lägre SAR-värden än övriga mätobjekt.



Figur 13: Medelvärde av SAR för telefoner med olika typer av antenner vid 900 MHz.

Vid 1800 MHz hade telefoner med inbyggda antenner något lägre SAR-värden än de övriga mätobjekten. SAR-värdena varierade inte heller lika mycket vid de olika mätpositionerna som för telefoner med antenner på utsidan, se figur 14.



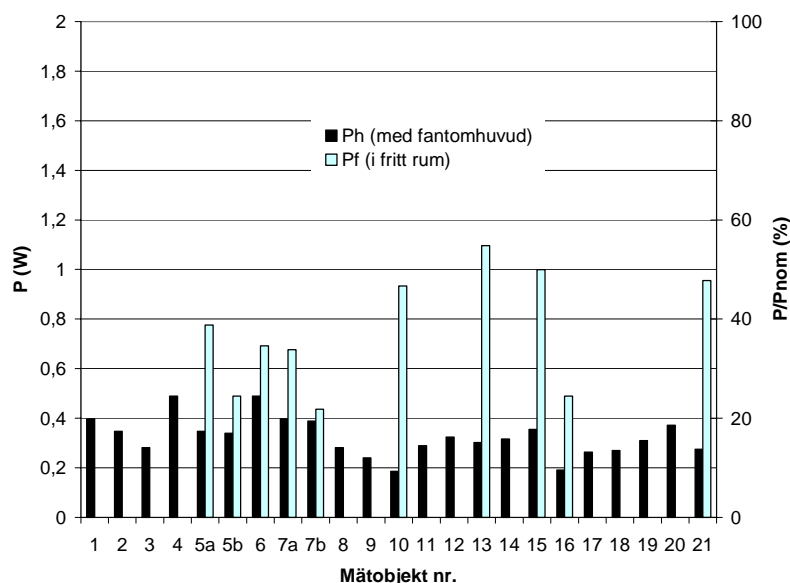
Figur 14: Medelvärde av SAR för telefoner med olika typer av antenner vid 1800 MHz.

Antennens placering till höger eller vänster om telefonens mittlinje kunde ha en viss betydelse för SAR-värdena. Telefoner med antennen till höger om mittlinjen gav för det mesta något högre SAR-värden i mätpositioner till vänster än till höger om huvudet. Omvända förhållanden gällde för telefoner med antennen till vänster om mittlinjen. Områden med större utstrålning fanns tydligen på en telefon med antennen till höger om mittlinjen närmare huvudet om telefonen hölls till vänster om huvudet. Handens eventuella inverkan på telefonens utstrålning har härvid inte beaktats.

5.2 RESULTAT FRÅN MÄTNINGAR AV UTSTRÅLAD EFFEKT

Utstrålad effekt vid 900 MHz

Mätresultaten för den utstrålade effekten med och utan fantomhuvud anges dels i Watt, dels i procent av GSM-telefoners nominella effekt på 2 W (33 dBm), se figur 15.

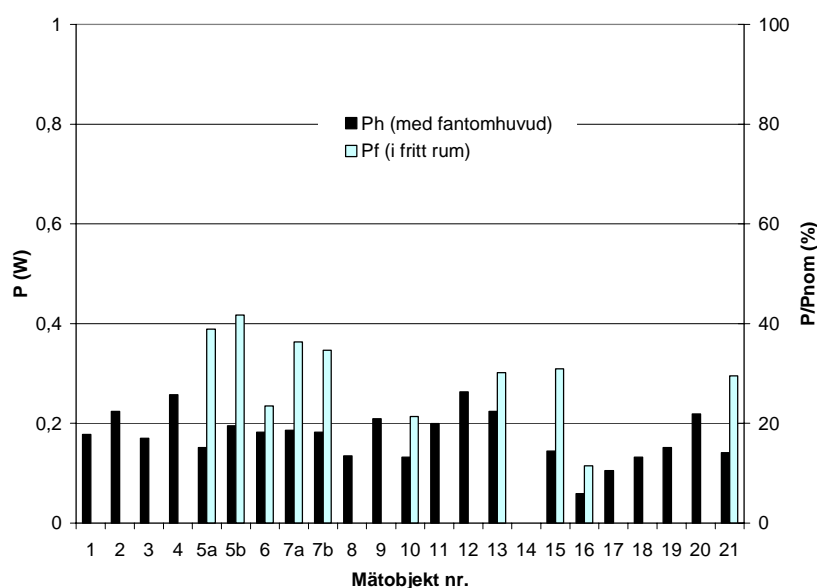


Figur 15: Utstrålad effekt vid 900 MHz med och utan fantomhuvud ($P_{nom}=2$ W).
 Medelvärde med huvud: 0,32 W eller 25 dBm eller 16 %.
 Medelvärde utan huvud (fritt rum): 0,75 W eller 28,6 dBm eller 38 %.

Med huvudet närvarande uppmättes den lägsta utstrålade effekten till 0,19 W (22,7 dBm) hos mätobjekt 10. Detta utgjorde 9,3 % av den nominella effekten. Det högsta värdet, 0,49 W (26,9 dBm) uppmättes för mätobjekt 4, som således sände ut 25 % av den nominella effekten. Vid 900 MHz kunde mobiltelefonerna i genomsnitt endast utnyttja ca 16 % (25,0 dBm) av den tillåtna effekten för kommunikation. Resten gick förlorad pga. antennens missanpassning och andra förluster i telefonen och fantomhuvudet. Vid en liknande undersökning av 70 prototyper och olika versioner av telefoner uppmätte B Olsson [9] i genomsnitt en utstrålad effekt på 23,5 dBm.

Redan utan fantomhuvud, i fritt rum, uppgick förlusterna för tio mätobjekt i genomsnitt till 62 %. Dessa ökade i genomsnitt till 84 % då telefonerna placerades intill fantomhuvudet.

Utstrålad effekt vid 1800 MHz



Figur 16: Utstrålad effekt vid 1800 MHz med och utan fantomhuvud ($P_{nom}=1$ W).
 Medelvärdet med huvud: 0,17 W eller 22 dBm eller 17 %
 Medelvärdet utan huvud (fritt rum): 0,3 W eller 24,5 dBm eller 30 %

Även vid 1800 MHz uppmättes ungefär lika låga värden för den utstrålade effekten. Det lägsta värdet på 0,059 W (17,7 dBm) uppmättes för mätobjekt 16. Detta utgjorde endast 6 % av den nominella effekten, som är 1 W (30 dBm) vid 1800 MHz. Den högsta utstrålningen, 0,26 W (24,2 dBm), hade

mätobjekt 12. I genomsnitt kunde de undersökta mobiltelefonerna vid 1800 MHz använda ca 17 % (22 dBm) av den nominella effekten för överföring av information. Ett liknande resultat fick B Olsson [9] som vid sina mätningar av 47 telefoner fann att den utstrålade effekten var i medel 23,7 dBm.

När samma tio mätobjekt som förut mättes i fritt rum vid 1800 MHz uppgick förlusterna i genomsnitt till 70 %. Dessa ökade i genomsnitt till 83 % då telefonerna placerades intill fantomet.

Av figur 15 och 16 framgår också att fantomhuvudets inverkan på den utstrålade effekten kunde skilja sig starkt mellan olika telefoner. Så minskade t.ex. den relativa effekten för mätobjekt 7b vid 900 MHz från ca 22 % i fritt rum till knappt 20 % vid närvaro av fantomhuvudet. För mätobjekt 10 minskade däremot den relativa effekten från ca 47 % i fritt rum till drygt 9 % när telefonen placerades intill fantomhuvudet.

Hela effektförlusten, både vid 900 MHz och 1800 MHz, berodde inte enbart på absorption av radiovågorna i fantomet. Missanpassning av antennen och absorption i telefonen gav redan i fritt rum upphov till förluster. Genom reflektion och absorption av radiovågor bidrog fantomhuvudet till ytterligare missanpassning och förluster så att telefonerna i genomsnitt endast utnyttjade mindre än 20 % av den nominella effekten som teoretiskt skulle kunna användas till signalöverföring. Telefontillverkaren kan också ha valt att reglera sändarens effekt till ett värde som är lägre än 2 W, respektive 1 W för att reducera SAR-värdet eller minska telefonens effektförbrukning och därmed uppnå en längre batteritid. Den faktiska uteffekten vid telefonsändarens utgång uppmättes inte vid denna undersökning.

Utstrålad effekt för mobiltelefoner med olika typer av antenner

Tabell 5 visar att telefoner med olika typer av antenner hade ungefär lika stor relativ utstrålad effekt (P/P_{nom}) vid närvaro av fantomhuvudet. I jämförelse med mätresultaten i fritt rum minskade effektförhållandet vid 900 MHz mera för telefoner med inbyggd antenn eller med antenn till höger än de övriga mätobjekten. Huvudet ledde till en större minskning av effektkvoten vid 1800 MHz än vid 900 MHz vid telefonerna med utdragen antenn.

Tabell 5: Medelvärde på utstrålad effekt för telefoner med olika typer av antenner

| Antenntyp | P/P_{nom} (%) med huvud vid | | P/P_{nom} (%) utan huvud vid | |
|----------------------------------|-------------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| | 900 MHz | 1800 MHz | 900 MHz | 1800 MHz |
| Antenn till vänster ¹ | 17 | 17 | 33 | 26 |
| Antenn till höger ² | 14 | 15 | 48 | 25 |
| Inbyggd antenn ³ | 16 | 20 | 52 | 31 |
| Antenn i mitten ⁴ | 25 | 26 | | |
| Utdragen antenn ⁵ | 18 | 19 | 23 | 38 |

¹: 7 mätobjekt med huvud och 4 utan huvud,

²: 9 mätobjekt vid 900 MHz och 8 vid 1800 MHz med huvud och 2 utan huvud,

³: 4 mätobjekt med huvud och 2 utan huvud,

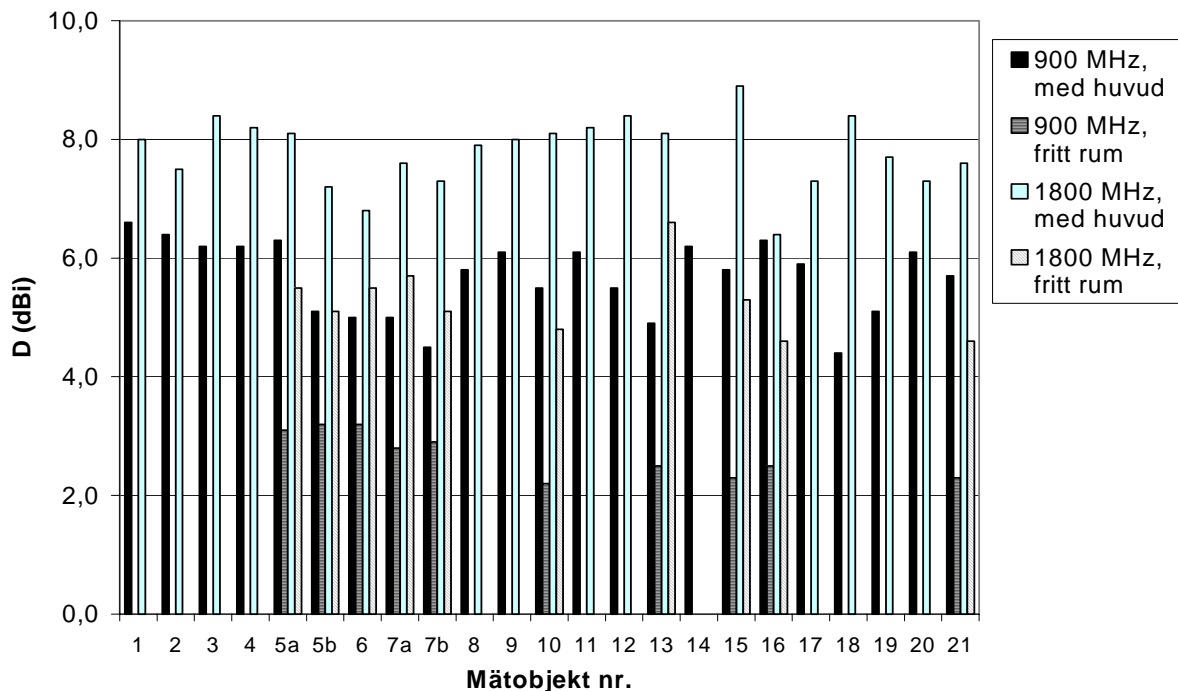
⁴: 1 mätobjekt, ⁵: 2 mätobjekt

Direktivitet

Direktiviteten är definierad som kvot mellan utstrålad effekt i huvudstrålriktning och den totala utstrålade effekten fördelad på ytan av en sfär. Den är ett mått på telefonens riktverkan och anges i dBi (i för isotrop). En telefon med en hög direktivitet har större riktverkan än en telefon med en låg direktivitet och kan i vissa fall behöva vändas i en särskilt riktning för att uppnå optimala förhållanden för kommunikation med en basstation. I situationer där telefonens radiovågor kan nå basstationen via flera reflexioner kan riktverkan ha mindre betydelse för telefonens kommunikationsegenskaper.

Samtliga telefoner hade större riktverkan vid 1800 MHz än vid 900 MHz, både med fantomhuvudet och i fritt rum, se figur 17.

I fritt rum var medelvärdet för direktiviteten 2,7 dBi vid 900 MHz och 5,3 dBi vid 1800 MHz. Telefonerna hade således vid 1800 MHz i genomsnitt 1,8 gånger (2,6 dB) högre riktverkan än vid 900 MHz. Fantomhuvudets närvaro ledde till en ökning av telefonernas riktverkan jämfört med förhållanden i fritt rum. Vid 900 MHz ökade direktiviteten i genomsnitt med en faktor två (3 dB) till 5,7 dBi och med en faktor 1,8 (2,5 dB) till 7,8 dBi vid 1800 MHz. Mätobjekt 1 hade vid 900 MHz den största direktiviteten, 6,6 dBi, och som lägst, 4,4 dBi, var den för mätobjekt 18. Vid 1800 MHz hade mätobjekt 15 den största riktverkan, 8,9 dBi. Det lägsta värdet, 6,4 dBi, hittades för mätobjekt 16.



Figur 17: Direktivitet vid 900 och 1800 MHz med fantomhuvud och i fritt rum

De olika typerna av antenner påverkade mätobjektens riktverkan endast i mindre omfattning, se tabell B6 i bilaga B. Vid närvaro av fantomhuvudet hade telefonerna med utdragen antenn i genomsnitt något lägre direktivitet än de övriga mätobjekten, särskilt vid 900 MHz. Även telefoner med inbyggd antenn hade vid 900 MHz i genomsnitt 12–23 % mindre riktverkan än telefoner med korta stubbantennerna utanpå. Vid 1800 MHz hade däremot telefonerna med inbyggd antenn i medel något större direktivitet än de övriga mätobjekten.

Strålningsdiagram

Med hjälp strålningsdiagrammen kan olika detaljer och skillnader i telefonernas utstrålningsegenskaper och -riktningar åskådliggöras. De förmedlar en bild av telefonernas skilda riktverkan och olika förmåga att sända ut radiovågor till omgivningen.

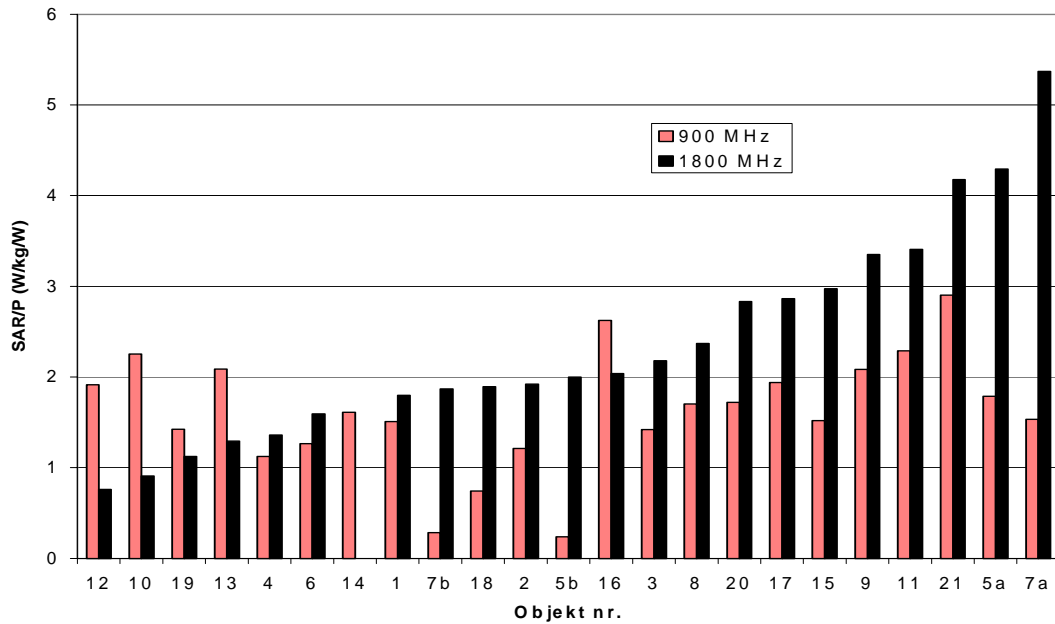
Mätobjektens strålningsdiagram hade i fritt rum vid 900 MHz likhet med diagram för halv vågs dipolantennerna. Vid 1800 MHz blev telefonernas strålningskaraktäristik däremot mera oregelbunden. Fantomhuvudet ökade komplexiteten av telefonernas utstrålningsegenskaper ytterligare. Detta återspeglas i strålningsdiagrammen av förekomsten av flera olika utstrålningsminima och –maxima. Strålningsdiagrammens utseende påverkades naturligtvis även starkt av den använda mätgeometrin med telefonen på vänstra sidan av fantomhuvudet. Den uppmätta effekten var alltid lägre i sådana riktningar där större delen av huvudet fanns mellan telefonen och mätantennen än i riktningar där telefonens radiovågor kunde nå fram till mätsonden utan hinder. Men strålningsdiagrammen visar också att det fanns tydliga skillnader i telefonernas utstrålningsegenskaper.

För samtliga mätobjekt återges tredimensionella strålningsdiagram i bilaga C och tvådimensionella strålningsdiagram i tre mot varandra vinkelräta plan i bilaga D.

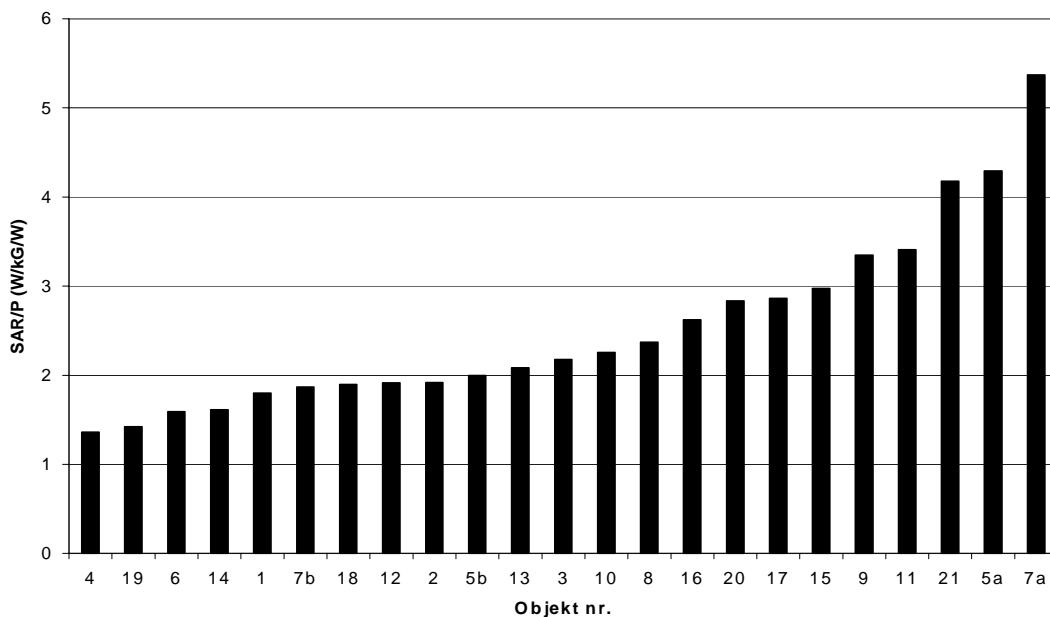
5.3 SAR OCH UTSTRÅLAD EFFEKT

Medan SAR-värdet anger hur mycket radiofrekvent energi som absorberas i fantomhuvudet så är den utstrålade effekten ett mått på hur stor del av telefonernas radiovågor som kan användas för signalöverföring. Ett av utredningens mål var att undersöka om mätning av utstrålade effekt kunde leda till ytterligare information för att beskriva telefonernas prestanda utöver SAR-värdet. Det är därför intressant att jämföra SAR-värdet i förhållande till den utstrålade effekten för de olika mätobjekten och ange

kvoten mellan SAR-värde (W/kg) och utstrålad effekt (W). Eftersom effekten mättes med telefonen till vänster om fantomhuvudet i en mätposition som motsvarar bruksläget (läge 4) vid SAR-mätningar så beräknades kvoten endast för denna mätposition. Resultaten visas i figur 18 och 19.



Figur 18: SAR, uppmätt i vänster bruksläge ($SAR_{v,d}$), i förhållande till utstrålad effekt vid 900 och 1800 MHz



Figur 19: Högsta värdet för kvoten SAR/P oberoende av frekvens.

De flesta mätobjekten gav upphov till högre SAR-värde per utstrålad effekt vid 1800 MHz än vid 900 MHz. Kvoten varierade mellan 0,24 W/kg/W (mätobjekt 5b) och 2,9 W/kg/W (mätobjekt 21) vid 900 MHz och mellan 0,76 W/kg/W (mätobjekt 12) och 5,4 W/kg/W (mätobjekt 7a) vid 1800 MHz. Varje Watt uppmätt utstrålad effekt gav i genomsnitt upphov till ett SAR-värde på 1,6 W/kg vid 900 MHz

och 2,4 W/kg vid 1800 MHz vid den ovan angivna mätpositionen. Som förut visat uppgick den utstrålade effekten i genomsnitt dock endast till en bråkdel av en Watt.

Effektstyrkan som uppmättes på 4,5 m avstånd runt telefonen påverkades av många faktorer som inte kunde kontrolleras vid denna undersökning. Telefonsändaren får enligt standarden ha en uteffekt på 33 ± 2 dBm, dvs. den får sända med en effekt mellan 1,26 W och 3,16 W. Vilken effekt tillverkaren faktiskt hade ställt in uppmättes inte. Vid inkoppling av antennen till sändarens slutsteg uppträder alltid förluster som minskar effekten som ställs till antennens förfogande. Fantomhuvudets närvaro ger också upphov till missanpassning av antennen och reflektioner av radiovågor, som bidrar till att minska effektöverföringen från sändaren till antennen. En del av den utstrålade energin absorberas dels i telefonen, dels i fantomhuvudet, där den ger upphov till SAR-värdet. Energiabsorptionen i huvudet påverkas också av telefonens utstrålningskaraktär och riktverkan. Alla dessa förluster gör att endast en del av telefonsändarens effekt kan utnyttjas för överföring av kommunikation med hjälp av radiovågor. Det är denna utstrålade effekt som i denna undersökning uppmättes i genomsnitt till 0,32 W vid 900 MHz och 0,17 W vid 1800 MHz när telefonerna sände med största styrka.

Vid normal användning av telefonen kan den utstrålade effekten bli ännu mindre t.ex. genom handens inverkan på telefonens utstrålningssegenskaper och genom telefonens nedreglering. För att kunna upprätthålla en fungerande kommunikation måste telefonsignalen ha en viss signalstyrka vid en basstation. I en verklig situation kan ytterligare hinder, utöver olika kroppsdelar, bidra till försämrade direktkontakt med basstationen. Telefonsignalen kan också via olika reflektioner nå fram till basstationen. En telefon som är behäftad med större förluster kan vid sådana förhållanden inte nedreglera effektstyrkan tillräckligt och kan tvingas att sända med större styrka för att kunna åstadkomma den erforderliga signalstyrkan vid basstationen. En telefon där kvoten mellan SAR och utstrålade effekt är liten är att föredra. Den har ett lågt SAR-värde, men samtidigt så ringa förluster att den utstrålar mycket effekt. Sådana telefoner borde ha större möjlighet att nedreglera effekten och därmed minska SAR-värdet ytterligare utan att förlora i kommunikationsförmåga.

Tabell 7 visar hur kvoten SAR_{v4}/P skilde sig för de undersökta telefonerna med avseende på olika typer av antenner. I genomsnitt var kvoten för alla mätobjekt mindre vid 900 MHz än vid 1800 MHz,

Tabell 7: Medelvärde på kvoten SAR_{v4}/P för telefoner med olika typer av antenner

| Antenntyp | SAR_{v4}/P (W/kg/W) vid | |
|----------------------------------|---------------------------|----------|
| | 900 MHz | 1800 MHz |
| Antenn till vänster ¹ | 1,6 | 2,9 |
| Antenn till höger ² | 1,9 | 2,7 |
| Inbyggd antenn ³ | 1,7 | 1,4 |
| Antenn i mitten ⁴ | 1,1 | 1,4 |
| Utdragen antenn ⁵ | 0,28 | 2,0 |

¹: 7 mätobjekt,

²: 9 mätobjekt vid 900 MHz och 8 vid 1800 MHz,

³: 4 mätobjekt, ⁴: 1 mätobjekt, ⁵: 2 mätobjekt

med undantag för telefoner med inbyggd antenn där varje Watt utstrålade effekt gav upphov till större SAR-värde vid 900 MHz än vid 1800 MHz. De två telefonerna med utdragen sprötantenn hade vid 900 MHz det lägsta värdet (0,28 W/kg/W). För de övriga mätobjekten låg kvoten mellan 1,6 och 1,9 W/kg/W, med undantag för telefonen med antennen på ovansidans mitt (mätobjekt 4), där kvoten var 1,1 W/kg/W. Vid 1800 MHz hade telefoner med inbyggd antenn tillsammans med mätobjekt 4 det lägsta medelvärdet, 1,4 W/kg/W. För telefoner med antenn på utsidan var kvoten ungefär dubbelt så stor, och båda telefoner med utdragen sprötantenn hade en kvot på 2,0 W/kg/W.

6. Sammanfattning

Syfte

Rapporten presenterar resultaten från mätningar av 21 olika mobiltelefoners SAR-värde och utstrålade effekt. Ett syfte med utredningen var att undersöka om information om utstrålade effekt kan kombineras med uppgifter om SAR för att beskriva telefonernas prestanda. En mobiltelefon får bara sända ut så mycket radiofrekvent energi att effekten som tas upp av huvudet inte överstiger 2 W/kg. Detta krav måste balanseras mot telefonens ändamål att möjliggöra en fullgod överföring av information.

SAR och utstrålade effekt

För varje mätobjekt beräknades en kvot mellan SAR-värde (W/kg) och utstrålade effekt (W) uppmätt i den för båda storheter gemensamma mätpositionen. Kvoten varierade mellan 0,24 och 2,9 W/kg/W vid 900 MHz, respektive mellan 0,76 och 5,4 W/kg/W vid 1800 MHz. Medelvärden låg på 1,6 W/kg/W vid 900 MHz och 2,4 W/kg/W vid 1800 MHz. En telefon med en liten kvot mellan SAR och utstrålade effekt har ett lågt SAR-värde, men utstrålar samtidigt stor effekt. En sådan telefon borde vid vanlig användning ha större möjlighet att nedreglera effekten och därmed minska SAR-värdet ytterligare utan att förlora i kommunikationsförmåga.

Mätmetodik

SAR-mätningar gjordes enligt en mätspecifikation från 1998. Denna föreskriver att SAR ska mätas när telefonen sänder med full effekt och då den placeras i fyra olika, väldefinierade positioner både till vänster och till höger om ett fantomhuvud. Sedan augusti 2001 har en ny europeisk mätstandard för mätning av mobiltelefoners SAR-värden trätt i kraft. Eftersom den skiljer sig i några detaljer från mätspecifikationen är SAR-värden i denna undersökning inte direkt jämförbara med SAR-värden som uppnås enligt den nya standarden.

För mätning av telefonens utstrålade effekt finns det hittills ingen standardiserad mätanvisning. I denna undersökning användes det tredimensionella PIM-förfarandet. Med denna metod mäts telefonens utstrålade effekt när den passerar ytan av en sfär med en radie på 4,5 m. Sfären omger telefonen som finns intill ett fantomhuvud. Det är den utstrålade effekten i telefonens radiovågor som kan utnyttjas för att bära information med sig. Mätresultaten presenteras både som ett värde för den totala utstrålade effekten och i form av olika strålningsdiagram för telefonen. Mätningarna ger också möjlighet att beräkna telefonens riktverkan (direktivitet).

Mätobjekten valdes dels utifrån de skilda modeller som fanns tillgängliga på den svenska marknaden i slutet av år 2000, dels med avseende på olika typer av antenner. Alla mätobjekt, utom ett, utgjordes av dual-band telefoner och mättes därför både vid 900 MHz och 1800 MHz. Två telefoner hade utdragbara spröstantenner som extra tillbehör. Dessa båda telefoner mättes både med standardantenn och fullt utdragen extraantenn.

Resultat från SAR-mätningar

De högsta uppmätta SAR-värdena varierade för de 23 mätobjekten mellan 0,49 W/kg och 1,7 W/kg. Medelvärdet låg på 0,78 W/kg. SAR-värdet för alla telefoner låg således under gränsvärdet på 2 W/kg. Samma telefon kunde ha stora skillnader mellan SAR-värdet vid 900 MHz och vid 1800 MHz.

Även de åtta mätpositionerna, som återspeglar olika sätt att hålla en telefon intill huvudet, kunde ge upphov till stora skillnader mellan SAR-värdena för en och samma telefon. Vid 900 MHz var effekten mera koncentrerad till området kring telefonens mitt. Det högsta SAR-värdet uppmättes därför i regel i positionen med telefonen tätt intill fantomets "kind", och det lägsta värdet i positionen där telefonens nedre del vinklas utåt bort från huvudet. De två telefonerna med utdragbar antenn hade däremot lägre SAR-värden vid positionen intill "kinden" än i det uppåt vinklade läget.

Vid 1800 MHz var effekten högre vid områden nära antennens fotpunkt eller nära den inbyggda antennen. Dessa områden hamnade närmare fantomhuvudet då telefonens nedre del vinklas utåt bort från huvudet. De högsta SAR-värdena uppmättes därför vid 1800 MHz i regel i denna position och de lägsta värdena när telefonen låg tätt intill "kinden". Telefonerna med antennen bakom en uppfällbar högtalarlucka hade däremot högre SAR-värden vid positionen intill "kinden" än i det uppåt vinklade läget.

Även antennens placering till höger eller till vänster om telefonens mittlinje kunde ha betydelse för SAR-värdena. Telefoner med antennen till höger om mittlinjen hade för det mesta något högre SAR-värden i mätpositioner till vänster än i positioner till höger om fantomhuvudet. Omvända förhållanden gällde för telefoner med antennen till vänster om mittlinjen. Vid 900 MHz uppmättes i genomsnitt ungefär lika höga SAR-värden för telefoner med olika typer av antenner, men vid 1800 MHz hade telefoner med inbyggd antenn i genomsnitt något lägre SAR-värden än andra telefoner.

Resultat från mätningar av utstrålad effekt

De 23 mätobjektens utstrålade effekt var vid 900 MHz med fantomhuvudet mellan 0,19 och 0,49 W. I genomsnitt kunde telefonerna endast utnyttja ca 16 procent av GSM-telefoners nominella effekt på 2 W för kommunikationsändamål. Resten gick förlorad pga. av antennens missanpassning och andra förluster i telefonen och fantomhuvudet. Till och med utan fantomhuvudet, i fritt rum, medförde förlusterna att endast 38 procent av effekten i genomsnitt stod till förfogande för informationsöverföring.

Även vid 1800 MHz var telefonernas utstrålade effekt låg i närvaro av fantomhuvudet. Den varierade mellan 0,056 och 0,26 W. I genomsnitt använde telefonerna vid 1800 MHz endast ca 17 procent av den tillåtna effekten på 1 W för informationsöverföring.

Den relativa utstrålade effekten (i förhållandet till nominell effekt) skilde sig endast obetydligt mellan telefoner med olika typer av antenner.

Samtliga telefoner hade större riktverkan vid 1800 MHz än vid 900 MHz, såväl vid närvaro av fantomhuvudet som i fritt rum. När mätobjekten placerades intill fantomhuvudet ökade telefonernas riktverkan i genomsnitt med en faktor två vid 900 MHz och 1,8 vid 1800 MHz.

För samtliga mätobjekt återges också tredimensionella och tvådimensionella strålningsdiagram, som åskådliggör telefonernas skilda riktverkan och olika förmåga att sända ut radiovågor till omgivningen. Fantomhuvudets inverkan återspeglas i diagrammens komplicerade mönster och oregelbundna kurvformer med olika strålningsminima och -maxima, särskilt vid 1800 MHz.

7. Referenser

- [1] Wallander P: Den första boken om digital radio. Perant (1998)
- [2] Bergqvist U, Anger G, Birke E, Hamnerius Y, Hillert L, Larsson L-E, Törnevik C, Zetterblad J: Exponering för radiofrekventa fält och mobiltelefoni. SSI-rapport 2001:09 (2001)
- [3] ICNIRP: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74.4, 494-522 (1998)
- [4] EU-rådet: Rådets rekommendation av den 12 juli 1999 om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält (0 Hz – 300 GHz). L199/519/EG (1999)
- [5] CENELEC: European specification ES 59005: Considerations for the evaluation of human exposure to electromagnetic fields (EMFs) from mobile telecommunication equipment (MTE) in the frequency range 30 MHz – 6 GHz. (1998)
- [6] CENELEC: European Standard EN 50361: Basic standard for the measurement of Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz- 3 GHz). (2001)
- [7] Krogerus J: Comparison of methods for measuring total radiated power and radiation efficiency of handset antennas. Master's thesis, Helsinki University of Technology, Department of Electrical and Communication Engineering (1999)
- [8] Kildal P-S et.al.: under publikation
- [9] Olsson B: Telia scattered field measurements of mobile terminal antennas. Proceedings of the COST 259 Final Workshop on Mobile Terminal and Human Body Interaction. April 26-27 2000, Bergen, Norway.

ERKÄNNANDE

Författaren tackar strålskyddsinspektör Gösta Jonsson, SSI, som har hjälpt till med alla praktiska bestyr. Ett stort tack till Dr Lars-Erik Paulsson, SSI, som alltid funnits till hands med råd och givande uppslag. Ett särskilt tack också till Dr. Christian Bornkessel från IMTS i Tyskland, som har bidragit med många synpunkter.

Bilaga A: Bilder på mätobjekten



Figur A1: Mätobjekt 1



Figur A2: Mätobjekt 2



Figur A3: Mätobjekt 3



Figur A4: Mätobjekt 4



Figur A5: Mätobjekt 6



Figur A6: Mätobjekt 7a



Figur A7: Mätobjekt 8



Figur A8: Mätobjekt 9



Figur A9: Mätobjekt 10

Figur A10: Mätobjekt 11

Figur A11: Mätobjekt 12

Figur A12: Mätobjekt 13



Figur A13: Mätobjekt 14

Figur A14: Mätobjekt 15

Figur A15: Mätobjekt 16

Figur A16: Mätobjekt 17



Figur A17: Mätobjekt 18



Figur A18: Mätobjekt 19



Figur A19: Mätobjekt 20



Figur A20: Mätobjekt5b



Figur A21: Mätobjekt 5a



Figur A22: Mätobjekt 21

Bilaga B: Kompletterande resultatredovisning

B.1 RESULTAT FRÅN SAR-MÄTNINGAR

SAR-värden vid 900 MHz

Samtliga telefoners SAR-värden som uppmättes i de åtta mätpositionerna återges i tabell B1 och figur B1. I tabellen och figuren visas också medelvärdet för dessa åtta SAR-värden. Det högsta genomsnittliga SAR-värdet, 0,75 W/kg, hade mätobjekt 21. Det lägsta medelvärdet låg på 0,18 W/kg och tillhörde mätobjekt 5b. Det aritmetiska medelvärdet för alla telefonernas samtliga SAR-värden var 0,47 W/kg (standardavvikelse 0,15 W/kg) vid 900 MHz.

Tabellens sista kolumner innehåller dessutom uppgifter om mätobjektens högsta och lägsta SAR-värden samt vid vilken mätposition dessa värden uppmättes. Det högsta SAR-värdet, 0,93 W/kg, uppmättes för mätobjekt 10 i kontaktläge 1 vid huvudets vänstra sida. Det lägsta maxima-

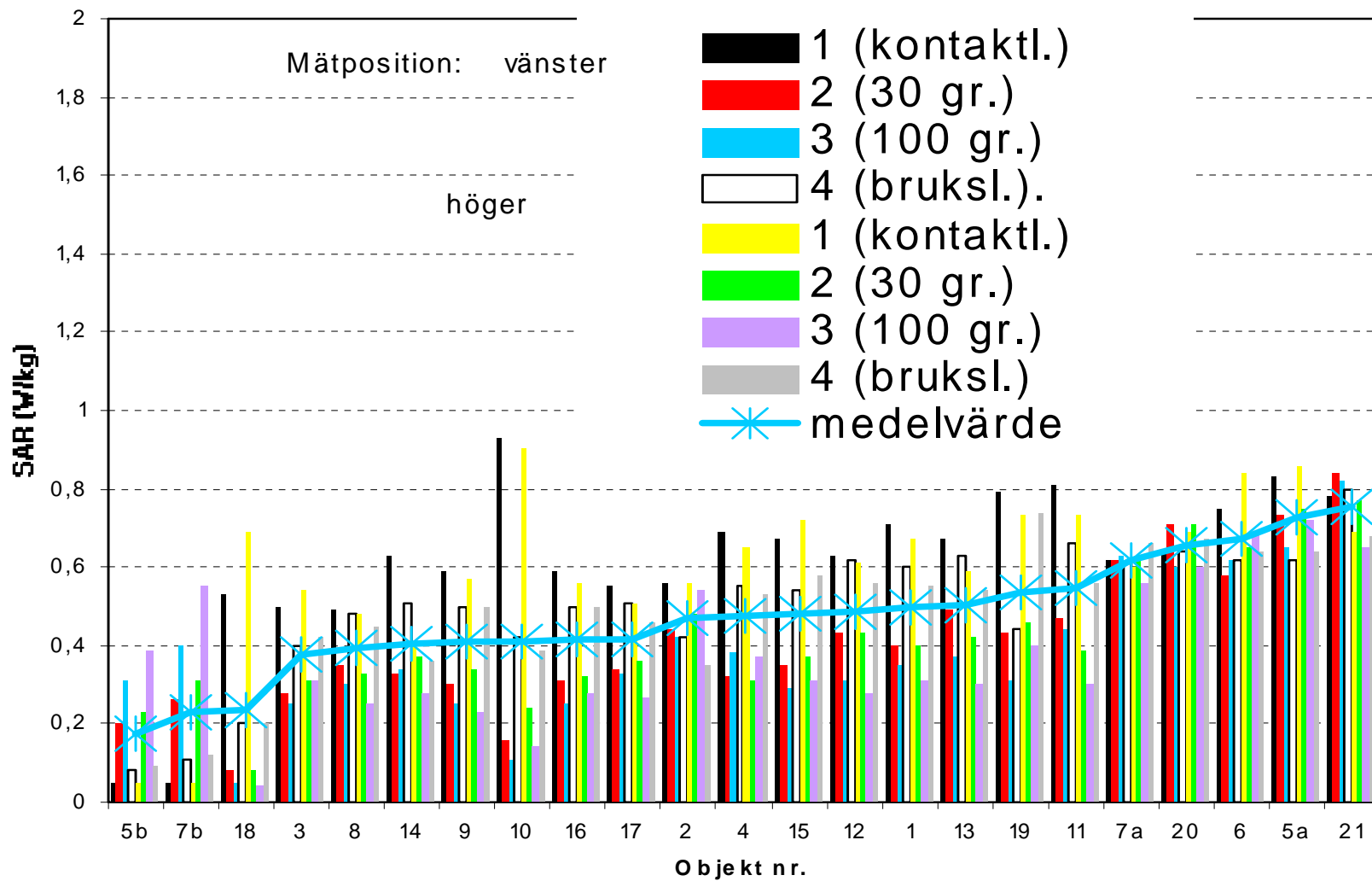
Tabell B1: SAR-värden i W/kg vid 900 MHz

| Objekt nr. ^a | Telefonplacering ^b : Vänster (v) | | | | Telefonplacering ^b : Höger (h) | | | | Medel-SAR | max | | min | |
|-------------------------|---|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-----------|------|--------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | SAR | plac. | SAR | plac. |
| 1 | 0,71 | 0,40 | 0,35 | 0,60 | 0,67 | 0,40 | 0,31 | 0,55 | 0,50 | 0,71 | v 1 | 0,31 | h 3 |
| 2 | 0,56 | 0,44 | 0,42 | 0,42 | 0,56 | 0,48 | 0,54 | 0,35 | 0,47 | 0,56 | v, h 1 | 0,35 | h 4 |
| 3 | 0,50 | 0,28 | 0,25 | 0,40 | 0,54 | 0,31 | 0,31 | 0,42 | 0,38 | 0,54 | h 1 | 0,25 | v 3 |
| 4 | 0,69 | 0,32 | 0,38 | 0,55 | 0,65 | 0,31 | 0,37 | 0,53 | 0,48 | 0,69 | v 1 | 0,31 | h 2 |
| 5a | 0,83 | 0,73 | 0,65 | 0,62 | 0,86 | 0,75 | 0,72 | 0,64 | 0,73 | 0,86 | h 1 | 0,62 | v 4 |
| 5b | 0,045 | 0,20 | 0,31 | 0,082 | 0,049 | 0,23 | 0,39 | 0,092 | 0,18 | 0,39 | h 3 | 0,045 | v 1 |
| 6 | 0,75 | 0,58 | 0,62 | 0,62 | 0,84 | 0,65 | 0,69 | 0,64 | 0,67 | 0,84 | h 1 | 0,58 | v 2 |
| 7a | 0,62 | 0,62 | 0,63 | 0,61 | 0,60 | 0,63 | 0,56 | 0,66 | 0,62 | 0,66 | h 4 | 0,56 | h 3 |
| 7b | 0,053 | 0,26 | 0,40 | 0,11 | 0,053 | 0,31 | 0,55 | 0,12 | 0,23 | 0,55 | h 3 | 0,053 | v 1 |
| 8 | 0,49 | 0,35 | 0,30 | 0,48 | 0,48 | 0,33 | 0,25 | 0,45 | 0,39 | 0,49 | v 1 | 0,25 | h 3 |
| 9 | 0,59 | 0,30 | 0,25 | 0,50 | 0,57 | 0,34 | 0,23 | 0,50 | 0,41 | 0,59 | v 1 | 0,23 | h 3 |
| 10 | 0,93 | 0,16 | 0,11 | 0,42 | 0,90 | 0,24 | 0,14 | 0,39 | 0,41 | 0,93 | v 1 | 0,11 | v 3 |
| 11 | 0,81 | 0,47 | 0,44 | 0,66 | 0,73 | 0,39 | 0,30 | 0,56 | 0,55 | 0,81 | v 1 | 0,30 | h 3 |
| 12 | 0,63 | 0,43 | 0,31 | 0,62 | 0,61 | 0,43 | 0,28 | 0,56 | 0,48 | 0,63 | v 1 | 0,28 | h 3 |
| 13 | 0,67 | 0,49 | 0,37 | 0,63 | 0,59 | 0,42 | 0,30 | 0,54 | 0,50 | 0,67 | v 1 | 0,30 | h 3 |
| 14 | 0,63 | 0,33 | 0,34 | 0,51 | 0,41 | 0,37 | 0,28 | 0,36 | 0,40 | 0,63 | v 1 | 0,28 | h 3 |
| 15 | 0,67 | 0,35 | 0,29 | 0,54 | 0,72 | 0,37 | 0,31 | 0,58 | 0,48 | 0,72 | h 1 | 0,29 | v 3 |
| 16 | 0,59 | 0,31 | 0,25 | 0,50 | 0,56 | 0,32 | 0,28 | 0,50 | 0,41 | 0,59 | v 1 | 0,25 | v 3 |
| 17 | 0,55 | 0,34 | 0,33 | 0,51 | 0,51 | 0,36 | 0,27 | 0,46 | 0,42 | 0,55 | v 1 | 0,27 | h 3 |
| 18 | 0,53 | 0,083 | 0,049 | 0,20 | 0,69 | 0,080 | 0,043 | 0,20 | 0,23 | 0,69 | h 1 | 0,043 | h 3 |
| 19 | 0,79 | 0,43 | 0,31 | 0,44 | 0,73 | 0,46 | 0,40 | 0,74 | 0,54 | 0,79 | v 1 | 0,31 | v 3 |
| 20 | 0,64 | 0,71 | 0,60 | 0,64 | 0,69 | 0,71 | 0,60 | 0,67 | 0,66 | 0,71 | v, h 2 | 0,60 | v, h 3 |
| 21 | 0,78 | 0,84 | 0,82 | 0,80 | 0,69 | 0,77 | 0,65 | 0,68 | 0,75 | 0,84 | v 2 | 0,65 | h 3 |

^a: Se tabell 1 i avsnitt 4.1, ^b: Telefonplacering 1: kontaktläge, 2: 30°-läge, 3: 100°-läge, 4: bruksläge, (avsnitt 4.2).

la SAR-värdet, 0,39 W/kg, hade mätobjekt 5b, uppmätt i mätposition 3 till höger om fantomhuvudet. Medelvärdet för samtliga telefoners högsta SAR-värden låg vid 900 MHz på 0,67 W/kg (standardavvikelse 0,16 W/kg).

De lägsta SAR-värdena, runt 0,05 och 0,04 W/kg, tillhörde mätobjekten 5b, 7b och 18. För 17 mätobjekt var det högsta SAR-värdet mer än två gånger större än det lägsta SAR-värdet. För två telefoner (objekt 18 och 7b) skilde sig SAR-värdena med en faktor större än tio. Skillnaden mellan högsta och lägsta SAR-värdet var endast för två mätobjekt (7a och 20) mindre än 20 %.



Figur B1: SAR-värden vid 900 MHz

SAR-värden vid 1800 MHz

I tabell B2 och figur B2 återges alla 22 mätobjektens åtta SAR-värden och medelvärdet vid 1800 MHz. Telefonen med det högsta genomsnittliga SAR-värdet, 1,2 W/kg, var mätobjekt 7a. Det lägsta medelvärdet hade telefon 16 med 0,12 W/kg. Medelvärdet för telefonernas samtliga SAR-värden var 0,44 W/kg (standardavvikelse 0,25 W/kg), vilket är nästan lika stort som vid 900 MHz.

Som förut visar tabellens sista kolumner uppgifter om mätobjektens högsta och lägsta SAR-värden samt vid vilken mätposition dessa värden uppmättes. Det högsta SAR-värdet som uppmättes vid 1800 MHz var 1,7 W/kg och tillhörde mätobjekt 7a när telefonen befann sig i mätposition 3 på huvudets högra sida. Medelvärdet för samtliga telefoners högsta SAR-värden låg på 0,61 W/kg (standardavvikelse 0,34 W/kg), vilket är något lägre än vid 900 MHz.

Det lägsta SAR-värdet som uppmättes vid 1800 MHz var 0,065 W/kg och fanns vid mätobjekt 10. Vid 1800 MHz skilde sig det högsta och det lägsta SAR-värdet hos samma telefon endast vid tio mätobjekt med en faktor större än två.

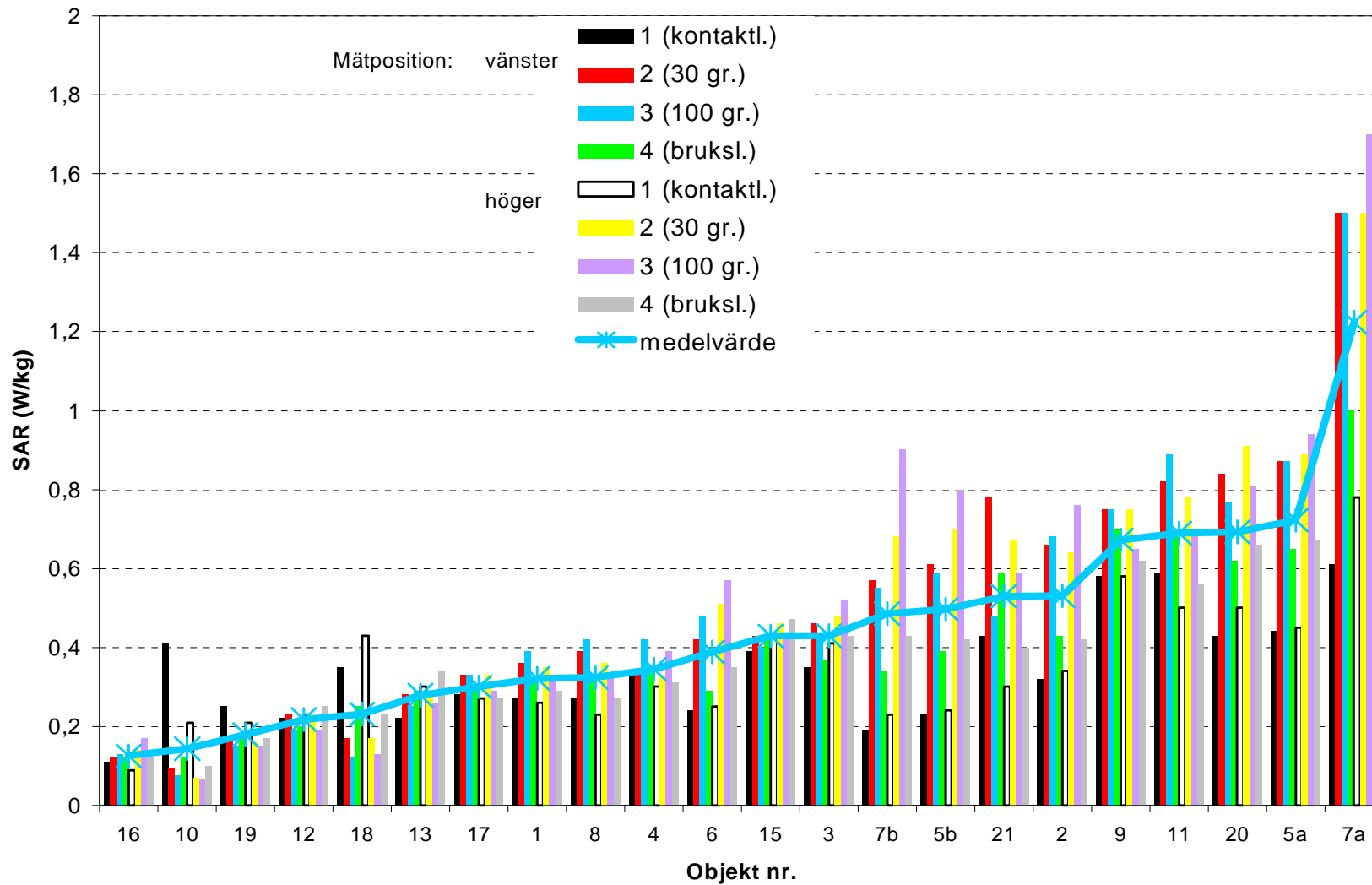
Tabell B2: SAR-värden i W/kg vid 1800 MHz

| Objekt Nr. ^a | Telefonplacering ^b : vänster (v) | | | | Telefonplacering ^b : höger (h) | | | | Medel | max | | min | |
|----------------------------|---|-------|-------|------|---|-------|-------|------|-------|------|----------|-------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | SAR | Placer. | SAR | Placer. |
| 1 | 0,27 | 0,36 | 0,39 | 0,32 | 0,26 | 0,35 | 0,33 | 0,29 | 0,32 | 0,39 | v 3 | 0,26 | h 1 |
| 2 | 0,32 | 0,66 | 0,68 | 0,43 | 0,34 | 0,64 | 0,76 | 0,42 | 0,53 | 0,76 | h 3 | 0,32 | v 1 |
| 3 | 0,35 | 0,46 | 0,42 | 0,37 | 0,41 | 0,48 | 0,52 | 0,43 | 0,43 | 0,52 | h 3 | 0,35 | v 1 |
| 4 | 0,33 | 0,33 | 0,42 | 0,35 | 0,30 | 0,33 | 0,39 | 0,31 | 0,35 | 0,42 | v 3 | 0,30 | h 1 |
| 5a | 0,44 | 0,87 | 0,87 | 0,65 | 0,45 | 0,89 | 0,94 | 0,67 | 0,72 | 0,94 | h 3 | 0,44 | v 1 |
| 5b | 0,23 | 0,61 | 0,59 | 0,39 | 0,24 | 0,70 | 0,80 | 0,42 | 0,50 | 0,80 | h 3 | 0,23 | v 1 |
| 6 | 0,24 | 0,42 | 0,48 | 0,29 | 0,25 | 0,51 | 0,57 | 0,35 | 0,39 | 0,57 | h 3 | 0,24 | v 1 |
| 7a | 0,61 | 1,5 | 1,5 | 1,0 | 0,78 | 1,5 | 1,7 | 1,2 | 1,2 | 1,7 | h 3 | 0,61 | v 1 |
| 7b | 0,19 | 0,57 | 0,55 | 0,34 | 0,23 | 0,68 | 0,90 | 0,43 | 0,49 | 0,90 | h 3 | 0,19 | v 1 |
| 8 | 0,27 | 0,39 | 0,42 | 0,32 | 0,23 | 0,36 | 0,33 | 0,27 | 0,32 | 0,42 | v 3 | 0,23 | h 1 |
| 9 | 0,58 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | 0,58 | 0,75 | 0,65 | 0,62 | 0,67 | 0,75 | v2,3, h2 | 0,58 | v 1 |
| 10 | 0,41 | 0,094 | 0,076 | 0,12 | 0,21 | 0,069 | 0,065 | 0,10 | 0,14 | 0,41 | v 1 | 0,065 | h 3 |
| 11 | 0,59 | 0,82 | 0,89 | 0,68 | 0,50 | 0,78 | 0,7 | 0,56 | 0,69 | 0,89 | v 3 | 0,50 | h 1 |
| 12 | 0,22 | 0,23 | 0,19 | 0,20 | 0,23 | 0,23 | 0,19 | 0,25 | 0,22 | 0,25 | h 4 | 0,19 | v, h 3 |
| 13 | 0,22 | 0,28 | 0,25 | 0,29 | 0,30 | 0,29 | 0,26 | 0,34 | 0,28 | 0,34 | h 4 | 0,22 | v 1 |
| 15 | 0,39 | 0,43 | 0,40 | 0,43 | 0,43 | 0,46 | 0,42 | 0,47 | 0,43 | 0,47 | h 4 | 0,39 | v 1 |
| 16 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,088 | 0,14 | 0,17 | 0,12 | 0,12 | 0,17 | h 3 | 0,088 | h 1 |
| 17 | 0,28 | 0,33 | 0,33 | 0,3 | 0,27 | 0,33 | 0,29 | 0,27 | 0,30 | 0,33 | vä, h 2 | 0,27 | h 1 |
| 18 | 0,35 | 0,17 | 0,12 | 0,25 | 0,43 | 0,17 | 0,13 | 0,23 | 0,23 | 0,43 | h 1 | 0,12 | v 3 |
| 19 | 0,25 | 0,17 | 0,15 | 0,17 | 0,21 | 0,16 | 0,15 | 0,17 | 0,18 | 0,25 | v 1 | 0,15 | v 3 |
| 20 | 0,43 | 0,84 | 0,77 | 0,62 | 0,50 | 0,91 | 0,81 | 0,66 | 0,69 | 0,91 | h 2 | 0,43 | v 1 |
| 21 | 0,43 | 0,78 | 0,48 | 0,59 | 0,30 | 0,67 | 0,59 | 0,4 | 0,53 | 0,78 | v 2 | 0,30 | h 1 |

^a: Se tabell 1. ^b: Telefonplacering 1: kontaktläge, 2: 30°-läge, 3: 100°-läge, 4: bruksläge. (Se avsnitt 4.2)

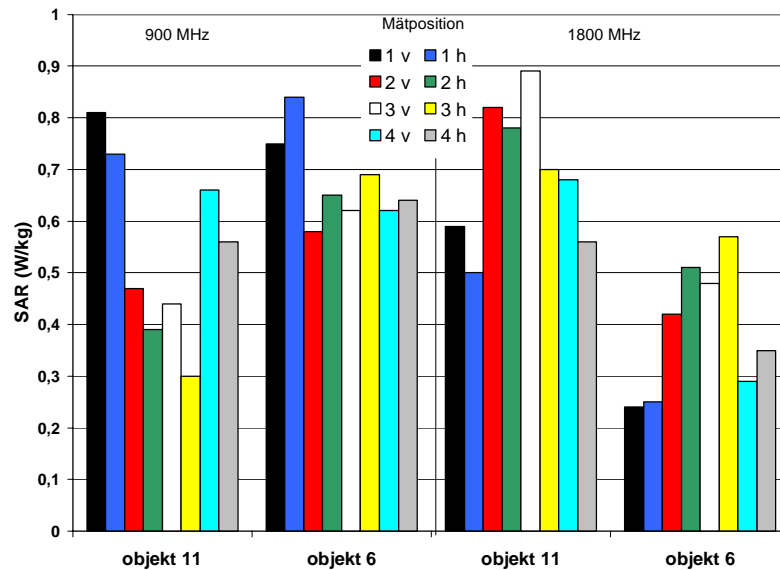
SAR vid höger och vänster sida av huvudet

SAR-värdena för samtliga mätobjekt skilde sig i genomsnitt inte om telefonen placerades till höger eller vänster om fantomhuvudet, se också tabell 4 i avsnitt 5.1. SAR-medelvärdet var 0,48 W/kg på vänster sida och 0,47 W/kg på höger sida om huvudet vid 900 MHz. Vid 1800 MHz var motsvarande medelvärden 0,44 och 0,45 W/kg. För de flesta telefonerna visade det sig dock att SAR-värdena skilde sig något beroende på antennens placering. Telefoner med antennen till höger om telefonens mittlinje hade för det mesta något högre SAR-värden vid mätpositioner till vänster om huvudet. Och omvänt



Figur B2: SAR-värden vid 1800 MHz

uppmättes för telefoner med antennen till vänster om mittlinjen större SAR-värden i de högra mätpositionerna än i de vänstra mätlägena. Som exempel visas i figur B3 SAR-värdena för mätobjekt 11 och mätobjekt 6 (jämför också med figur B1 och B2).



Figur B3: Skillnaden mellan SAR-värden vid antennis placering till höger eller vänster om telefonens mittlinje. Mätobjekt 11, med antennen på telefonen högra sida, hade högre SAR-värden vid mätpositioner vid huvudets vänstra sida än vid dess högra sida. Vid objekt 6, med antennen på telefonens vänstra sida, uppmättes större SAR-värden till höger om huvudet än till vänster om det.

SAR för olika typer av telefonantennor

Tabell B3 visar SAR-värdenas medelvärde för telefoner med olika typer av antenner vid de åtta mätpositionerna. I figur 13 och 14 i avsnitt 5.1 återges resultaten vid 900 och 1800 MHz i form av stapeldiagram.

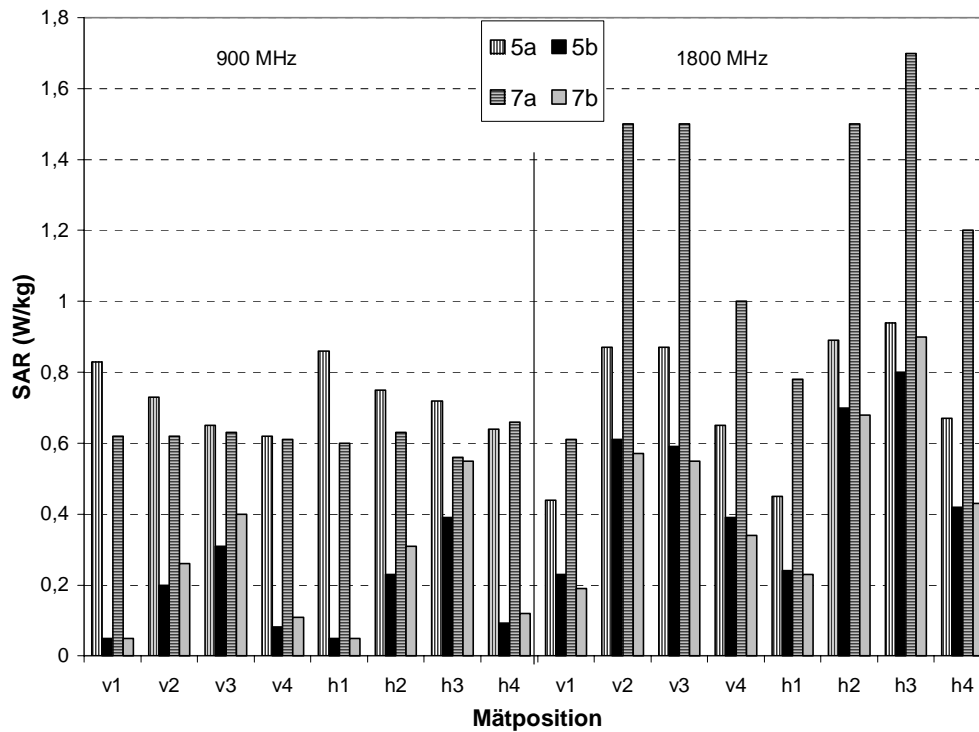
Tabell B3: SAR-värdens medelvärde för mätobjekt med olika typer av antenner

| Mät- postion | | SAR (W/kg) vid 900 MHz med antennen | | | | | SAR (W/kg) vid 1800 MHz med antennen | | | | |
|-----------------|---|-------------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | | vänster ¹ | höger ² | inbyggd ³ | mitten ⁴ | utdrag ⁵ | vänster ¹ | höger ² | inbyggd ³ | mitten ⁴ | utdrag ⁵ |
| 1 | v | 0,64 | 0,67 | 0,69 | 0,69 | 0,05 | 0,36 | 0,40 | 0,27 | 0,33 | 0,21 |
| | h | 0,66 | 0,63 | 0,66 | 0,65 | 0,05 | 0,40 | 0,35 | 0,29 | 0,30 | 0,24 |
| 2 | v | 0,52 | 0,36 | 0,43 | 0,32 | 0,23 | 0,70 | 0,46 | 0,28 | 0,33 | 0,59 |
| | h | 0,55 | 0,36 | 0,42 | 0,31 | 0,27 | 0,72 | 0,43 | 0,29 | 0,33 | 0,69 |
| 3 | v | 0,49 | 0,33 | 0,32 | 0,38 | 0,36 | 0,69 | 0,43 | 0,25 | 0,42 | 0,57 |
| | h | 0,53 | 0,28 | 0,32 | 0,37 | 0,47 | 0,78 | 0,39 | 0,26 | 0,39 | 0,85 |
| 4 | v | 0,54 | 0,52 | 0,56 | 0,55 | 0,10 | 0,50 | 0,41 | 0,27 | 0,35 | 0,37 |
| | h | 0,55 | 0,46 | 0,61 | 0,53 | 0,11 | 0,55 | 0,34 | 0,31 | 0,31 | 0,43 |

1: 7 mätobjekt, 2: 9 mätobjekt vid 900 MHz och 8 vid 1800 MHz, 3: 4 mätobjekt, 4: 1 mätobjekt, 5: 2 mätobjekt

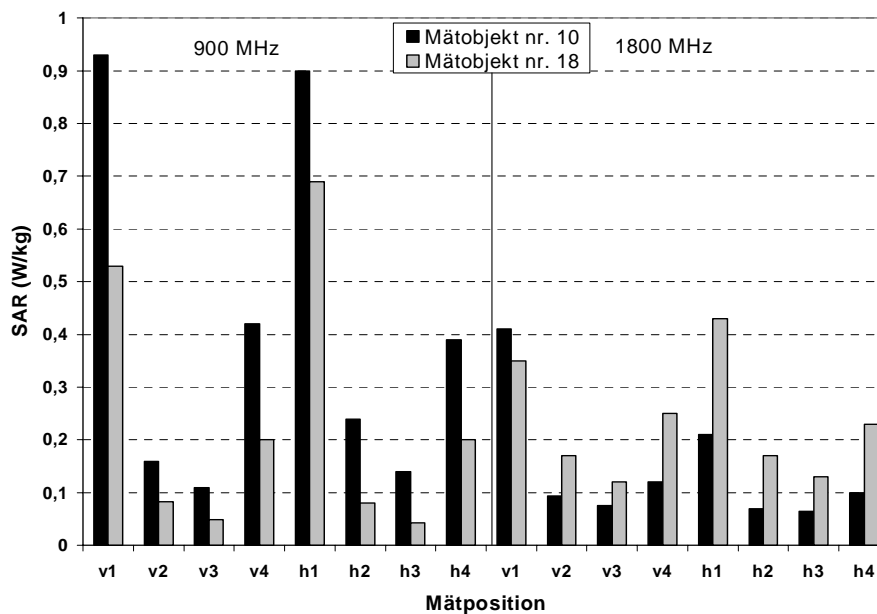
SAR-värdena för mätobjekten med olika typer av antenner följer vid båda frekvenser i stort sett samma mönster, som har beskrivits förut. För telefonerna med antennen till vänster uppmättes dock något högre SAR-värden vid mätpositionerna 2 och 3 än för de övriga mätobjekten. Dessa mätobjekt uppvisade vid 1800 MHz dessutom en större variation mellan SAR-värdena i de åtta mätpositionerna än de andra telefonerna.

Två telefoners (nr. 5 och 7) standardantennor byttes ut mot utdragbara stavantennor. Den utdragna stavantennen gav vid samtliga mätpositioner lägre SAR-värden än standardantennen, se figur B4. Särskilt vid 900 MHz minskade SAR-värdena avsevärt i kontaktläge 1 och i bruksläge 4. Vid 1800 MHz var minskningen dock inte lika kraftigt.



Figur B4: SAR-värden för mätobjekt 5 och 7. Vid mätobjekt 5b och 7b har telefonernas standardantenn (mätobjekt 5a och 7a) ersatts med en fullt utdragen stavantenn.

På mätobjekt 10 och 18 finns högtalaren i en lucka som faller upp framför antennen vid samtal. Liksom vid alla andra mätobjekt uppmättes vid dessa båda telefoner vid 900 MHz högre SAR-värden i mätposition 1 och 4 än i mätposition 2 eller 3, se figur B5. Men tvärt emot de övriga mätobjekten fanns de högsta SAR-värdena även vid 1800 MHz i position 1 och 4 och inte i position 2 eller 3. Som vid de övriga mätobjekt så finns telefonernas utstrålningscentrum vid 1800 MHz nära antennernas fotpunkt. Pga. den uppfällbara högtalarluckan hamnar antennens fotpunkt nedanför örat. Därmed kom också telefonernas utstrålningscentrum i kontaktläge 1 och bruksläge 4 närmare huvudet än i position 3, där telefonen nedre del vinklades utåt bort från huvudet.



Figur B5: SAR-värden för mätobjekt 10 och 18. Dessa telefoner har antennen bakom en uppfällbar högtalarlucka.

SAR-värden och telefonens storlek

SAR-värdena i fantomhuvudet påverkas starkt av bl.a. avståndet till telefonens aktiva radiodelar. Det är därför inte orimligt att anta att telefonens storlek skulle kunna inverka på mätresultaten. De uppmätta SAR-värdena var dock inte på något uppenbart sätt korrelerad till telefonernas höjd, bredd eller tjocklek.

B.2 RESULTAT FRÅN MÄTNINGAR AV UTSTRÅLAD EFFEKT

I tabell B4 och B5 anges telefonernas totala utstrålade effekt både i dBm och Watt, både med telefonen i bruksläge (läge 4) intill fantomhuvudet och i fritt rum. Tabellerna återger också mätobjektens relativa utstrålade effekt, som definieras som kvot mellan uppmätt utstrålade effekt och GSM-telefoners nominella effekt. I tabellens sista kolumn visas också kvoten av utstrålade effekt med huvud och utstrålade effekt utan huvud. Dessutom visar tabellen också direktiviteten D i dBi (för text se sida 35).

Utstrålade effekt vid 900 MHz

Mätresultaten för 900 MHz visas i tabell B4. Med huvudet varierade telefonernas utstrålade effekt mellan 0,186 W (22,7 dBm) för mätobjekt 10 och 0,490 W (26,9 dBm) för mätobjekt 4 och mätobjekt 6. Detta motsvaras av relativa effekter (P_h/P_{nom}) mellan 9,3 och 25 %. Medelvärdet låg på 0,324 W (25,0 dBm) eller på ca 16 % av 2 W. För mätobjekt 10 och 16 uppmättes mindre än 10 % av det nominella värdet.

Tabell B4: Utstrålade effekt (P) och direktivitet (D) vid 900 MHz

| Objekt | Med huvud | | | | Utan huvud (fritt rum) | | | | |
|------------------|-----------|-------|-----------------|-------|------------------------|-------|-----------------|-------|-----------|
| | P_h | P_h | P_h/P_{nom}^b | D | P_f | P_f | P_f/P_{nom}^b | D | P_h/P_f |
| nr. ^a | (dBm) | (W) | (%) | (dBi) | (dBm) | (W) | (%) | (dBi) | (%) |
| 1 | 26,0 | 0,398 | 20 | 6,6 | | | | | |
| 2 | 25,4 | 0,347 | 17 | 6,4 | | | | | |
| 3 | 24,5 | 0,282 | 14 | 6,2 | | | | | |
| 4 | 26,9 | 0,490 | 25 | 6,2 | | | | | |
| 5a | 25,4 | 0,347 | 17 | 6,3 | 28,9 | 0,776 | 39 | 3,1 | 45 |
| 5b | 25,3 | 0,339 | 17 | 5,1 | 26,9 | 0,490 | 25 | 3,2 | 69 |
| 6 | 26,9 | 0,490 | 25 | 5,0 | 28,4 | 0,692 | 35 | 3,2 | 70 |
| 7a | 26,0 | 0,398 | 20 | 5,0 | 28,3 | 0,676 | 34 | 2,8 | 59 |
| 7b | 25,9 | 0,389 | 20 | 4,5 | 26,4 | 0,437 | 22 | 2,9 | 89 |
| 8 | 24,5 | 0,282 | 14 | 5,8 | | | | | |
| 9 | 23,8 | 0,240 | 12 | 6,1 | | | | | |
| 10 | 22,7 | 0,186 | 9,3 | 5,5 | 29,7 | 0,933 | 47 | 2,2 | 20 |
| 11 | 24,6 | 0,288 | 14 | 6,1 | | | | | |
| 12 | 25,1 | 0,324 | 16 | 5,5 | | | | | |
| 13 | 24,8 | 0,302 | 15 | 4,9 | 30,4 | 1,096 | 55 | 2,5 | 28 |
| 14 | 25,0 | 0,316 | 16 | 6,2 | | | | | |
| 15 | 25,5 | 0,355 | 18 | 5,8 | 30,0 | 1,000 | 50 | 2,3 | 36 |
| 16 | 22,8 | 0,191 | 9,6 | 6,3 | 26,9 | 0,490 | 25 | 2,5 | 39 |
| 17 | 24,2 | 0,263 | 13 | 5,9 | | | | | |
| 18 | 24,3 | 0,269 | 14 | 4,4 | | | | | |
| 19 | 24,9 | 0,309 | 16 | 5,1 | | | | | |
| 20 | 25,7 | 0,372 | 19 | 6,1 | | | | | |
| 21 | 24,4 | 0,275 | 14 | 5,7 | 29,8 | 0,955 | 48 | 2,3 | 29 |

^a: se tabell 1 i avsnitt 4.1, ^b: $P_{nom} = 2,0$ W (33 dBm)

Tio telefoner mättes också i fritt rum (utan fantomhuvud). Den utstrålade effekten varierade mellan 0,437 för mätobjekt 7b och 1,096 W för mätobjekt 13, vilket motsvarar 22 och 55 % av den nominella effekten. I genomsnitt utstrålade telefonerna i fritt rum en effekt på 0,754 W (28,6 dBm) eller 38 % av den nominella effekten.

Av sista kolumnen i tabellen framgår hur mycket dessa tio telefoners utstrålade effekt minskade ytterligare då de placerades intill fantomhuvudet, se också figur B6. För mätobjekt 7b medförde fantomhuvudet att effekten minskade med drygt 10 % från 0,437 W i fritt rum till 0,389 W. Vid mätobjekt 10 däremot minskade den uppmätta effekten med 80 % från 0,933 W i fritt rum till 0,189 W när telefonen fanns intill huvudet. I genomsnitt medförde fantomhuvudet att telefonernas utstrålade effekt minskade med 57 % jämfört med utstrålningen i fritt rum. Med fantomhuvud utnyttjade telefonerna således för signalöverföringen i genomsnitt endast 43 % av den effekt som de förmådde sända ut i fritt rum.

Utstrålad effekt vid 1800 MHz

I tabell B5 återges resultaten vid 1800 MHz. Vid mätningarna med huvudet varierade den uppmätta effekten mellan 0,059 W (17,7 dBm) för mätobjekt 16 och 0,263 W (24,2 dBm) för mätobjekt 12, dvs. mellan 6 och 26 % av det nominella värdet. Medelvärde vid 1800 MHz låg på 0,174 W (22 dBm) eller ca 17 % av 1W. Anmärkningsvärd är den låga utstrålade effekten för mätobjekt 16, som också vid 900 MHz hade en av de största avvikelserna från det nominella värdet.

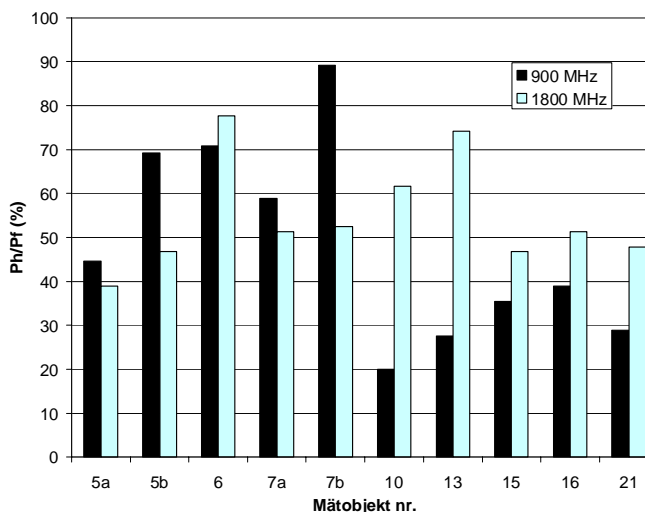
I fritt rum varierade uteffekten mellan 0,115 W för mätobjekt 16 och 0,417 W för mätobjekt 5b. Medeleffekten för dessa tio telefoner var ca 0,3 W (24,5 dBm eller 30 % av 1 W). Vid närvaro av fantomhuvudet användes vid 1800 MHz i genomsnitt 55 % av den effekten som telefonerna förmådde att sända med i fritt rum (se också figur B6), vilket är något mera än vid 900 MHz.

Tabell B5: Utstrålad effekt (P) och direktivitet (D) vid 1800 MHz

| Objekt | Med huvud | | | | I fritt rum | | | | P _h /P _f |
|--------|-------------------------|-----------------------|--|------------|-------------------------|-----------------------|--|------------|--------------------------------|
| | P _h (dBm) | P _h (W) | P _h /P _{nom} ^b (%) | D (dBi) | P _f (dBm) | P _f (W) | P _f /P _{nom} ^b (%) | D (dBi) | |
| 1 | 22,5 | 0,178 | 18 | 8,0 | | | | | |
| 2 | 23,5 | 0,224 | 22 | 7,5 | | | | | |
| 3 | 22,3 | 0,170 | 17 | 8,4 | | | | | |
| 4 | 24,1 | 0,257 | 26 | 8,2 | | | | | |
| 5a | 21,8 | 0,151 | 15 | 8,1 | 25,9 | 0,389 | 39 | 5,5 | 39 |
| 5b | 22,9 | 0,195 | 20 | 7,2 | 26,2 | 0,417 | 42 | 5,1 | 47 |
| 6 | 22,6 | 0,182 | 18 | 6,8 | 23,7 | 0,234 | 23 | 5,5 | 78 |
| 7a | 22,7 | 0,186 | 19 | 7,6 | 25,6 | 0,363 | 36 | 5,7 | 51 |
| 7b | 22,6 | 0,182 | 18 | 7,3 | 25,4 | 0,347 | 35 | 5,1 | 52 |
| 8 | 21,3 | 0,135 | 14 | 7,9 | | | | | |
| 9 | 23,2 | 0,209 | 21 | 8,0 | | | | | |
| 10 | 21,2 | 0,132 | 13 | 8,1 | 23,3 | 0,214 | 21 | 4,8 | 62 |
| 11 | 23,0 | 0,200 | 20 | 8,2 | | | | | |
| 12 | 24,2 | 0,263 | 26 | 8,4 | | | | | |
| 13 | 23,5 | 0,224 | 22 | 8,1 | 24,8 | 0,302 | 30 | 6,6 | 74 |
| 15 | 21,6 | 0,145 | 15 | 8,9 | 24,9 | 0,309 | 31 | 5,3 | 47 |
| 16 | 17,7 | 0,059 | 6 | 6,4 | 20,6 | 0,115 | 12 | 4,6 | 51 |
| 17 | 20,2 | 0,105 | 11 | 7,3 | | | | | |
| 18 | 21,2 | 0,132 | 13 | 8,4 | | | | | |
| 19 | 21,8 | 0,151 | 15 | 7,7 | | | | | |
| 20 | 23,4 | 0,219 | 22 | 7,3 | | | | | |
| 21 | 21,5 | 0,141 | 14 | 7,6 | 24,7 | 0,295 | 30 | 4,6 | 48 |

^a: se tabell 1 i avsnitt 4.1, ^b: P_{nom} = 1,0 W (30 dBm)

Figur B6: Kvot P_h/P_f mellan utstrålad effekt med huvud och utstrålad effekt utan huvud vid 900 och 1800 MHz. Medelvärde vid 900 MHz är 43 % och vid 1800 MHz 55 %.



Direktivitet

I tabellerna B4 och B5 återges mätobjektens uppmätta direktivitet. Den är ett mått på telefonens riktverkan och anges i dBi. En halvvägs dipolantenn karakteriseras av en direktivitet på 2,15 dBi.

Samtliga telefoner hade större riktverkan vid 1800 MHz än vid 900 MHz, både med och utan fantomhuvudet. Skillnaderna i mätobjektens direktivitet återspeglades också i strålningsdiagrammen, se bilaga C och D.

I fritt rum hade mätobjekt 5a och 6 den största direktiviteten (3,2 dBi) vid 900 MHz och mätobjekt 7a (5,7 dBi) vid 1800 MHz. Som lägst var direktiviteten 2,2 dBi (mätobjekt 10) vid 900 MHz och 4,6 dBi (mätobjekt 16 och 21) vid 1800 MHz.

Med telefonen intill fantomhuvudet ökade direktiviteten i genomsnitt med 3 dB (100 %) till 5,7 dBi vid 900 MHz och med 2,5 dB (78 %) till 7,8 dBi vid 1800 MHz. Vid 900 MHz uppmättes den största ökningen, 3,8 dB (140 %), för mätobjekt 16 och vid 1800 MHz 3,3 dB (114 %) för mätobjekt 10. Den minsta påverkan gjorde fantomhuvudet vid mätobjekt 7b vid 900 MHz och mätobjekt 6 vid 1800 MHz, där direktiviteten endast ökade med 1,6 dB (45 %) respektive 1,3 dB (35%).

Tabell B6 visar en sammanställning över direktiviteten för mätobjekten med avseende på olika typer av antenner.

Tabell B6: Medelvärde för direktiviteten D för telefoner med olika typer av antenner

| Antenntyp | D (dBi) med huvud vid | | D (dBi) utan huvud vid | |
|----------------------------------|-----------------------|----------|------------------------|----------|
| | 900 MHz | 1800 MHz | 900 MHz | 1800 MHz |
| Antenn till vänster ¹ | 5,9 | 7,4 | 2,9 | 5,3 |
| Antenn till höger ² | 5,8 | 7,9 | 2,3 | 4,7 |
| Inbyggd antenn ³ | 5,3 | 8,3 | 2,4 | 6,0 |
| Antenn i mitten ⁴ | 6,2 | 8,2 | | |
| Utdragen antenn ⁵ | 4,8 | 7,3 | 3,1 | 5,1 |

1: 7 mätobjekt med huvud och 4 utan huvud,

2: 9 mätobjekt vid 900 MHz och 8 vid 1800 MHz med huvud och 2 utan huvud,

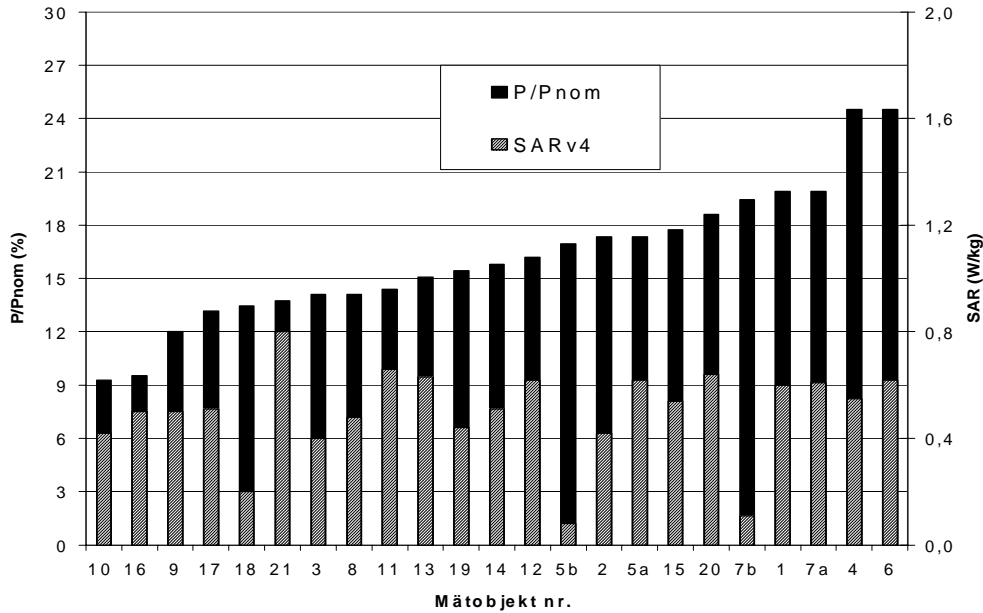
3: 4 mätobjekt med huvud och 2 utan huvud, 4: 1 mätobjekt, 5: 2 mätobjekt

3D-diagram och 2D-diagram

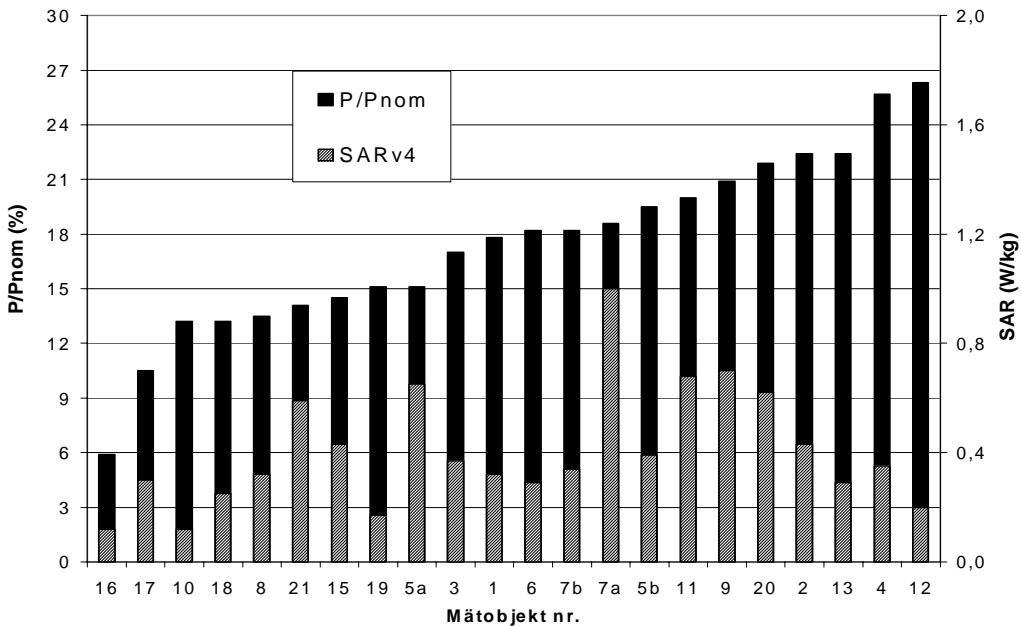
Mätobjektens tre- och tvådimensionella strålningsdiagram över utstrålad effekt finns i bilaga C och D.

B.3: SAR OCH UTSTRÅLAD EFFEKT

SAR-värdet anger hur mycket radiofrekvent energi som absorberas i fantomhuvudet. Den utstrålade effekten är ett mått på hur stor del av telefonernas radiovågor som kan användas för signalöverföring. Effekten mättes med telefonen placerad till vänster om fantomhuvudet i en position som motsvaras av bruksläget (läge 4) vid SAR-mätningarna. I figur B7 och B8 har mätobjektens relativa utstrålade effekt P/P_{nom} och SAR-värden vid bruksläget vänster 4 (SAR_{v4}) ritats in i samma diagram.



Figur B7: SAR-värden i bruksläget v4 och procentuell uteffekt vid 900 MHz



Figur B8: SAR-värden i bruksläget v4 och procentuell uteffekt vid 1800 MHz

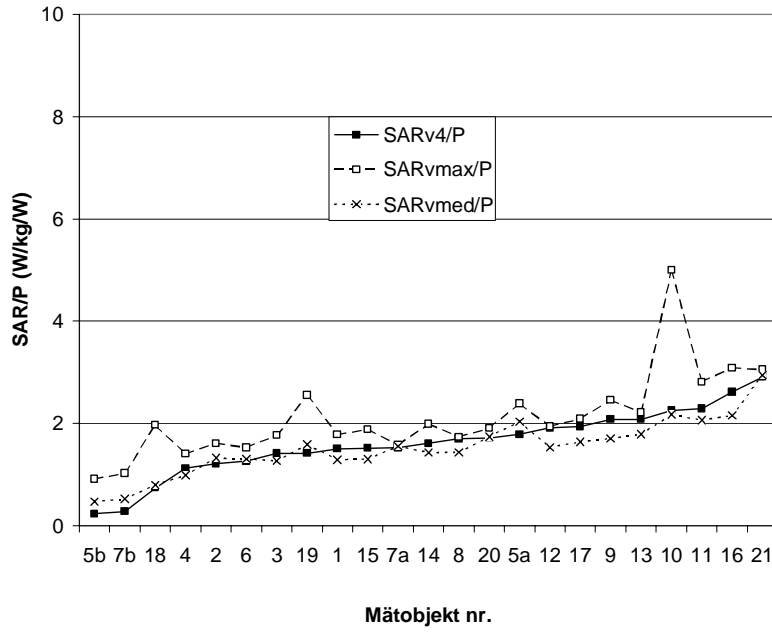
För att beskriva telefonens SAR-värde i förhållande till dess kommunikationsförmåga bestämdes SAR-värdet per utstrålad effekt. Denna kvot beräknades med avseende på SAR-värdet i position v4, medelvärdet av de fyra SAR-värdena uppmätt till vänster om fantomet och det högsta av dessa fyra SAR-värden, se tabell B7 och figur B9 och B10. Kvoten SAR_{v4}/P för alla mätobjekt återges också i figur 18 och 19 i avsnitt 5.3.

Tabell B7: SAR i förhållande till utstrålad effekt vid 900 och 1800 MHz.
(SAR_{v4}/P, SAR_{vmax}/P och SAR_{vmedel}/P i W/kg/W)

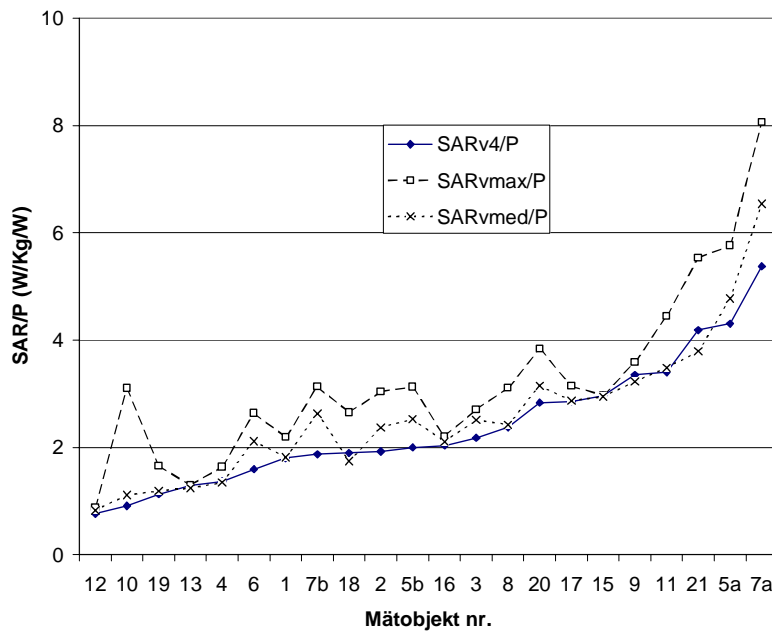
| Mätobj. | 900 MHz | | | 1800 MHz | | |
|---------|---------|----------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| | Nr. | SAR _{v4} /P | SAR _{vmax} /P | SAR _{vmedel} /P | SAR _{v4} /P | SAR _{vmax} /P |
| 1 | 1,5 | 1,8 | 1,3 | 1,8 | 2,2 | 1,8 |
| 2 | 1,2 | 1,6 | 1,3 | 1,9 | 3,0 | 2,4 |
| 3 | 1,4 | 1,8 | 1,3 | 2,2 | 2,7 | 2,5 |
| 4 | 1,1 | 1,4 | 1,0 | 1,4 | 1,6 | 1,3 |
| 5a | 1,8 | 2,4 | 2,0 | 4,3 | 5,8 | 4,8 |
| 5b | 0,24 | 0,91 | 0,47 | 2,0 | 3,1 | 2,5 |
| 6 | 1,3 | 1,5 | 1,3 | 1,6 | 2,6 | 2,1 |
| 7a | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 5,4 | 8,1 | 6,5 |
| 7b | 0,28 | 1,0 | 0,53 | 1,9 | 3,1 | 2,6 |
| 8 | 1,7 | 1,7 | 1,4 | 2,4 | 3,1 | 2,4 |
| 9 | 2,1 | 2,5 | 1,7 | 3,3 | 3,6 | 3,2 |
| 10 | 2,3 | 5,0 | 2,2 | 0,91 | 3,1 | 1,1 |
| 11 | 2,3 | 2,8 | 2,1 | 3,4 | 4,5 | 3,5 |
| 12 | 1,9 | 1,9 | 1,5 | 0,76 | 0,87 | 0,82 |
| 13 | 2,1 | 2,2 | 1,8 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 14 | 1,6 | 2,0 | 1,4 | | | |
| 15 | 1,5 | 1,9 | 1,3 | 3,0 | 3,0 | 2,9 |
| 16 | 2,6 | 3,1 | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 2,1 |
| 17 | 1,9 | 2,1 | 1,6 | 2,9 | 3,1 | 2,9 |
| 18 | 0,74 | 2,0 | 0,8 | 1,9 | 2,7 | 1,7 |
| 19 | 1,4 | 2,6 | 1,6 | 1,1 | 1,7 | 1,2 |
| 20 | 1,7 | 1,9 | 1,7 | 2,8 | 3,8 | 3,1 |
| 21 | 2,9 | 3,1 | 2,9 | 4,2 | 5,5 | 3,8 |

För de flesta mätobjekt fastställdes ett större SAR-värde per utstrålad effekt vid 1800 MHz än vid 900 MHz. Endast för fem mätobjekt (10, 12, 13, 16 och 19) var kvoten större vid 900 MHz än vid 1800 MHz. Kvoten SAR_{v4}/P var i genomsnitt 1,6 W/kg/W vid 900 MHz och 2,4 W/kg/W vid 1800 MHz (standardavvikelse 0,65 W/kg/W vid 900 MHz och 1,2 W/kg/W vid 1800 MHz).

Den utstrålade effekten mättes endast vid en av de åtta mätpositioner som användes vid SAR-mätningarna. Därför är i denna undersökning en jämförelse mellan SAR och utstrålad effekt mest relevant för det SAR-värde som uppmättes i samma mätposition som den utstrålade effekten. På vilket sätt den utstrålade effekten skulle ha ändrat sig om telefonen hade placerats i någon av de andra mätpositionerna är inte känt. Kvoten SAR/P skulle också kunna anges för andra SAR-värden, t.ex. för medelvärdet av alla SAR-värden eller det högsta SAR-värdet som uppmäts för varje telefon. I dessa fall borde också den utstrålade effekten mätas vid alla mätpositioner som används för SAR-mätningar.



Figur B9: Olika kvoter SAR/P vid 900 MHz med P uppmätt i position vänster 4



Figur B10: Olika kvoter SAR/P vid 1800 MHz med P uppmätt i position vänster 4

Bilaga C: 3D-diagram över utstrålad effekt

C.1 KOORDINATSYSTEM

I bilaga 2 visas mätobjektens utstrålade effekt i form av tredimensionella θ - ϕ -diagram i färg. Färgskalan i diagrammet åskådliggör effekten (mätt i dBm) som uppmättes på ytan av en sfär med radien 4,52 m och med telefonen i sfärens centrum. Den lägsta effekten åskådliggörs av svarta markeringar. Effektstyrkan ökar sedan från blått till violett, rött, gult och vitt som åter speglar den högsta effekten.

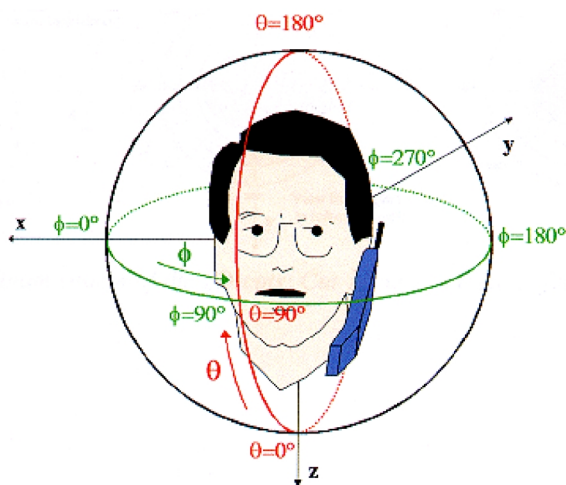
Vid 3D-mätningar med fantomhuvudet fanns telefonen i bruksläge vid huvudets vänstra sida (läge v4). Som beskrivits i kapitel 4.3 gjordes mätningarna så att huvud och/eller telefonen vreds i olika riktningar mot en fast mätantenn. I texten nedan anges riktningar refererade till huvudets olika delar. Så anges t.ex. riktningen för normalen till ett plan som tangerar hjässan som riktning mot ovansidan av huvudet.

Med hjälp av huvudets och telefonens placering i θ - ϕ -koordinatsystemet, som visas i figur C1, kan färgdiagrammet beskrivas i förhållandet till läget av fantomhuvud och telefon: Vid $\theta = 0^\circ$ visas den utstrålade effekten i riktning mot halsen och $\theta = 180^\circ$ motsvarar effekten i riktning mot ovansidan av huvudet. Längs ϕ -axeln återger $\phi = 0^\circ$ effekten i riktning mot högra örat, $\phi = 90^\circ$ i riktning mot näsan, $\phi = 180^\circ$ i riktning mot vänstra örat och $\phi = 270^\circ$ i riktning mot bakhuvudet.

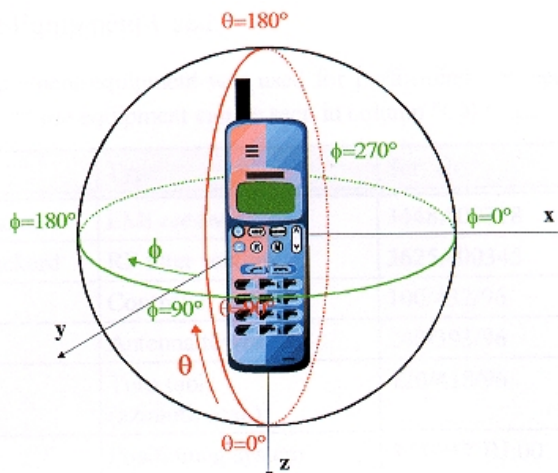
Vid mätningar i fritt rum (utan fantomhuvud) visas vid $\theta = 0^\circ$ den utstrålade effekten i riktning mot telefonens botten och vid $\theta = 180^\circ$ effekten i riktning mot telefonens ovansida (antennsida). Längs ϕ -axeln motsvarar $\phi = 0^\circ$ riktningen mot telefonens högra sida, $\phi = 90^\circ$ riktningen mot dess framsida (displaysida), $\phi = 180^\circ$ riktningen mot dess vänstra sida och $\phi = 270^\circ$ mot telefonens baksida, se figur C2.

C.2 EXEMPEL: MÄTOBJEKT 7

Med hjälp av 3D-diagrammen kan signifikanta detaljer i de olika telefonernas utstrålningskaraktär åskådliggöras. Mätobjekt 7 kan användas som ett exempel, liknande beskrivningar av strålningsdiagrammen kan göras för varje mätobjekt. Figur C10c visar 3D-diagrammet vid 900 MHz i fritt rum. Effekten var som högst i ett område mellan ca $\theta=40^\circ$ och 100° , dvs. mitt i telefonen, och avtog mot nedre och övre kanten av telefo-



Figur C1: Koordinatsystem för 3D-mätning med fantomhuvud



Figur C2: Koordinatsystem för 3D-mätning utan fantomhuvud

nen. I ϕ -riktningen ser man att utstrålningen var något starkare mellan 90° och 270° , dvs. på framsidan, på vänstra sidan och på baksidan än vid högra sidan av telefonen. Vid 1800 MHz (figur C10 d) sände telefonen ungefär lika starkt runtom i ϕ -riktningen, men de högsta värdena var förskjutna mot nedre kanten av telefonen.

Figureerna C10a och C10b illustrerar hur fantomhuvudet inverkar på telefonens utstrålningskaraktäristik: De vita och gula områdena, som representerar den högsta utstrålningen, blir mera begränsade, samtidigt som områden där effekten minskar utbreder sig från kanten längre in i diagrammen, särskilt vid 1800 MHz. Vid 900 MHz förskjuts utstrålningens högsta värden i θ -riktningen något mot diagrammets övre kant. I ϕ -riktningen dämpades strålningen av huvudets närvaro på sådant sätt att effektens högsta värden begränsades till ett område mellan 90 och 180 grader, dvs. i riktning mot ett område mellan näsan och vänstra örat. Vid 1800 MHz har strålningsdiagrammet ett liknande utseende, men de mörka fälten avslöjar att huvudet gav upphov till ännu större effektdämpning i området mellan 270 och 45 grader, dvs. i riktning mot bakhuvudet och höger örat fram till högra hälften av ansiktet. I överensstämmelse med det uppmättes för detta mätobjekt också ett större SAR-värde vid 1800 MHz än vid 900 MHz i telefonens bruksläge v4. Fantomhuvudet påverkar dock telefonens utstrålning inte enbart genom att det absorberar radiovågor. Utstrålningskaraktäristiken ändras också därför att huvudet reflekterar telefonens elektromagnetiska fält och ändrar dess direktivitet. En jämförelse av utstrålningsdiagrammen med SAR-värdena försvåras dessutom av att det registrerade SAR-värdet återger endast det högsta värdet i ett begränsat område men inte den i huvudet totala absorberade energin.

Figur C11 illustrerar hur utstrålningskaraktäristiken hos samma mätobjekt (Ericsson T28s) ändras när standardantennen byttes ut mot en helt utdragen stavantenn: I fritt rum begränsades utstrålningen vid 900 MHz ännu mera till ett område runt $\theta = 100^\circ$ eller mitt i telefonen. Vid 1800 MHz försköts den högsta utstrålningen ännu mera mot nedre kanten, samtidigt som den minskade i riktningen mot mitten av telefonen och sedan ökade igen mot övre halvan av telefonen. Telefonens utstrålning påverkades också anmärkningsvärt av fantomhuvudet när standardantennen hade ersatts med den utdragna antennen: Vid 900 MHz dämpades utstrålningen kraftigare i ett område där θ är mellan 90 och 135 grader och ϕ mellan 20 och 100 grader än i andra riktningar. I detta område, den nedre vänstra ansiktshalvan, fanns telefonen inte så nära huvudet så att SAR-värdet ändå inte blev lika stort som vid telefonen med standardantenn. Vid 1800 MHz dämpades telefonens utstrålning inte lika kraftigt av fantomhuvudet som vid telefonen med standardantenn.

C3 ALLMÄNNA TOLKNINGAR AV 3D-DIAGRAMMEN

Mätobjektens strålningsdiagram hade i fritt rum vid 900 MHz likhet med diagram för halv vågs dipolantenn. Även direktiviteten låg nära den för en halv vågs dipol. Vid 1800 MHz blev telefonernas strålningskaraktäristik däremot mera oregelbunden och deras riktverkan större.

Vid närvaro av fantomhuvudet blev telefonernas strålningsdiagram ännu mera komplicerade. Särskilt vid 1800 MHz återspeglas olika utstrålningsminima och -maxima i diagrammens mera oregelbundna färgmönster. Färgskalan i diagrammen återger styrkan på telefonernas utstrålning. Större inslag av vitt, gult och orange, som t.ex. i figur C3 för mätobjekt 1, visar att telefonen hade en bättre förmåga att sända ut radiovågor till omgivningen än en telefon med ett diagram där färgerna rött, violett och blått överväger, som t.ex. för mätobjekt 18 (figur C25). Genom de ljusa och mörka kulörernas olika vinkelfördelning förmedlar diagrammen också en bild av telefonernas riktverkan.

Mätupställningen, med telefonen på vänster sida av fantomhuvudet, gjorde att den utstrålade effekten dämpades mest i området mellan 270 – 45 grader, dvs. i riktning mot bakhuvudet, högra örat och mot högra halvan av ansiktet. Den minsta dämpningen skedde därför i områden mellan vinklarna $\phi = 90 - 180^\circ$ och $\theta = 40 - 140^\circ$, dvs. ungefär i riktning mot områden mitt i huvudet mellan näsan och vänstra örat.

Strålningsdiagrammen visar ändå att det finns tydliga skillnader i telefonernas utstrålningsegenskaper. En jämförelse av diagrammen synliggör t.ex. att mätobjekten 6 och 7a (figur C9 och C10) hade en mera gynnsam förmåga att sända ut radiovågorna än mätobjekten 10, 16 eller 18 (figur C14, C21 och C25). De senare kan därför tänkas behöva använda starkare sändareffekt än de första för att kunna uppnå samma kommunikationskvalitet under likvärdiga omständigheter. Ett annat exempel är strålningsdiagrammen för telefoner med inbyggd antenn (mätobjekt 12, 13, 15 och 19) vid 1800 MHz, där den högsta utstrålningen verkar vara koncentrerad till ett mera avgränsat område. Detta stöds också av att dessa telefoner vid denna frekvens hade något större direktivitet än de övriga mätobjekten.

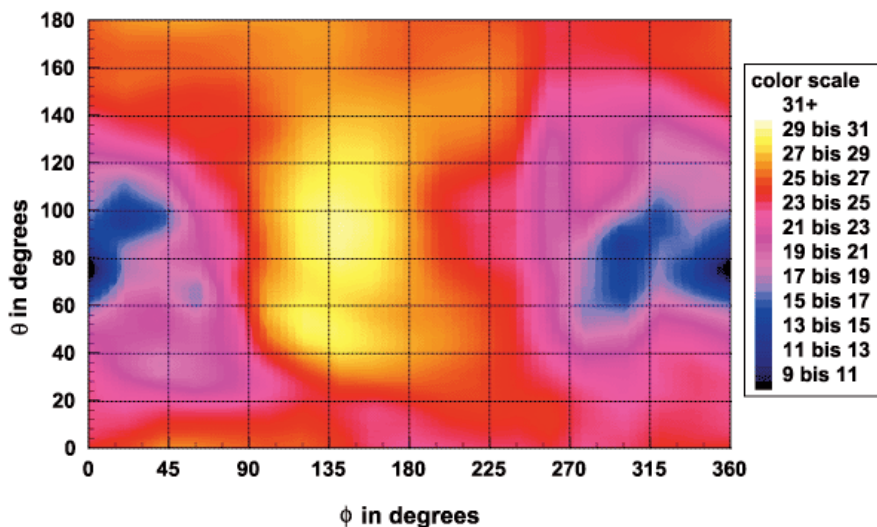
Detta är ett exempel på de diagram som inte finns i denna pdf-fil.

Det saknas 45 st färgdiagram på 16 sidor (sid 42 t.o.m 58).

Du kan beställa den tryckta version där alla sidorna finns med (120 kr) på postadress: SSI, 171 16 Stockholm eller mejla till ssi@ssi.se telefon 08-729 71 00.

Figur C22: Mätobjekt I9 (Siemens M35i)

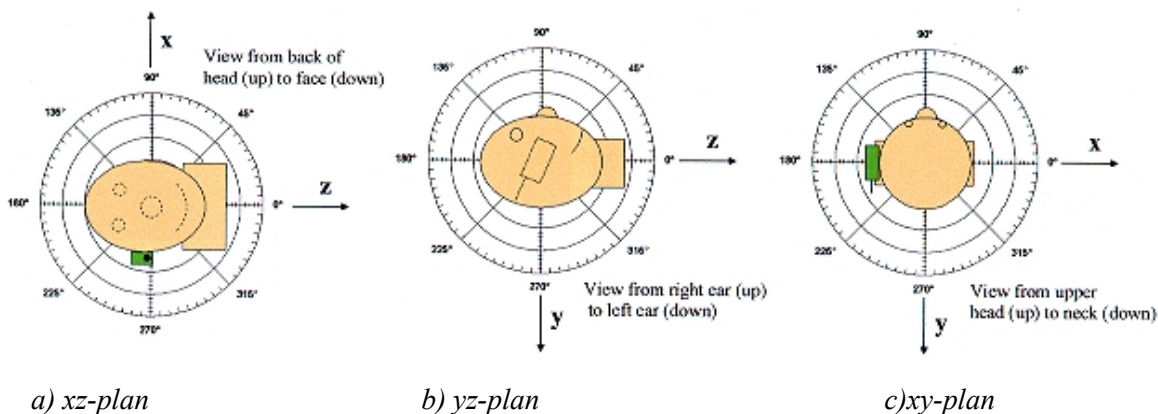
a) 900 MHz, med fantomhuvud



Bilaga D: Tvådimensionella strålningsdiagram

D.1 KOORDINATSYSTEM

Ett ytterligare sätt att åskådliggöra telefonernas utstrålningsfunktion fås genom att presentera den utstrålade effekten i tre till varandra vinkelräta plan. I bilaga D visas 2D-diagram för utstrålningen (i dBm) i xz-, yz- och xy-planen för alla mätobjekt. Fantomhuvudets och telefonens orientering i förhållandet till dessa plan förklaras med hjälp av figur D1 och D2. I xz-planet är elevationsvinkeln $\phi = 0$ och azimutvinkeln θ ändras från 0 till 360 grader i steg av en grad. Normalen till detta plan är alltså riktad från baksidan av huvudet (ovanför papprets plan) mot

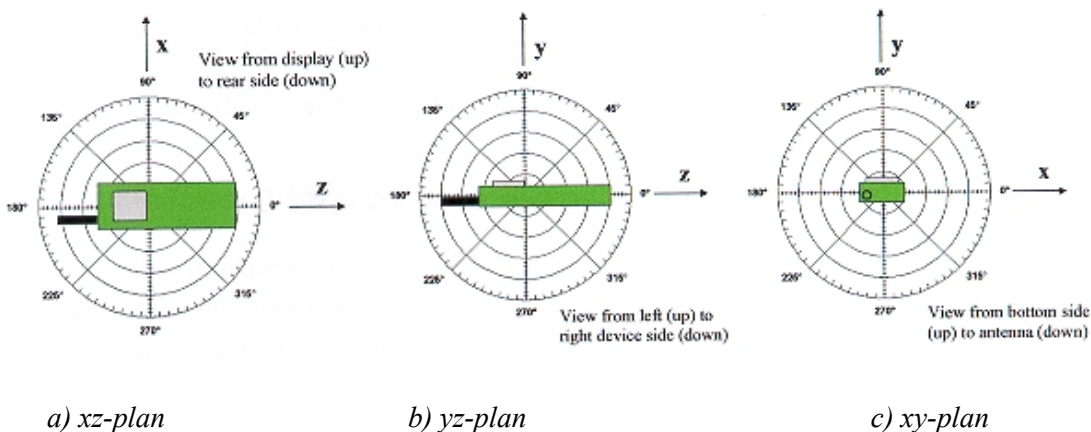


Figur D1: Koordinatsystem för 2D-diagram med fantomhuvud

dess framsida (nedanför papprets plan), se

figur D1a. I yz-planet ($\phi = 90^\circ$, $\theta = 0-360^\circ$) återges utstrålningsdiagrammen med normalen riktad från höger öra mot vänster öra, figur D1b. I xy-planet ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 0-360^\circ$) återges utstrålningen vinkelrätt mot normalen riktad från ovensidan av huvudet mot halsen, figur D1c.

På liknande sätt som i bilaga C anges ritningar i texten nedan refererade till huvudets olika delar.



Figur D2: Koordinatsystem för 2D-diagram utan fantomhuvud (fritt rum)

I fritt rum är normalen till xz-planet riktad från telefonens display mot dess baksida, figur D2a. Normalen till yz-planet är riktad från telefonens vänstra sida mot dess högra sida och normalen till xy-planet från telefonens botten mot dess topp (antennsida), se figur D2b och D2c.

D.2 EXEMPEL: MÄTOBJEKT 7

Diagrammens tolkning exemplifieras återigen med mätobjekt 7, se figurerna D13 – D16. Diagrammet för mätobjekt 7a i figur D13a visar att den utstrålade effekten vid 900 MHz var ganska jämt fördelad i xz-planet. Den var ca. 25 - 30 dBm mellan 135 och 35 grader (räknat moturs). Effekten var som lägst (20 dBm eller mindre) mellan ca 55 och 100 grader, dvs. i riktning mot nedre höger sida om huvudet, med ett tydligt minimum på ungefär 12 dBm vid ca 70 grader. I denna riktning var utstrålningen ca 20-50 gånger mindre än mellan 135 och 35 grader. Telefonen fanns vid vänstra örat (vid 270 grader) och därför uppmättes det mindre effekt till höger om huvudet (90 grader) då huvudet påverkade den från telefonen utsända effekten.

Diagrammet i figur D13b visar även en ganska jämn fördelning av effekten i yz-planet. Den var något högre än 25 dBm mellan 335 och 250 grader (räknat moturs). Mellan 250 och 335 grader var den mindre än 25 dBm med ett tydligt minimum på 18 dBm vid 315 grader, dvs. i riktning mot nedre delen av bakhuvudet. Här var effekten 5-10 gånger lägre än i de övriga riktningarna.

Figur D13c visar att effekten i xy-planet var något mera koncentrerad till ett område mellan 90 och 200 grader (dvs. till vänster om huvudet), med ett värde på mer än 30 dBm vid ca 135 grader. Telefonen fanns vid 180 grader. Den största utstrålning uppmättes därför i detta plan i riktningar mot näsan fram till något bakom vänstra örat. Mellan 225 och 10 grader, dvs. en sektion med riktning mot bakhuvudet fram till högra örat, var den uppmätta effekten (ca. 20 dBm) omkring 10 gånger lägre än vid 135 grader.

xz-planet vid närvaro av fantomhuvudet motsvaras i fritt rum av yz-planet, medan yz-planet med huvudet ska jämföras i fritt rum med xz-planet. De tvådimensionella strålningsdiagrammen för mätobjekt 7a i fritt rum visas i figur D14. Fantomhuvudets inverkan på strålningsdiagrammet framgår tydligast vid jämförelse mellan figur D13c och D14c i xy-planet. Den koncentriska ringen som karakteriserar utstrålningsdiagrammet i fritt rum ersätts av ett deformerat diagram där den utstrålade effekten minskade i nästan alla riktningar när fantomhuvudet var närvarande. Även i de övriga två planen ser man tydligt hur fantomhuvudet förändrade telefonens utstrålningskaraktistik.

Den använda mätgeometrin ledde till att strålningsdiagrammen har ett liknande utseende även vid 1800 MHz även om det finns vissa detaljskillnader, se figur D13 och D14. Den uppmätta effekten var något lägre vid 1800 MHz än vid 900 MHz. Hög effekt och låg effekt förekom vid ungefär samma riktningområden, men effektens maximum eller minimum kunde inträffa vid olika vinklar vid båda frekvenser. Strålningsdiagrammen vid 1800 MHz uppvisade också mera rippel och flera sidolober, både i fritt rum och med fantomhuvudet, än vid 900 MHz.

D.3 ALLMÄNNA TOLKNINGAR AV 2D-DIAGRAMMEN

Liknande tolkningar av strålningsdiagrammen, som för mätobjekt 7, kan göras även för de övriga mätobjekten. Strålningsdiagrammens utseende påverkas naturligtvis starkt av den använda mätgeometrin med telefonen på vänstra sidan av fantomhuvudet. Den uppmätta effekten var alltid lägre där större delar av huvudet fanns mellan telefonen och mätantennen än där telefonens radiovågor kunde nå fram till mätsonden utan hinder. Det förekom också tydliga skillnader mellan strålningsdiagrammen för olika mätobjekt. Diagrammen för t.ex. mätobjekten 6, 10, 12, 16, 18 och 20 visar att den utstrålade effekten kunde vara påtagligt svagare i vissa riktningar. För mätobjekten 5 och 7 ser strålningsdiagrammen olika ut beroende på om telefonerna var försedda med standardantenn eller utdragen sprötantenn, se figur D7 och D9 för mätobjekt 5 och D13 och D15 för mätobjekt 7. Diagrammen för mätobjekten 5a och 7a är, särskilt vid 1800 MHz, mera osymmetriskt fördelade runt mittpunkten och innehåller mer rippel och flera sidolober än motsvarande diagram för telefonerna 5b och 7b med sprötantenn.

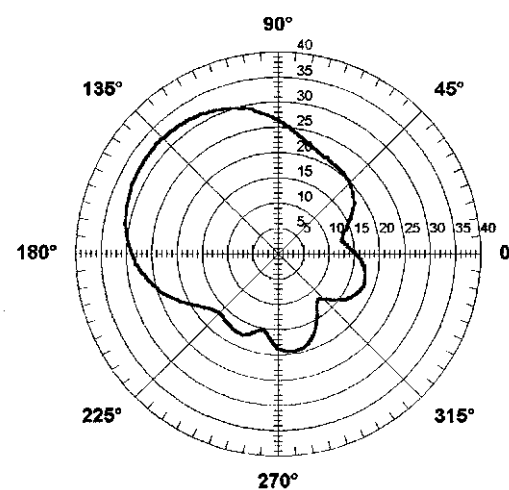
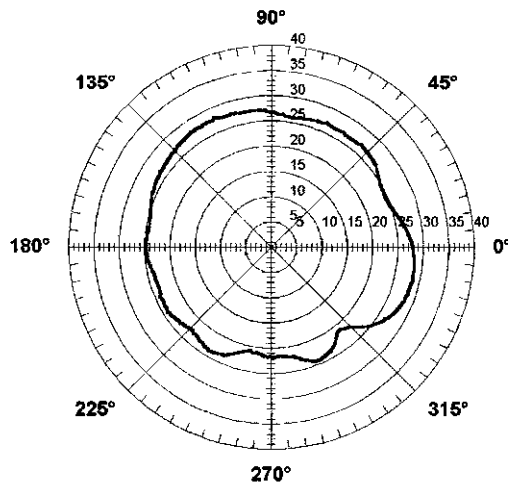
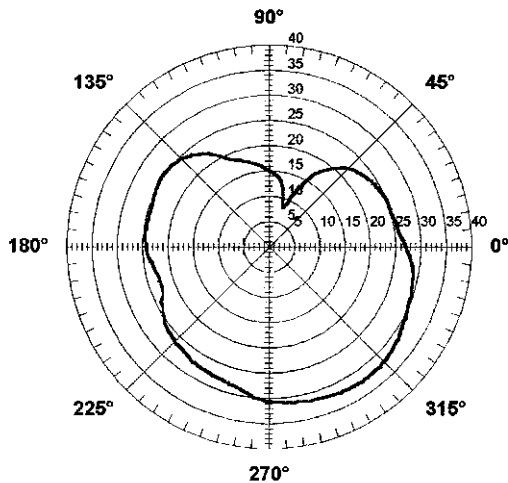
D4 2D-DIAGRAM ÖVER UTSTRÅLAD EFFEKT FÖR SAMTLIGA MÄTOBJEKT

Figur D3: Mmätobjekt 1 (Alcatel One touch club db) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm) vid 900 MHz

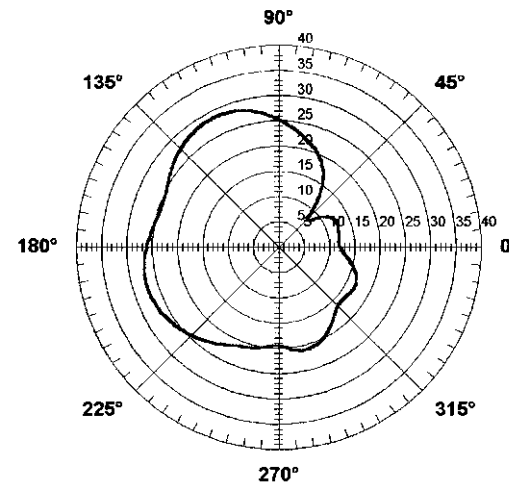
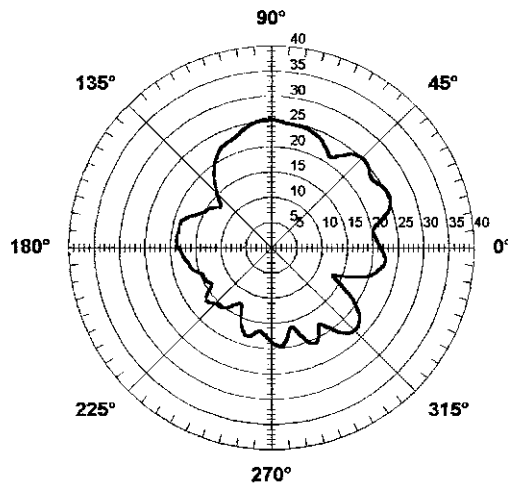
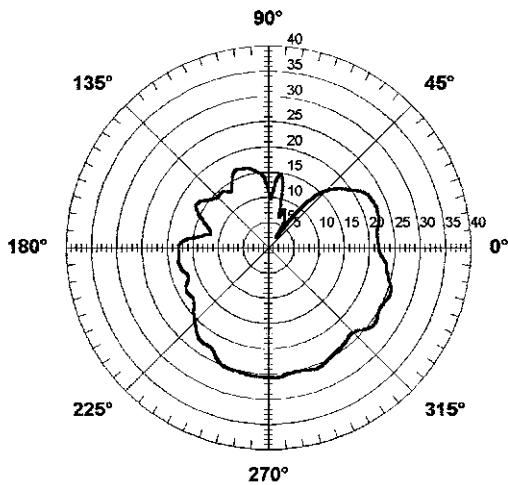
a) xz-plan

b) yz-plan

c) xy-plan



vid 1800 MHz



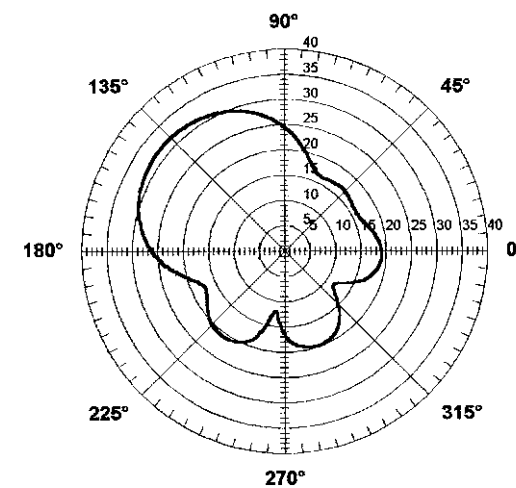
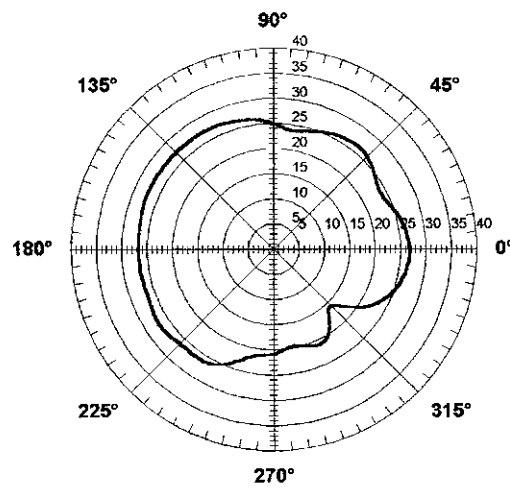
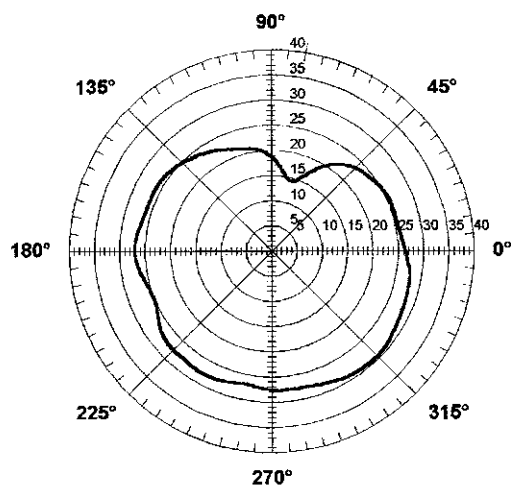
Figur D4: Mätobjekt 2 (Ericsson A1018s) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

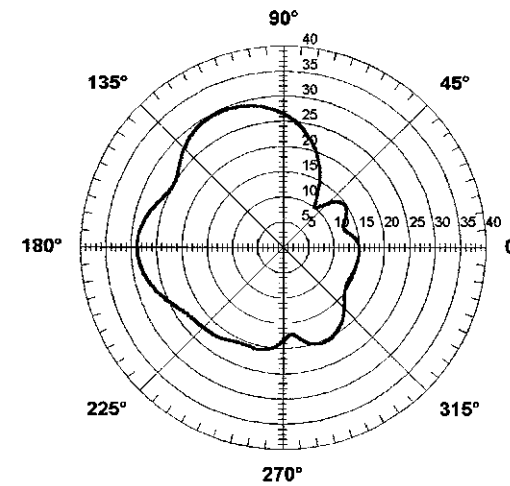
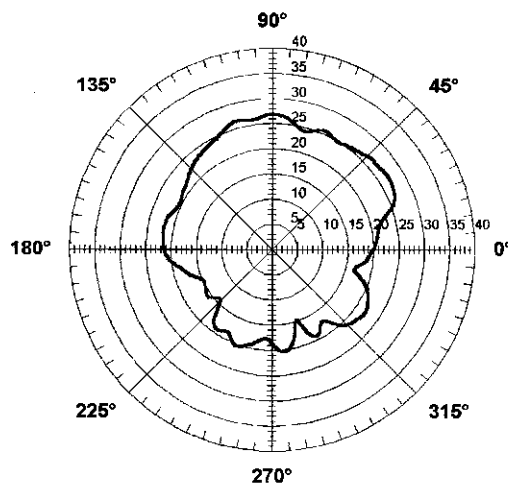
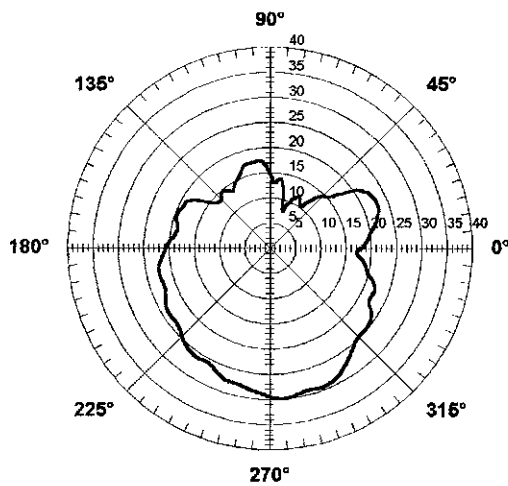
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



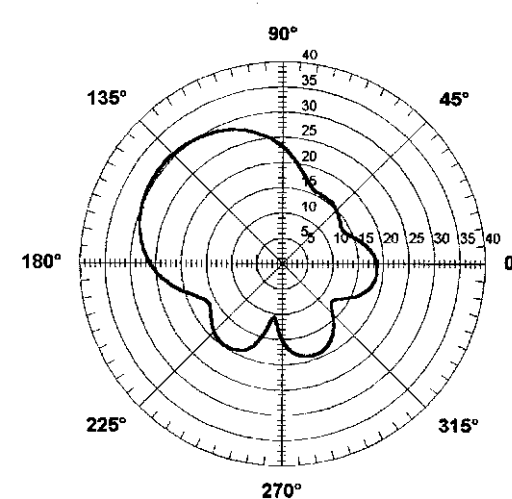
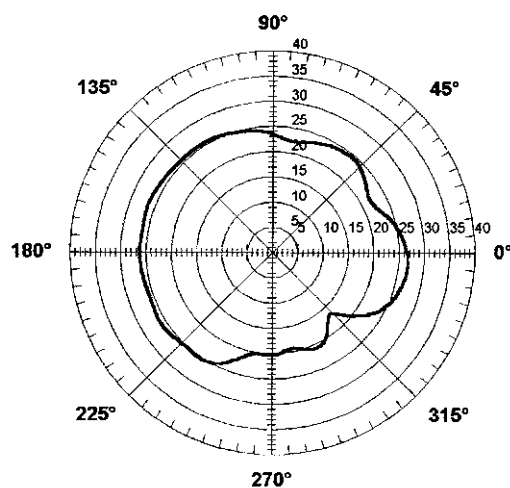
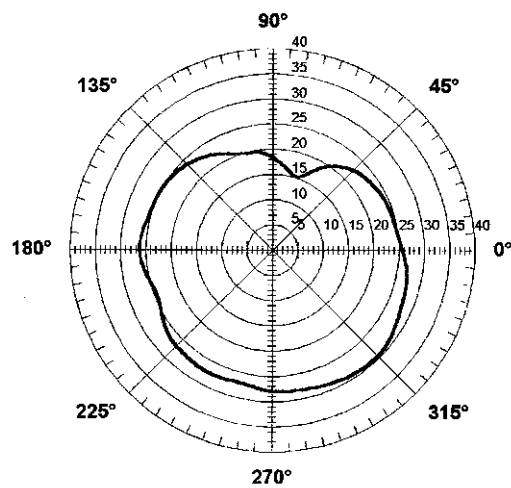
Figur D5: Mätobjekt 3 (Ericsson A2618s) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

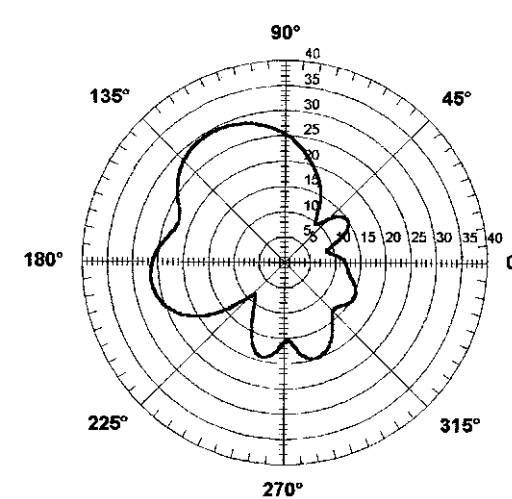
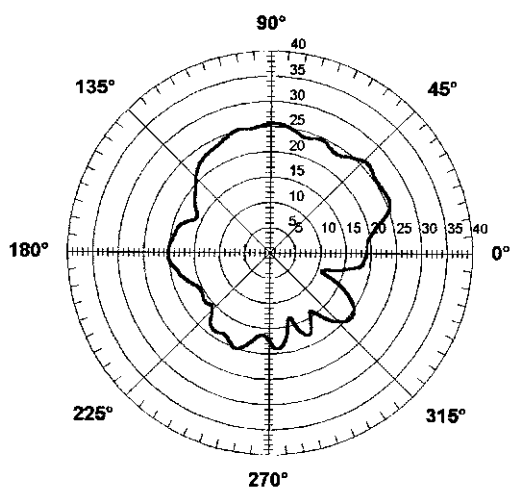
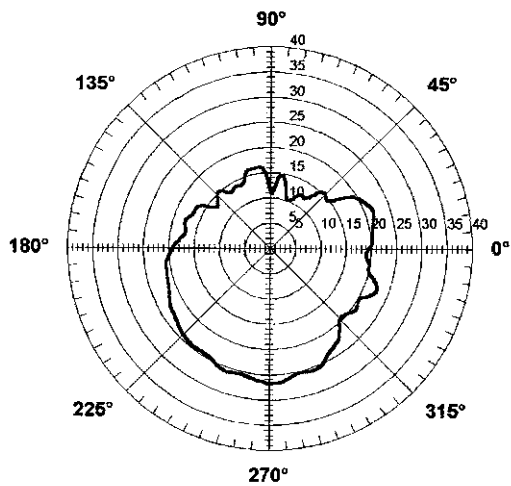
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



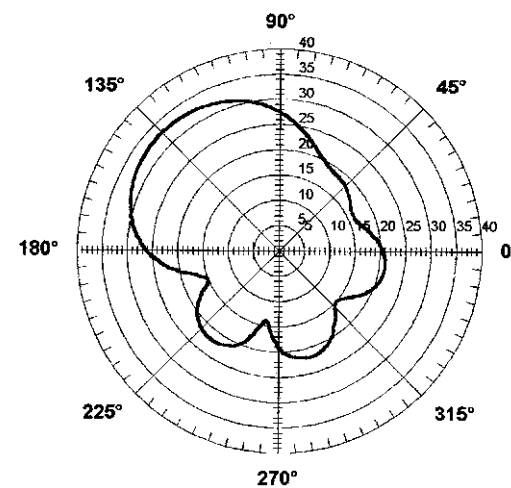
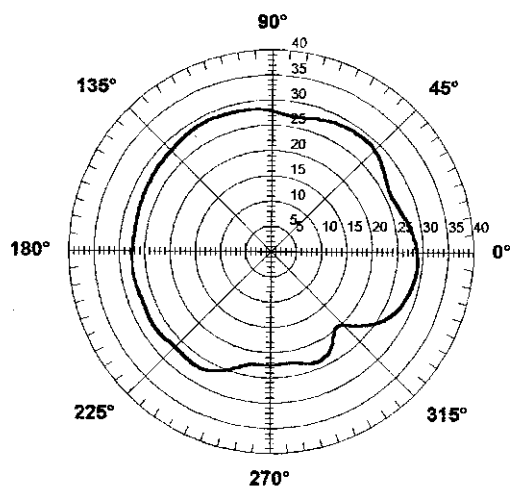
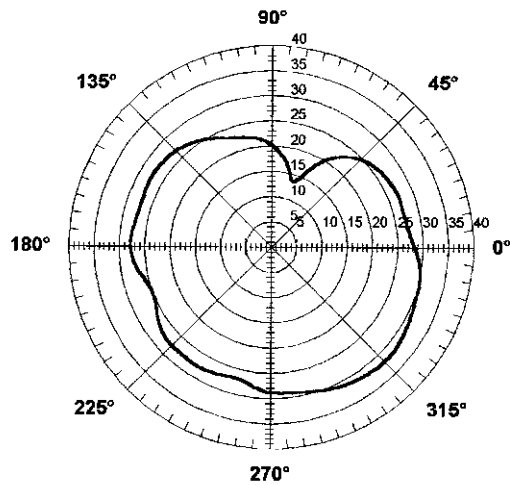
Figur D6: Mätobjekt 4 (Ericsson R310s) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

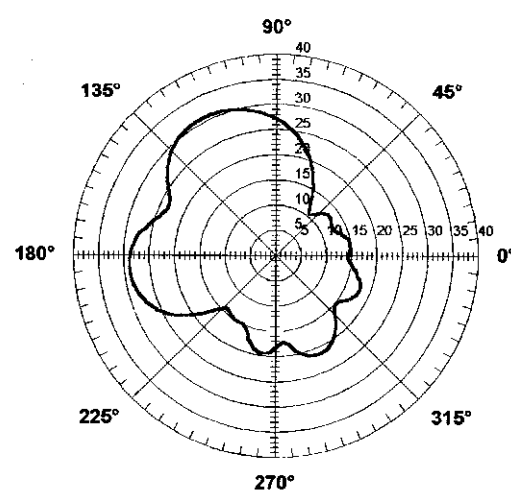
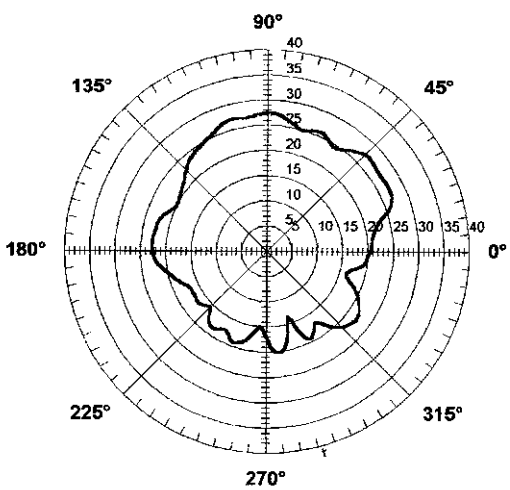
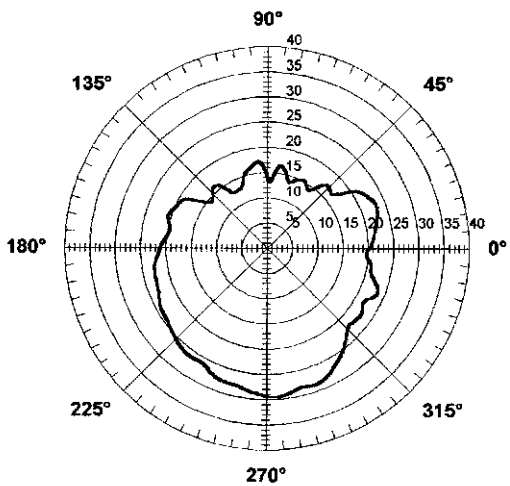
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



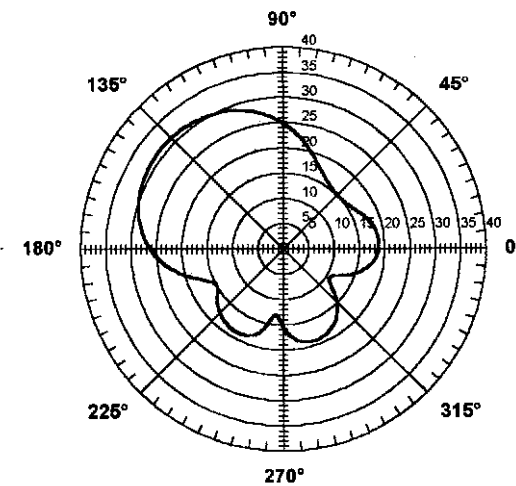
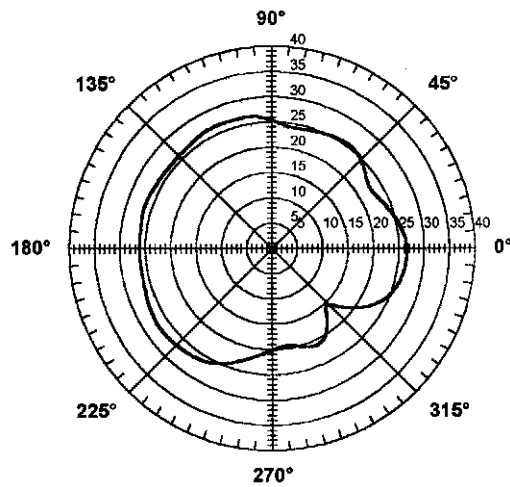
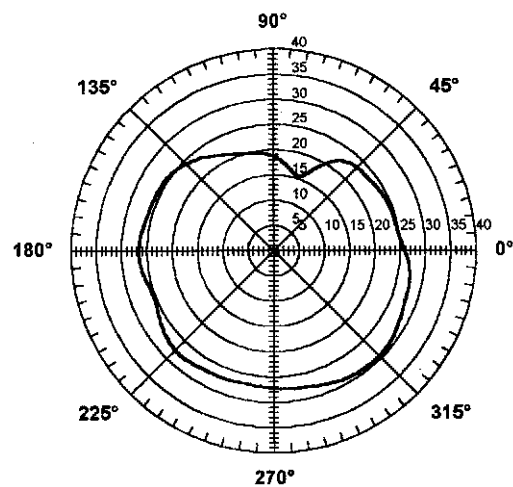
Figur D7: Mätobjekt 5a (Ericsson R320s med standardantenn) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

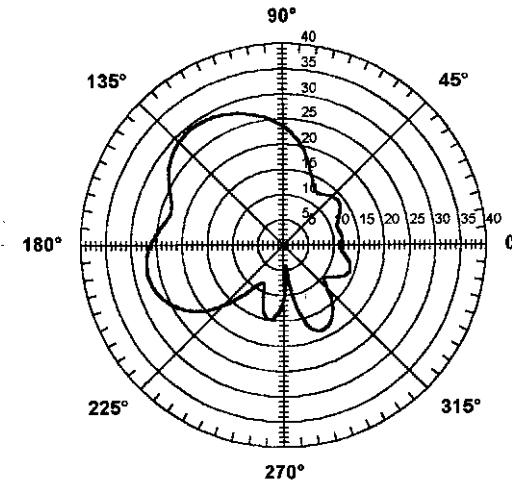
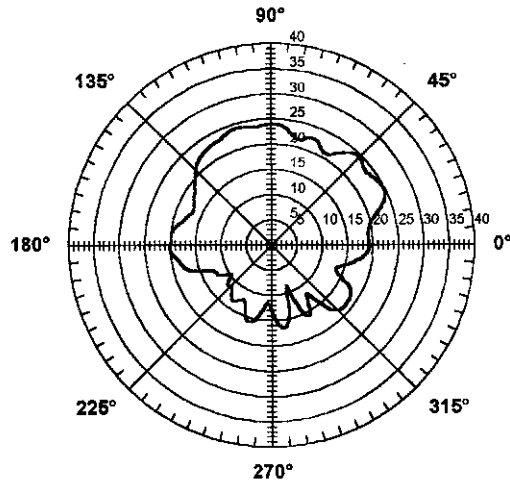
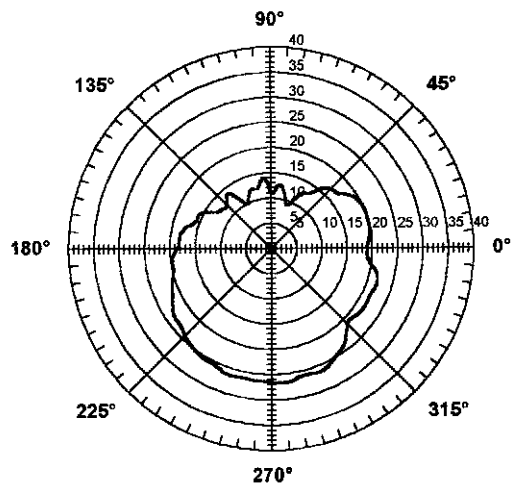
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



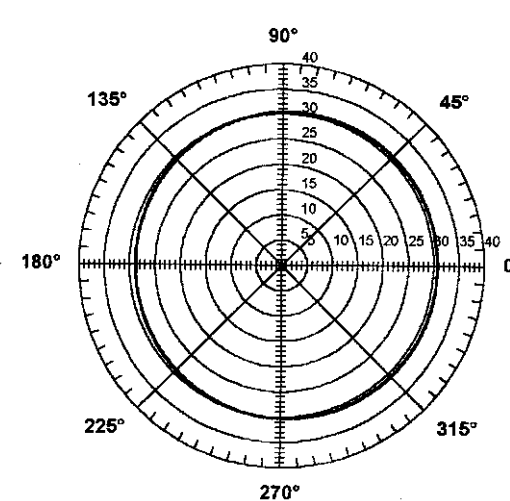
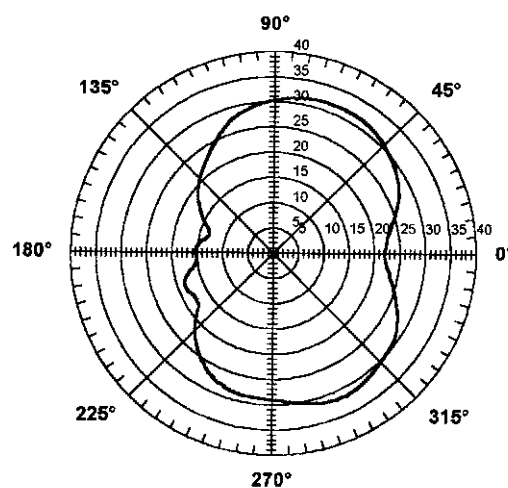
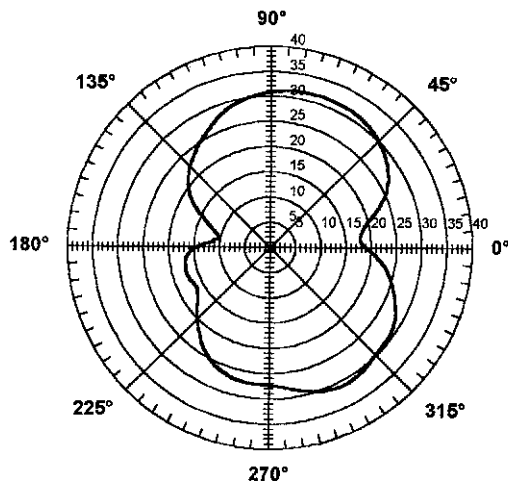
Figur D8: Mätobjekt 5a (Ericsson R320s med standardantenn) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

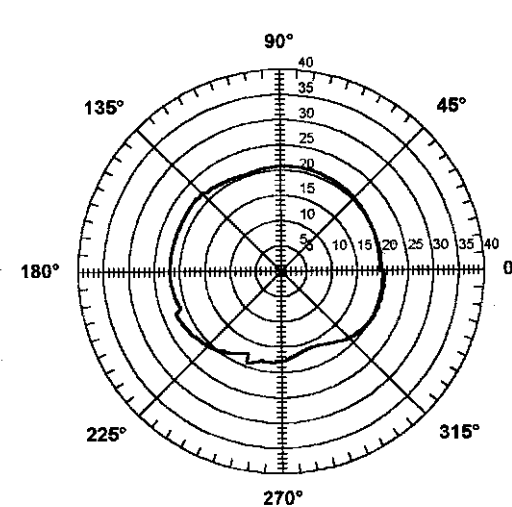
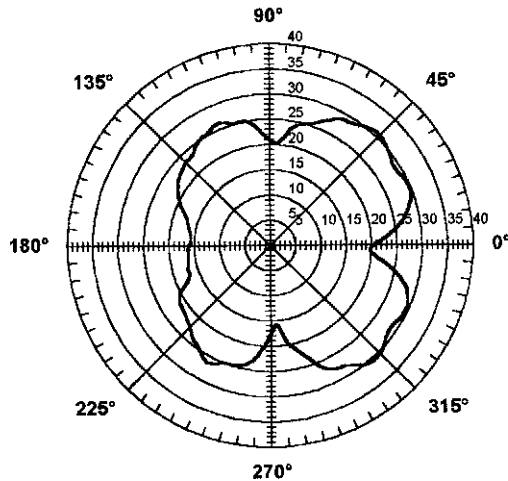
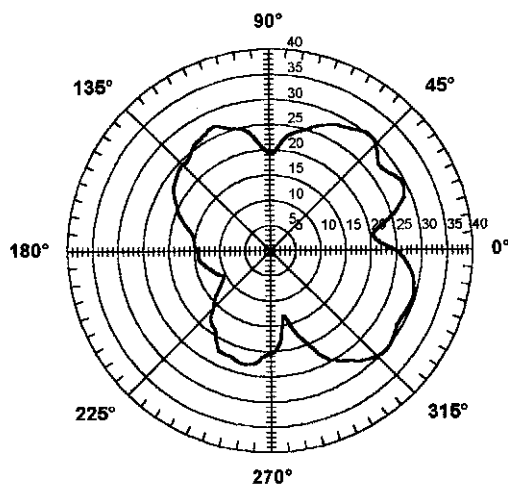
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



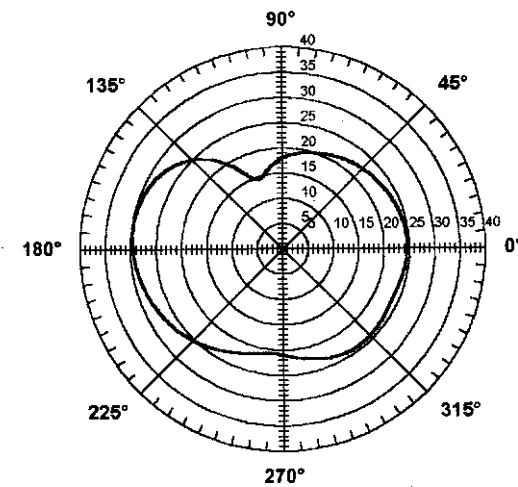
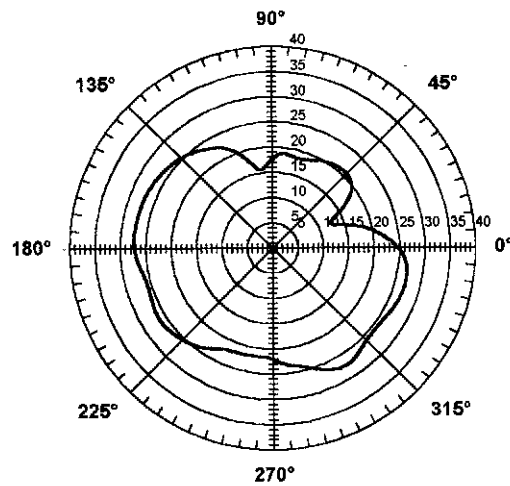
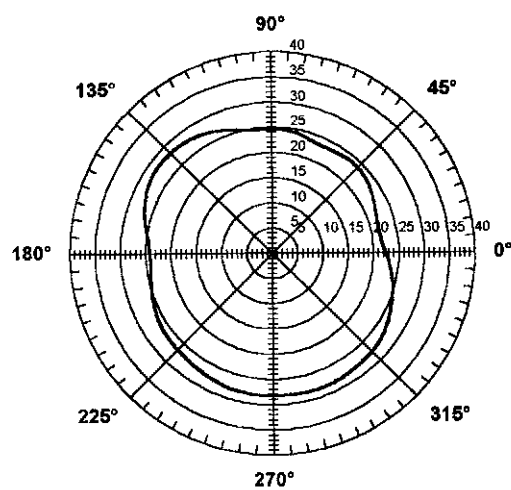
Figur D9: Mätobjekt 5b (Ericsson R320s med utdragen antenn) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

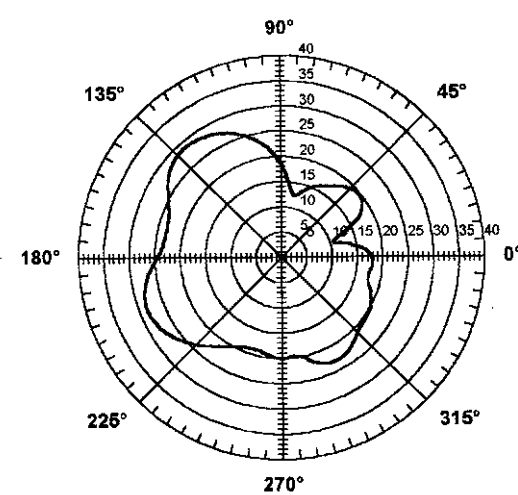
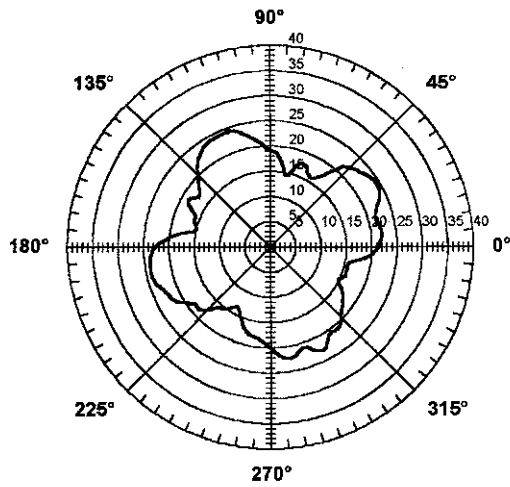
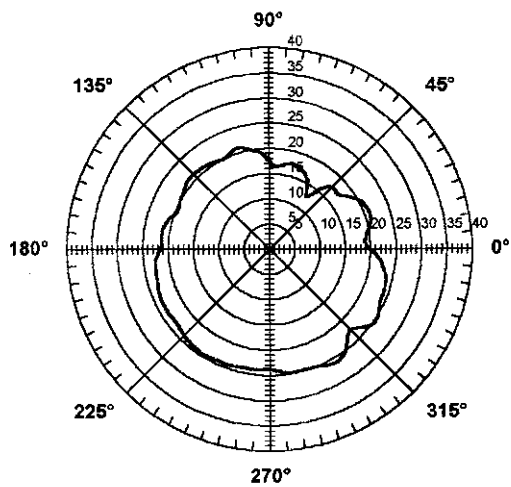
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



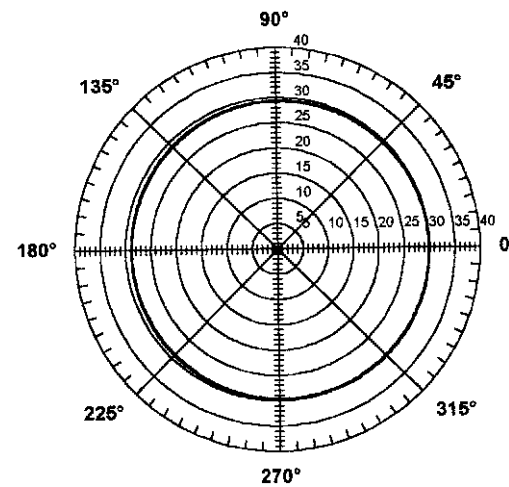
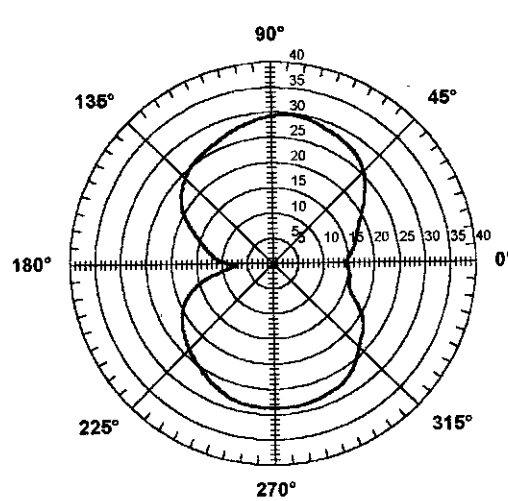
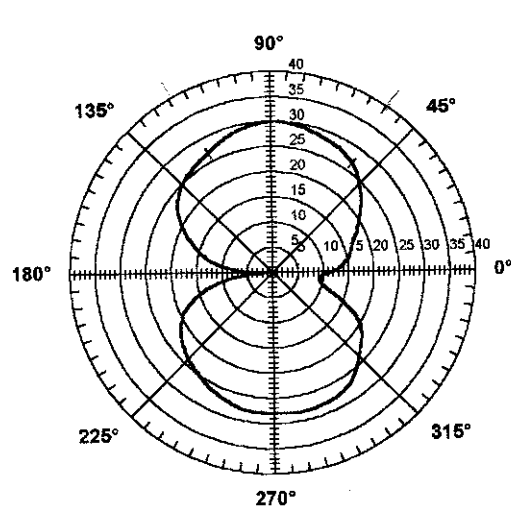
Figur D10: Mätobjekt 5b (Ericsson R320s med utdragen antenn) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

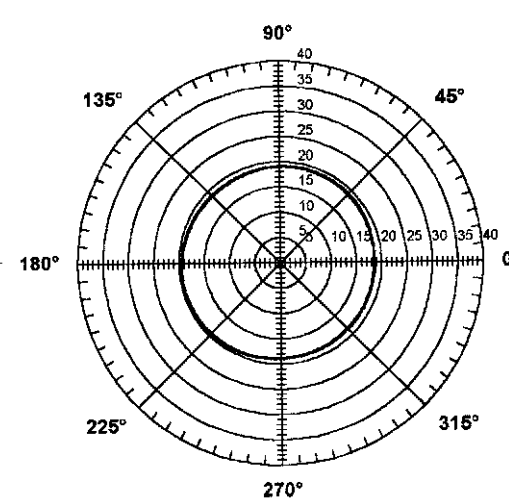
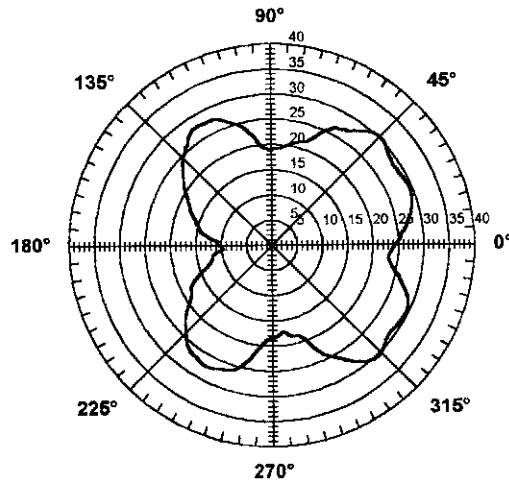
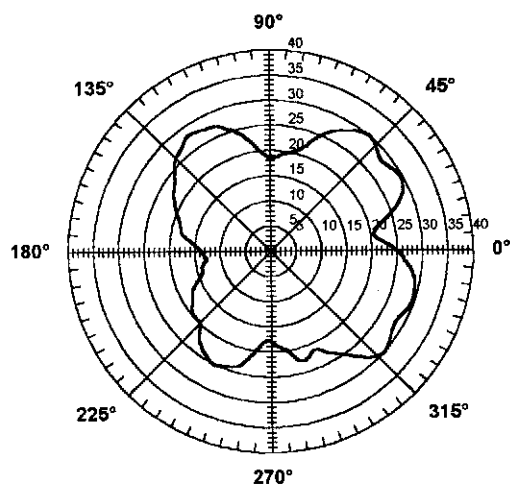
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



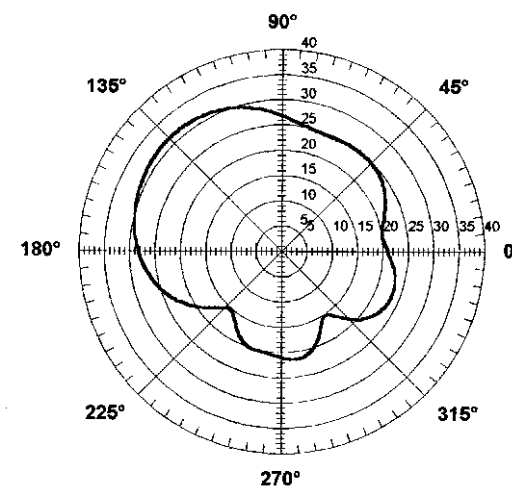
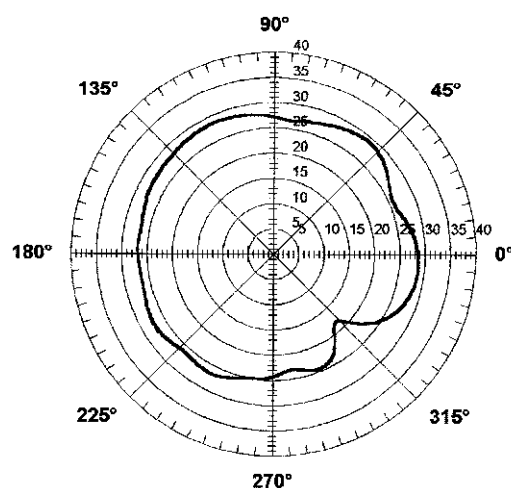
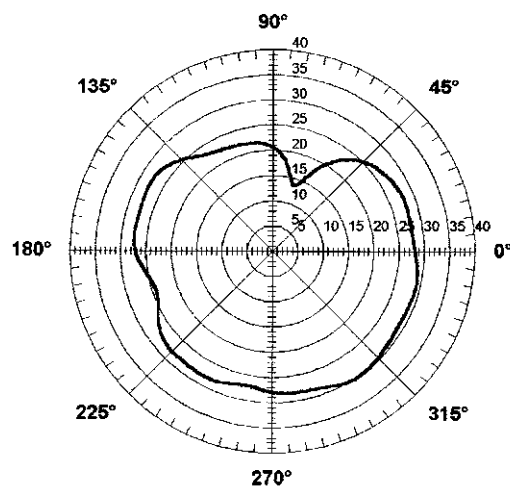
Figur D11: Mätobjekt 6 (Ericsson T20s) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

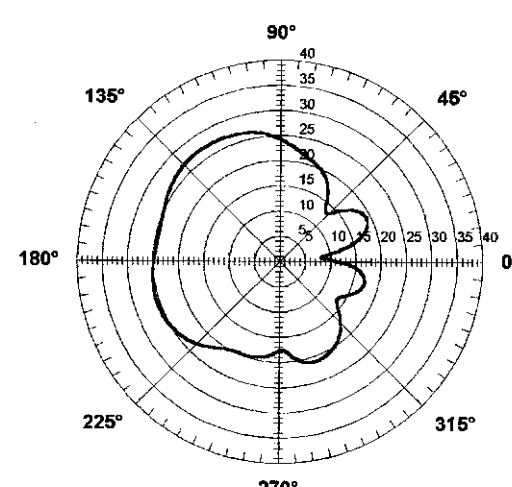
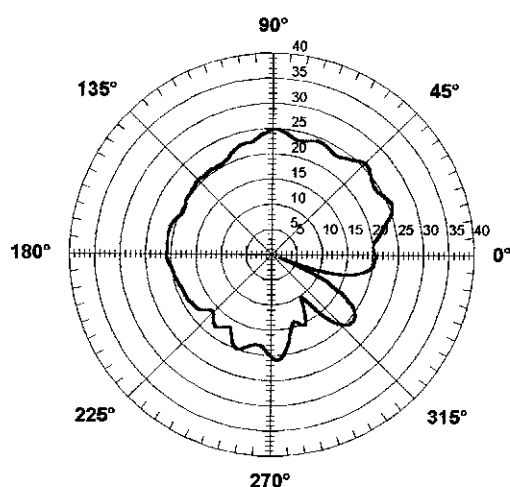
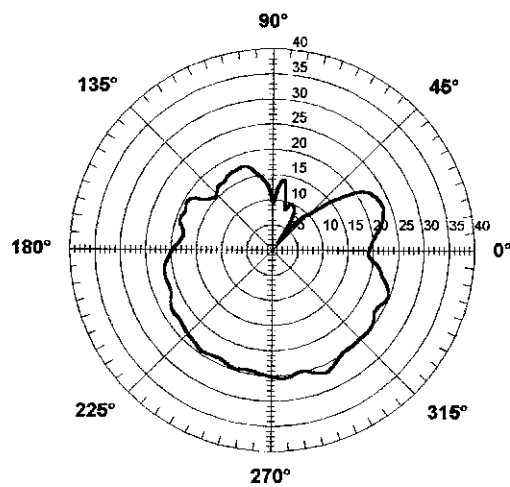
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



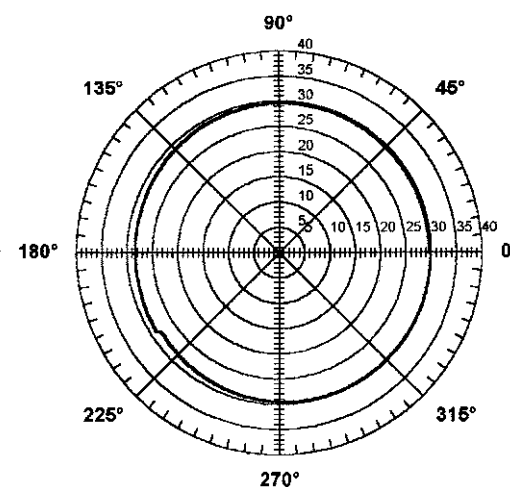
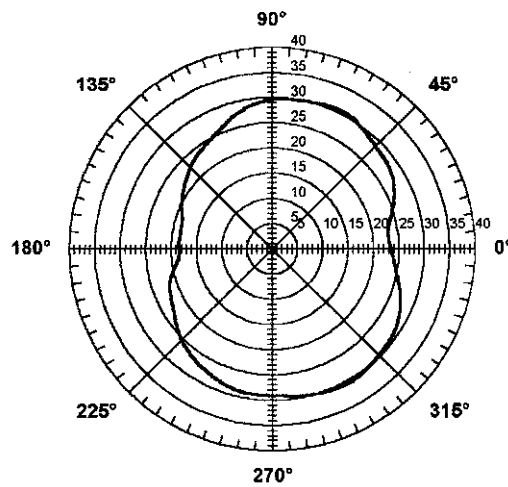
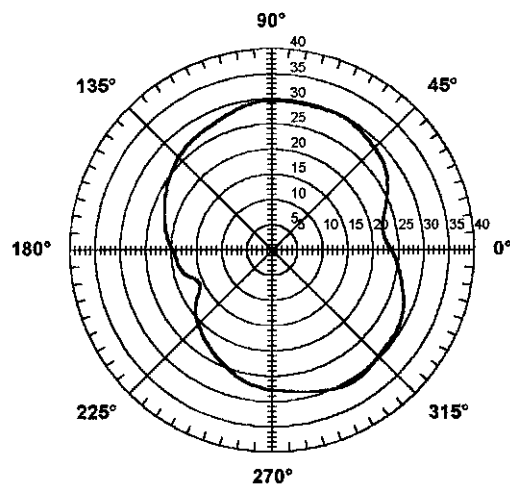
Figur D12: Mätobjekt 6 (Ericsson T20s) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

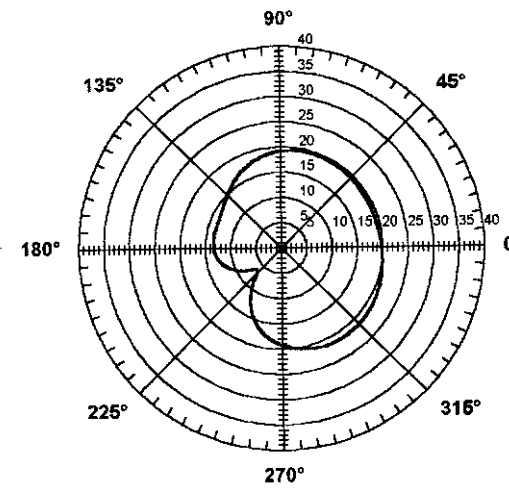
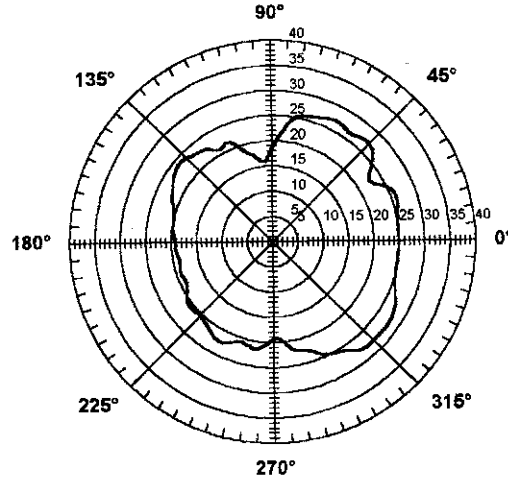
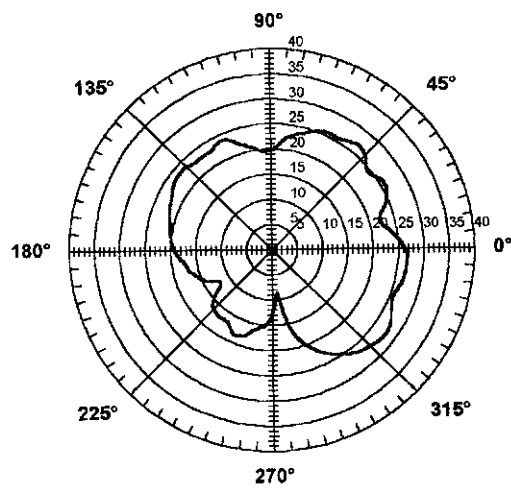
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



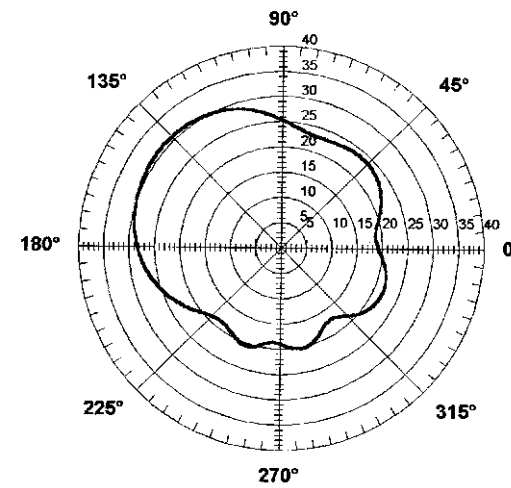
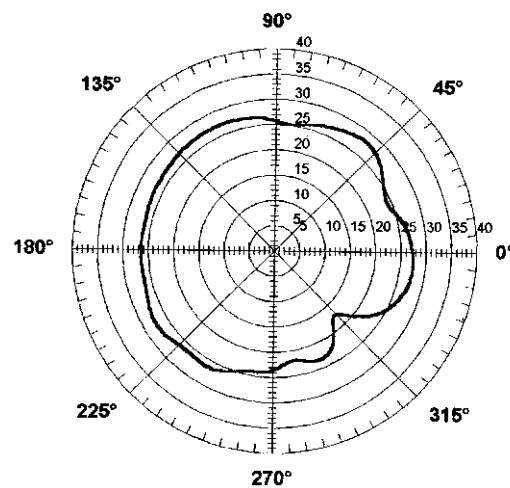
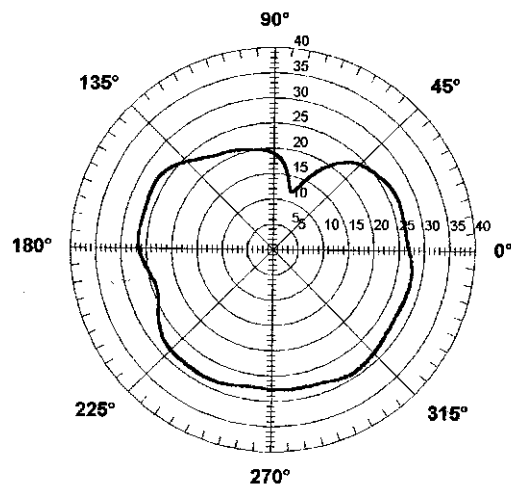
Figur D13: Mätobjekt 7a (Ericsson T28s med standardantenn) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

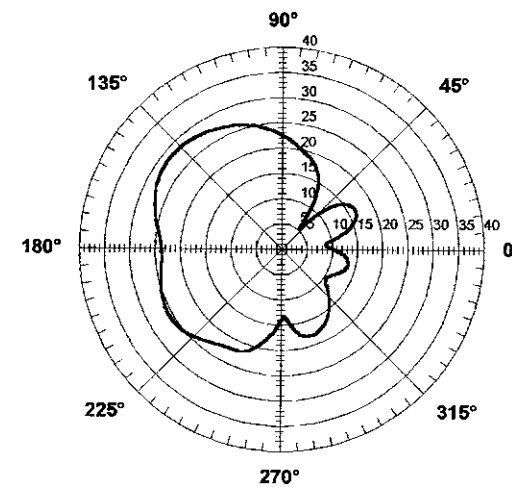
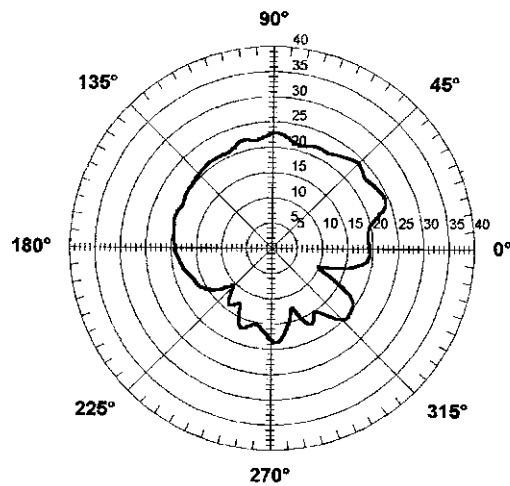
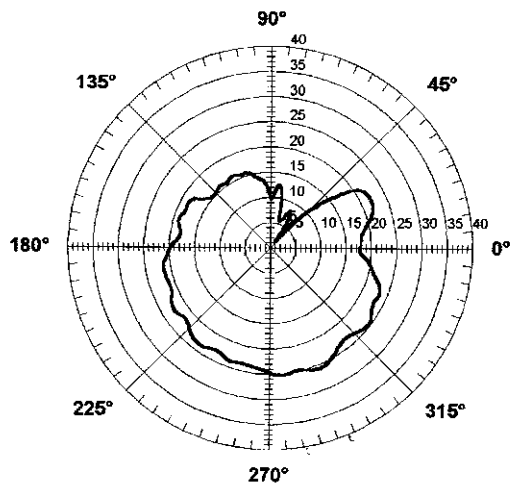
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



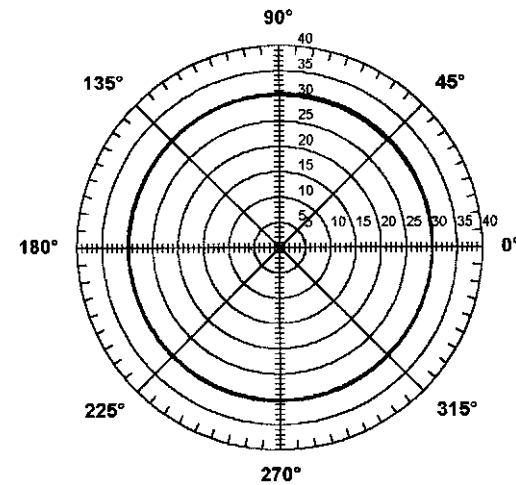
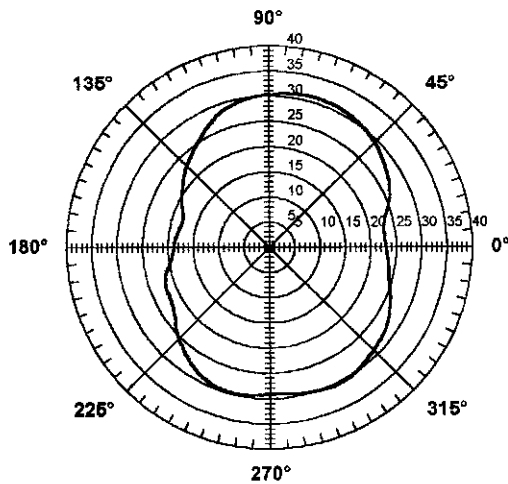
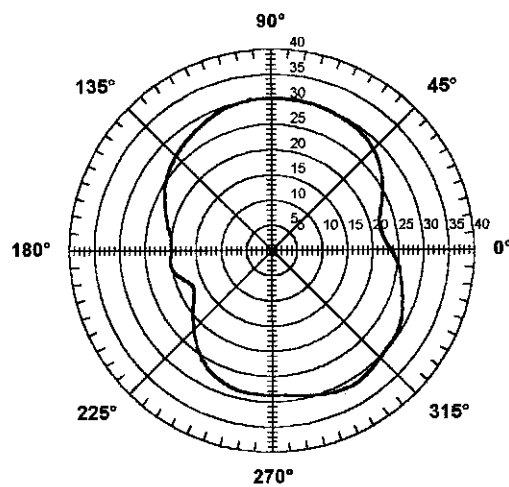
Figur D14: Mätobjekt 7a (Ericsson T28s med standardantenn) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

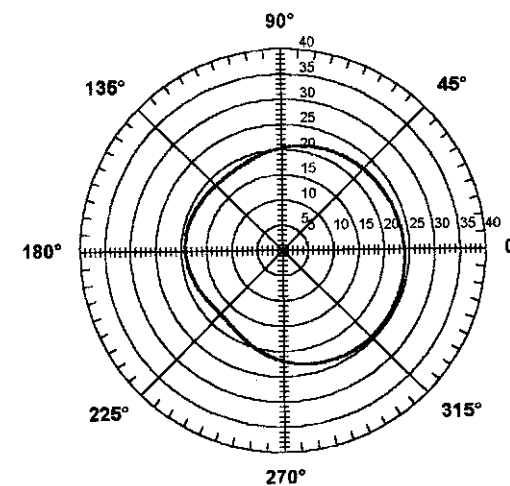
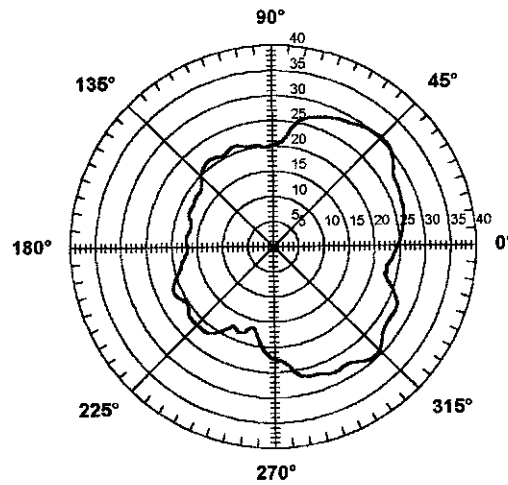
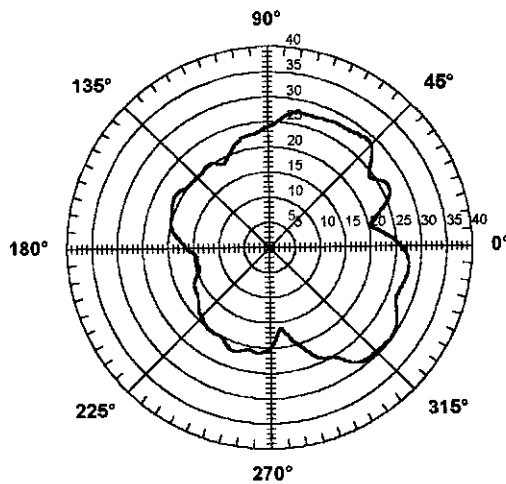
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



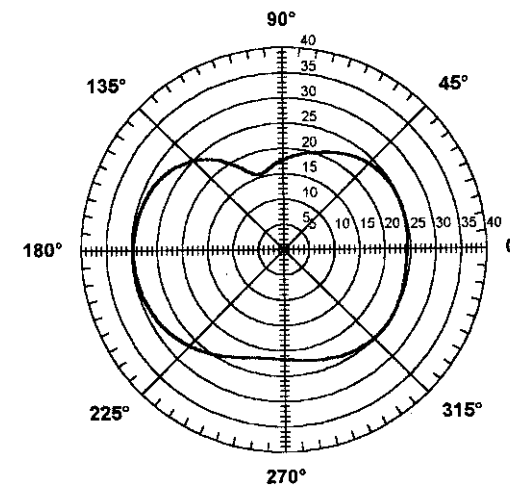
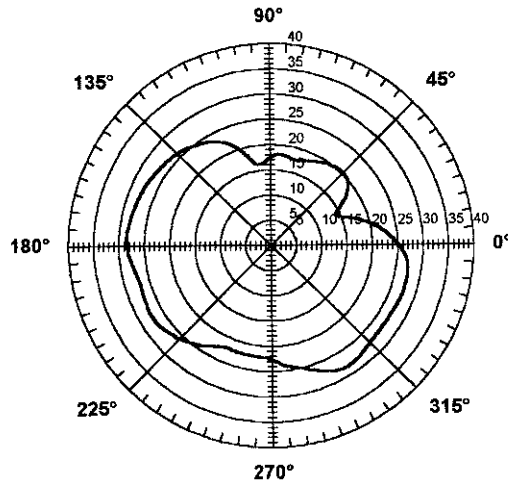
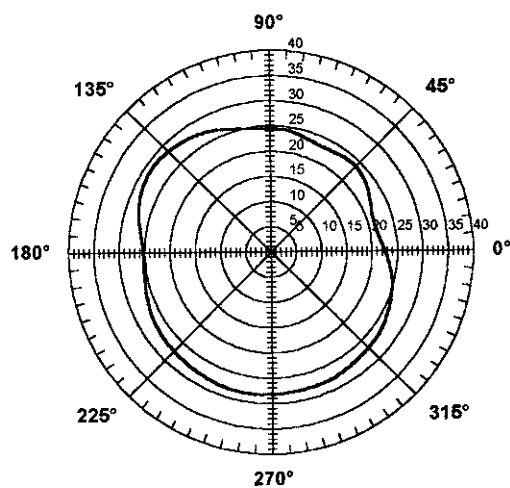
Figur D15: Mätobjekt 7b (Ericsson T28s med utdragen antenn) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

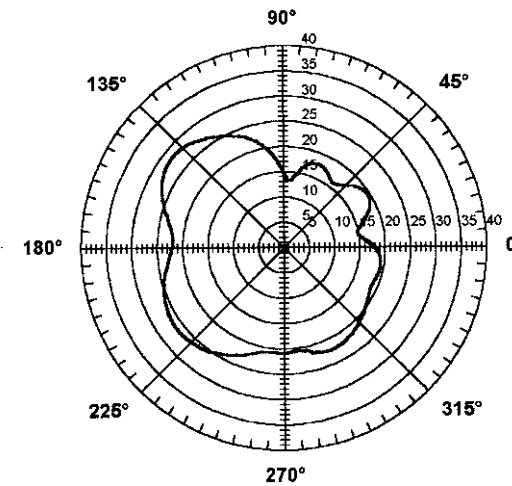
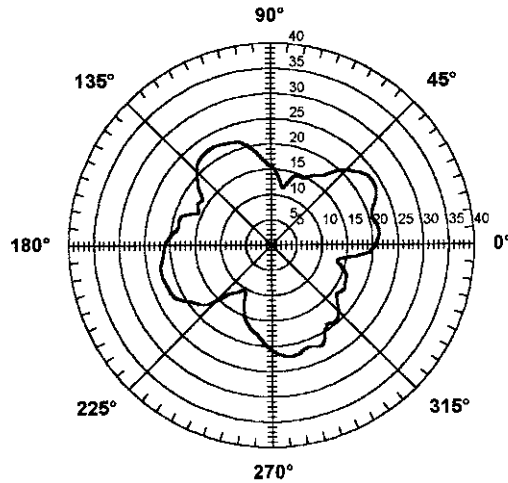
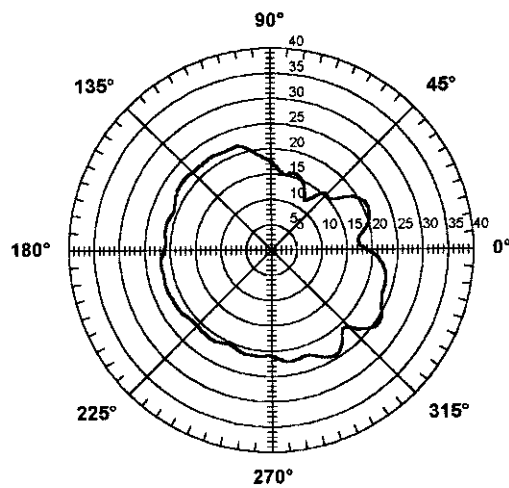
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



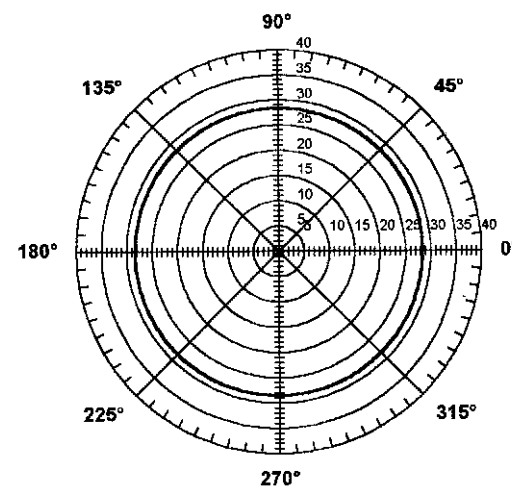
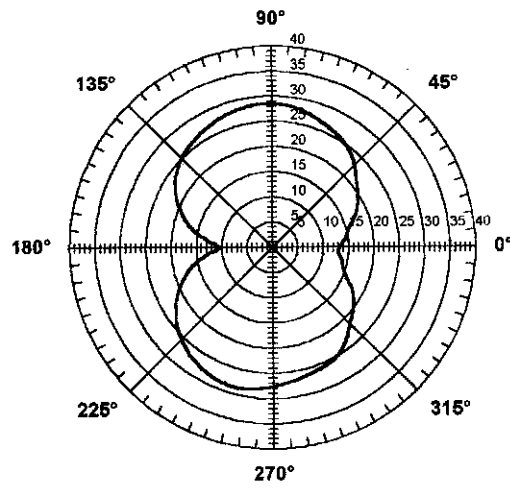
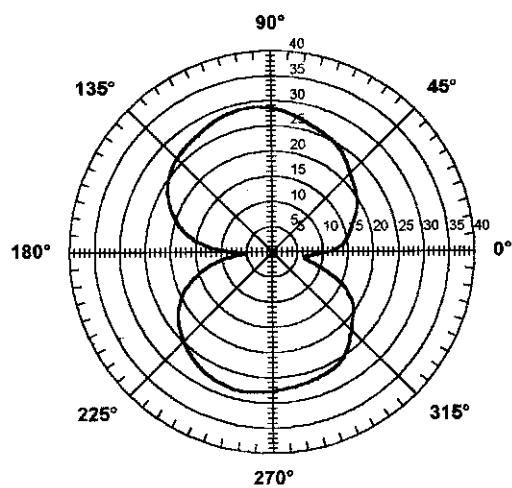
Figur D16: Mätobjekt 7b (Ericsson T28s med utdragen antenn) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

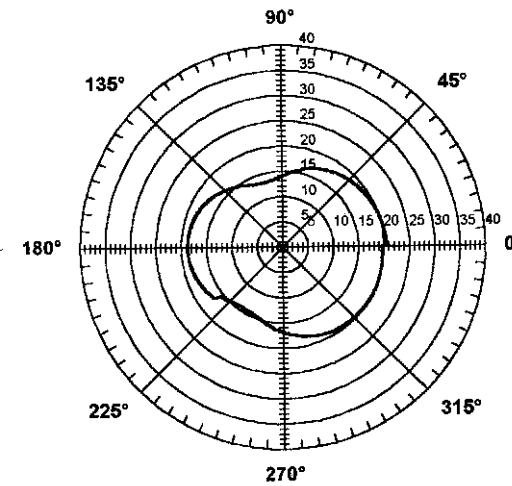
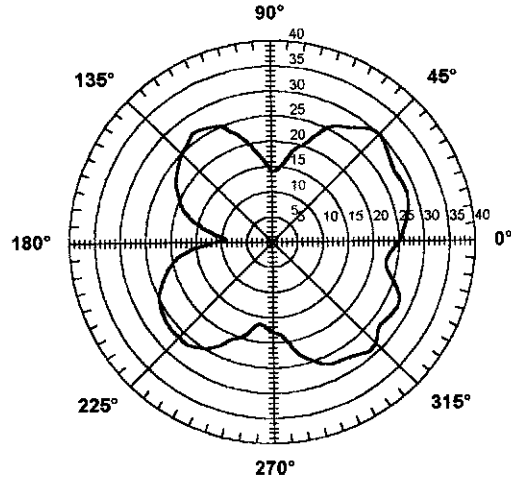
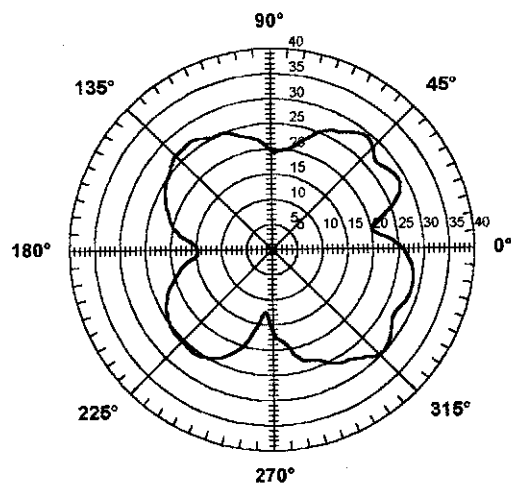
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



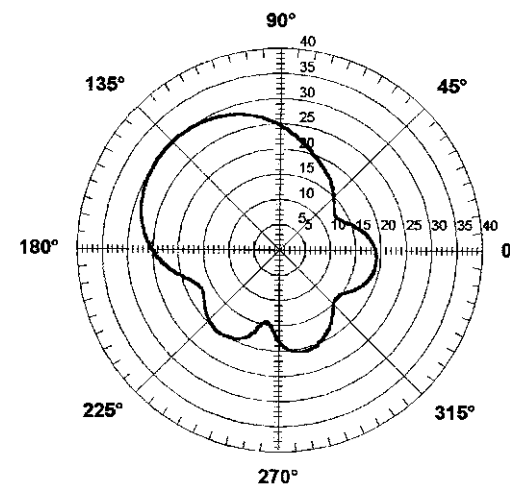
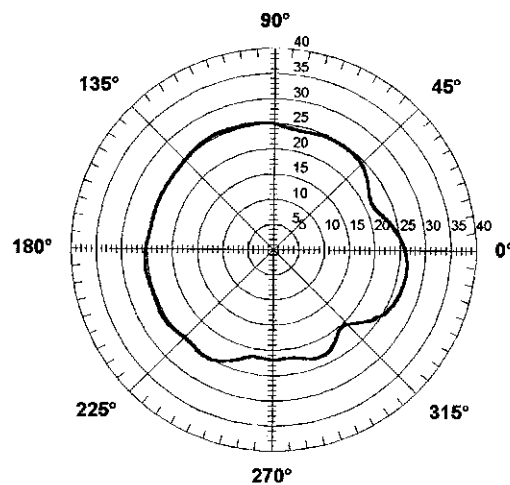
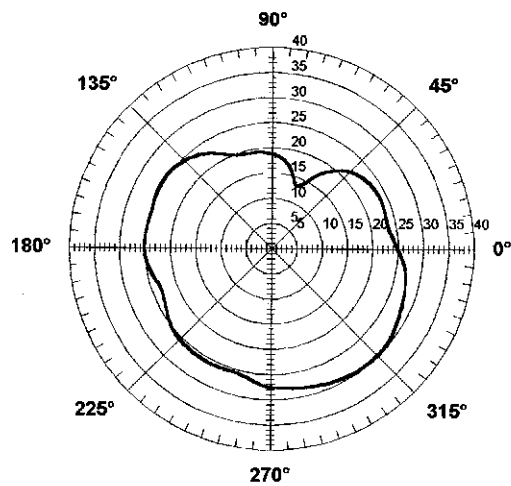
Figur D17: Mätobjekt 8 (Motorola T2288) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

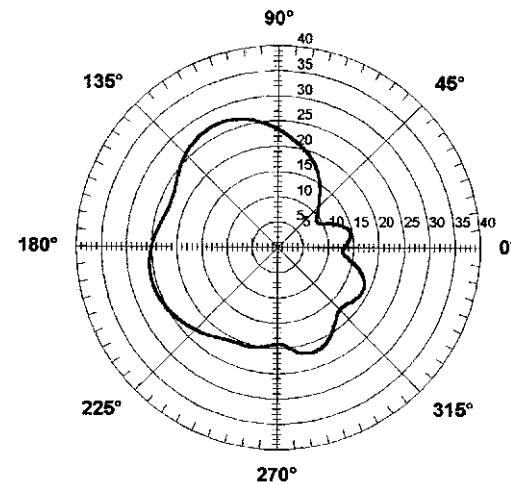
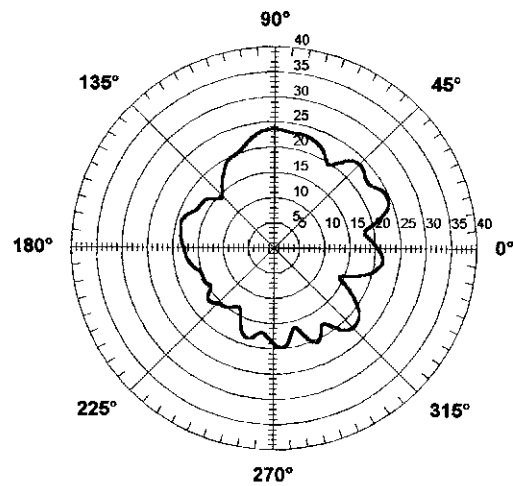
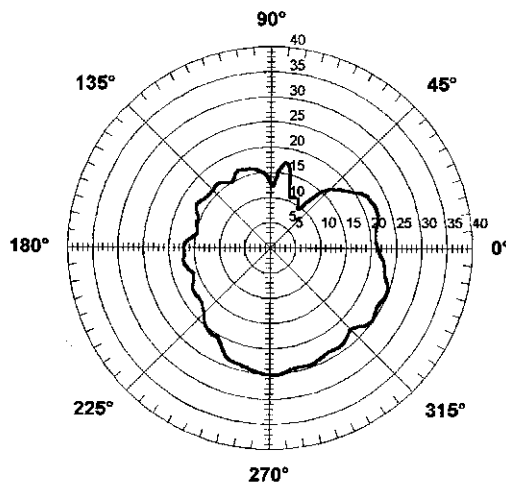
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



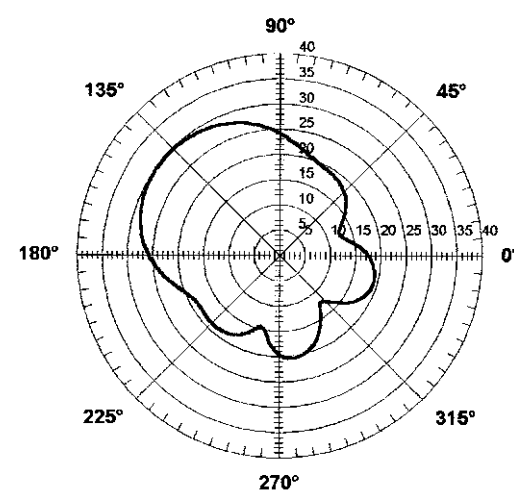
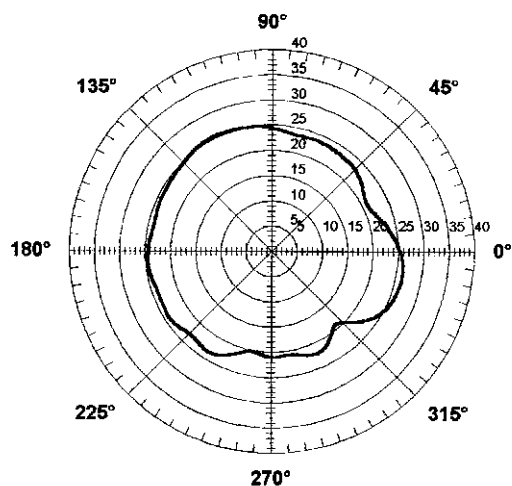
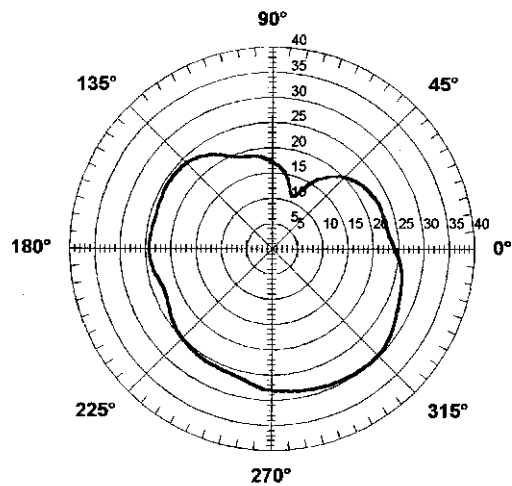
Figur D18: Mätobjekt 9 (Motorola Timeport L7089) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

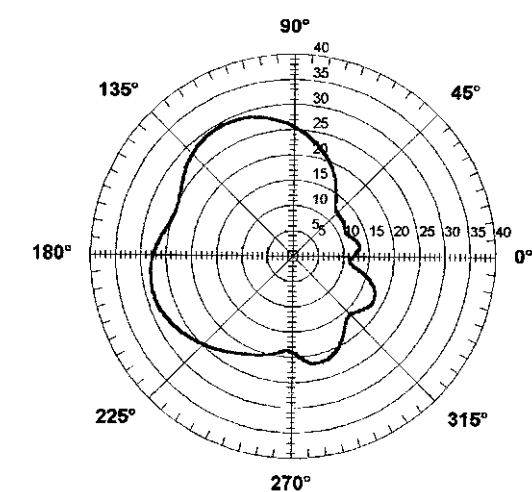
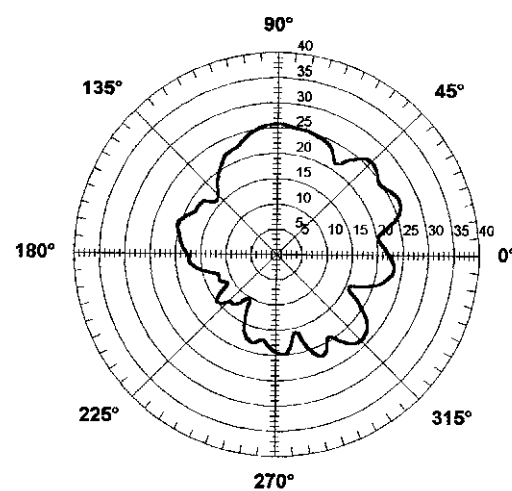
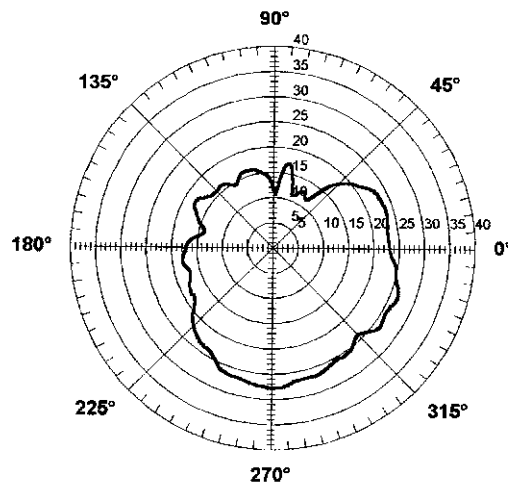
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



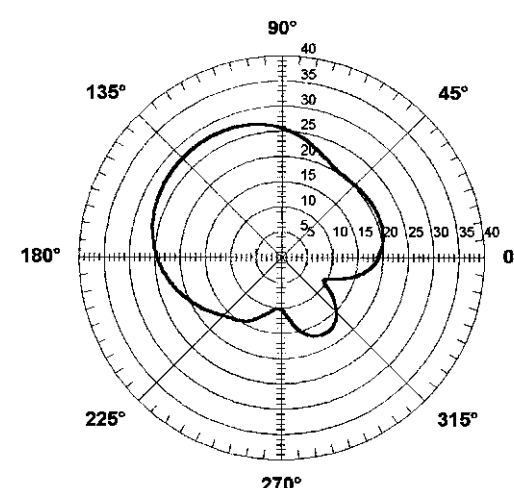
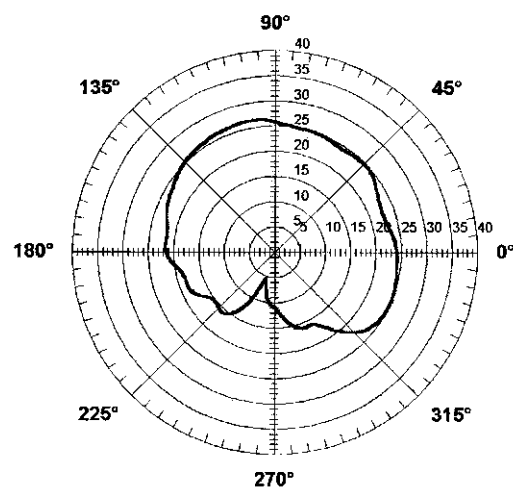
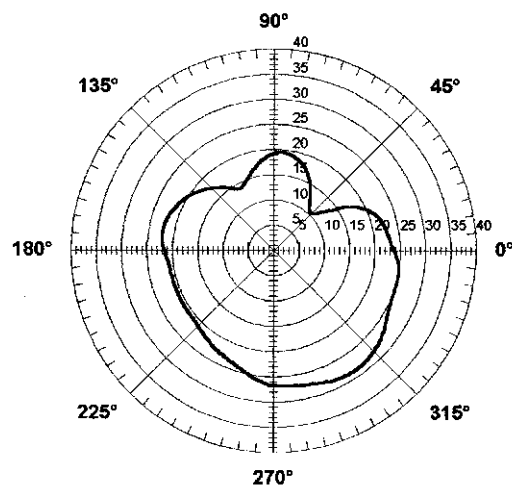
Figur D19: Mätobjekt 10 (Motorola V3688) fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

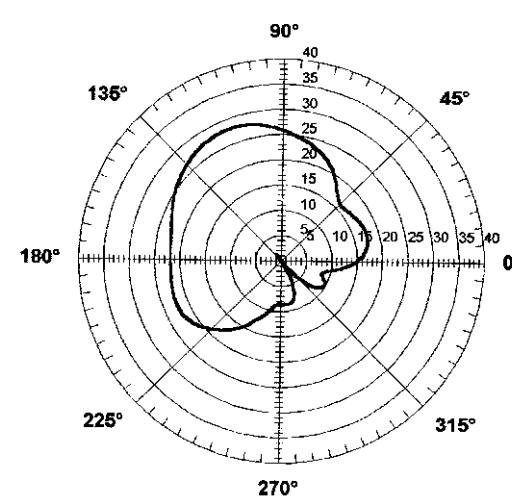
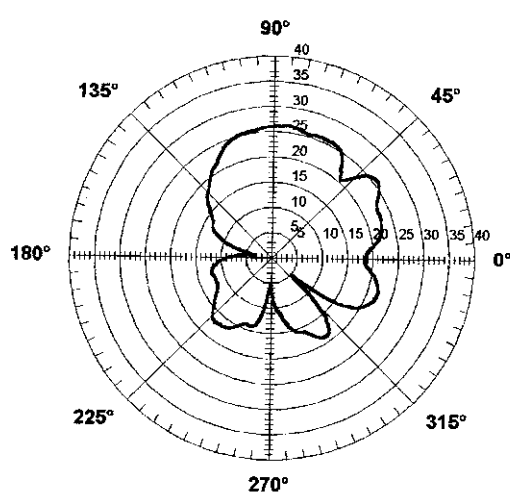
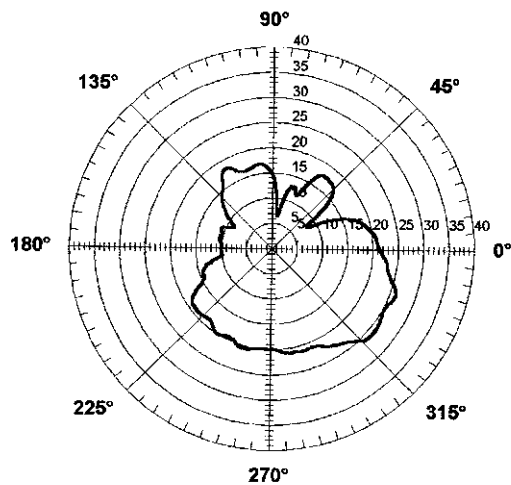
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



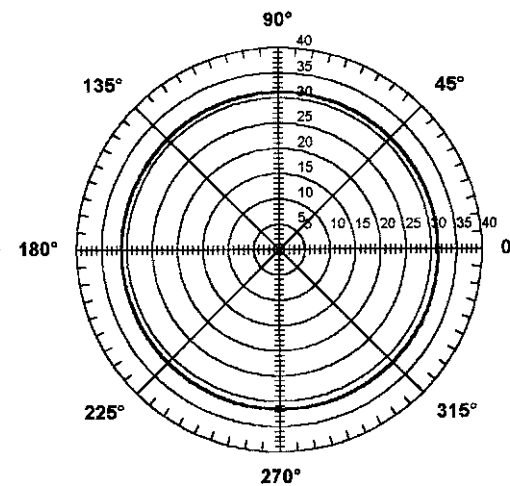
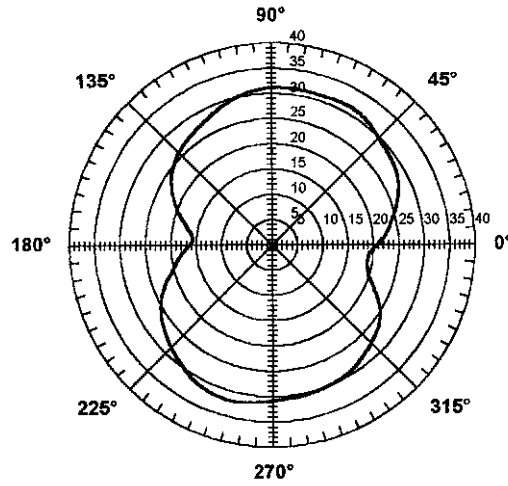
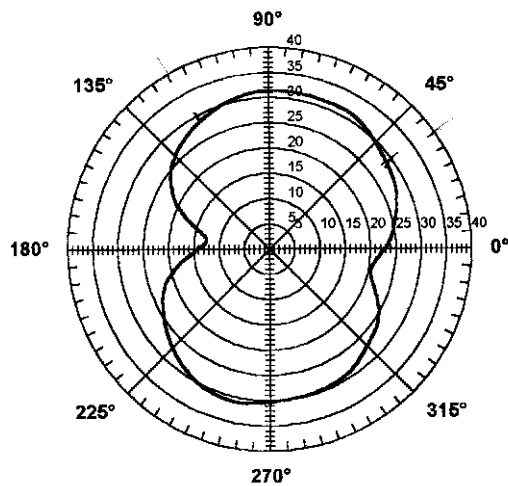
Figur D20: Mätobjekt 10 (Motorola V3688) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

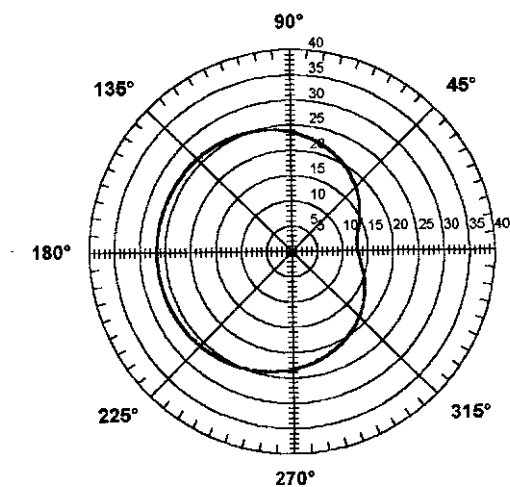
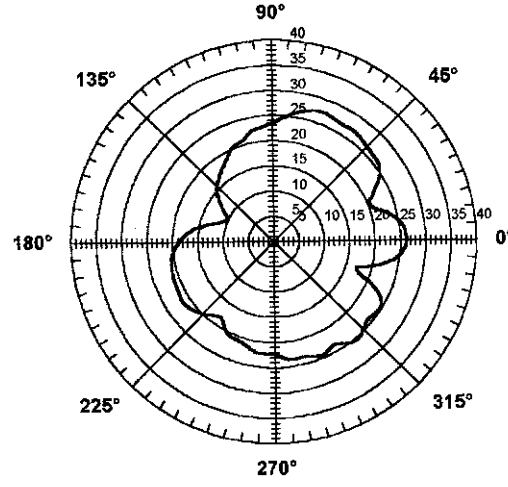
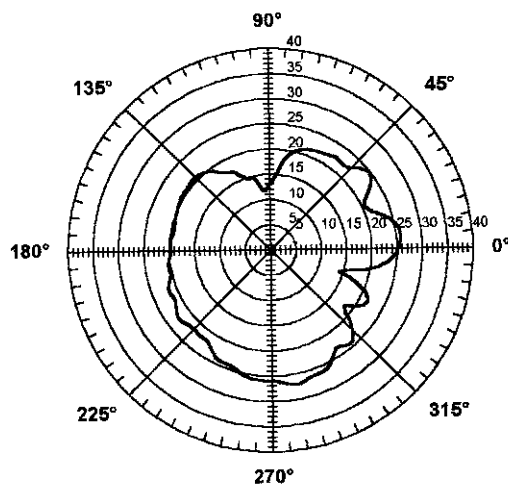
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



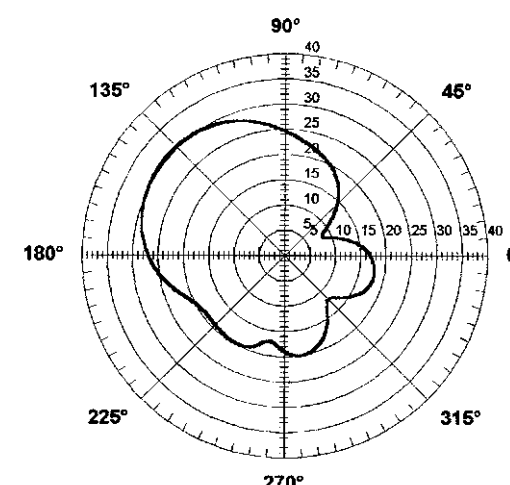
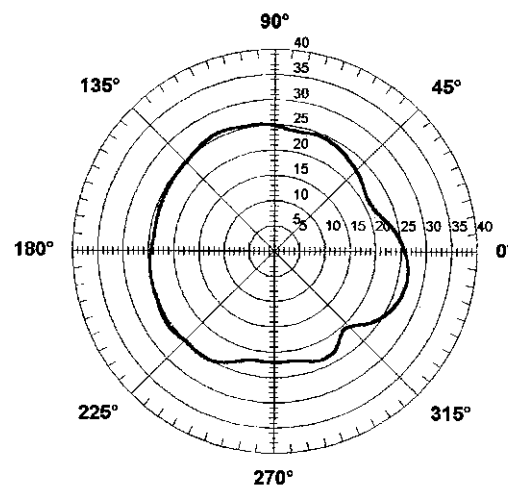
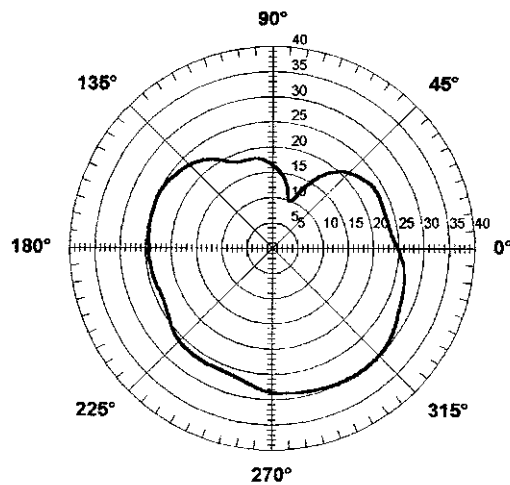
Figur D21: Mätobjekt 11 (NEC DB4100) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

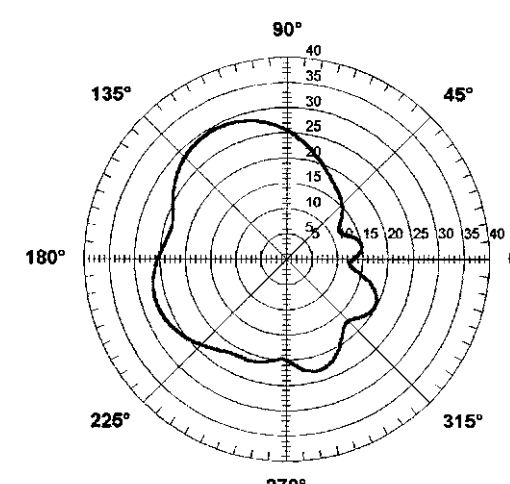
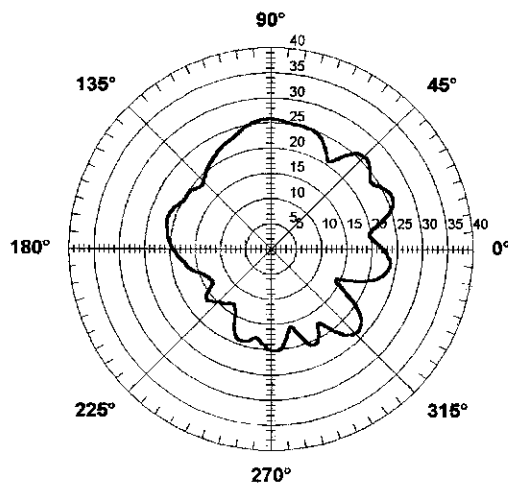
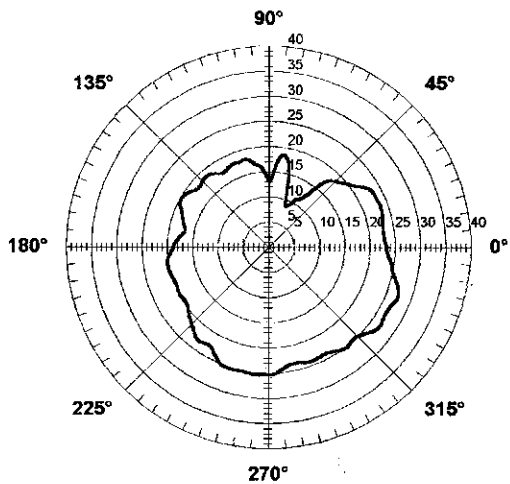
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



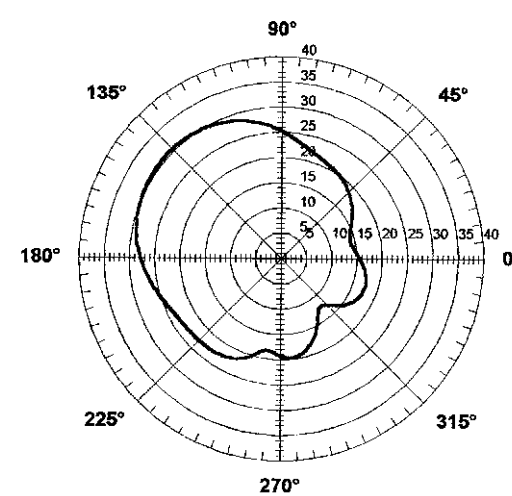
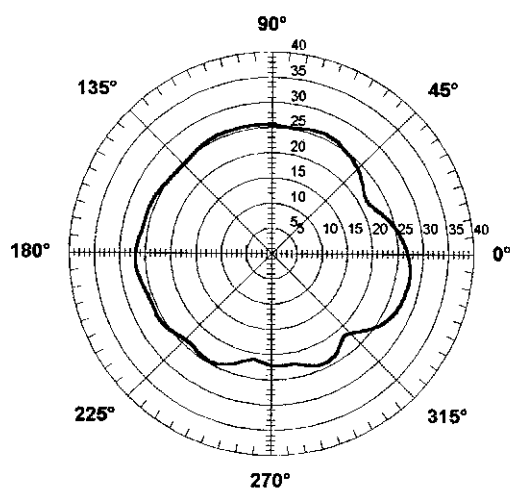
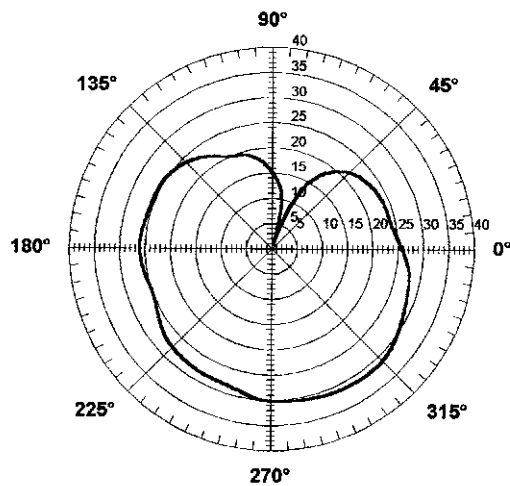
Figur D22: Mätobjekt 12 (Nokia 3210) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

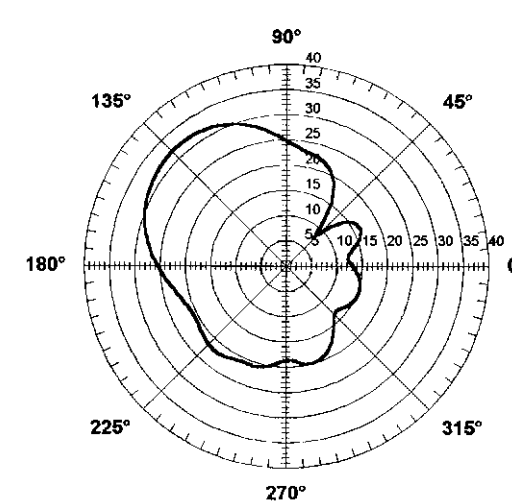
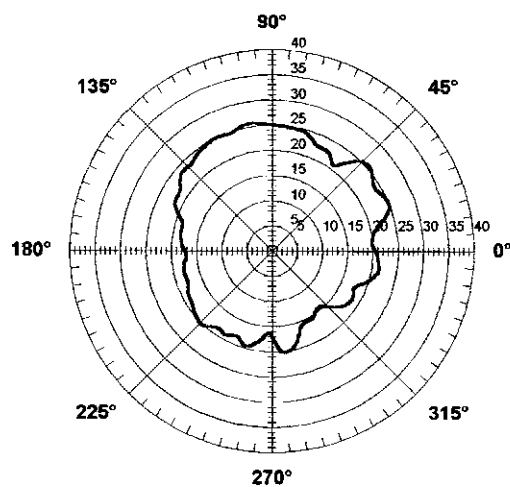
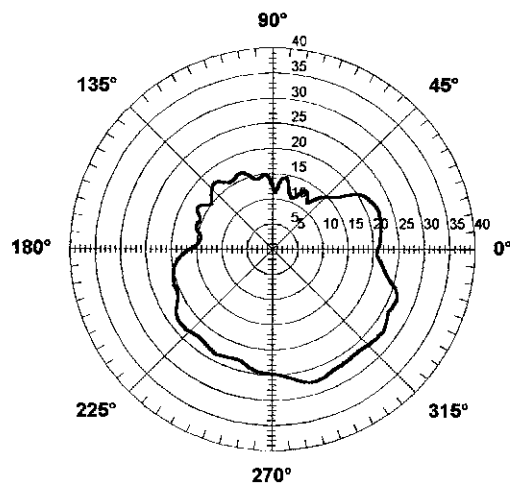
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



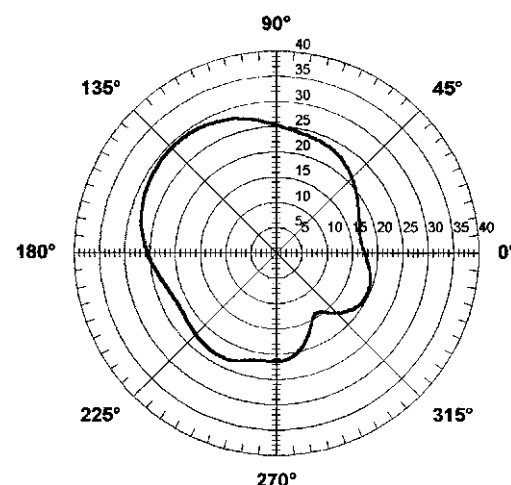
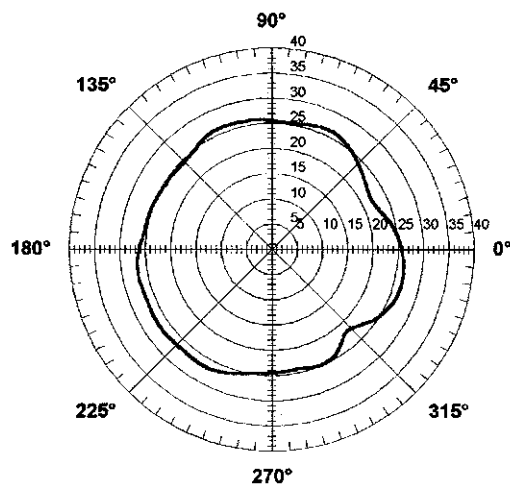
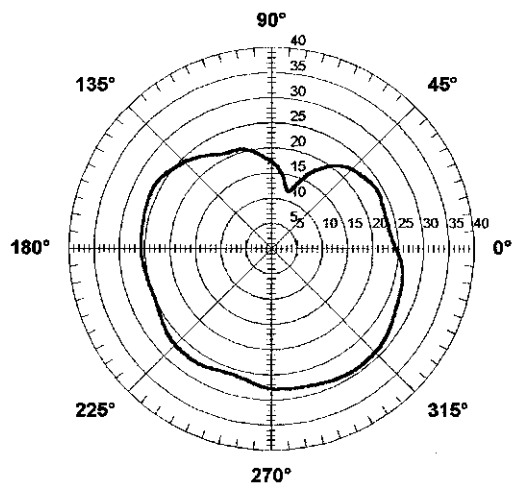
Figur D23: Mätobjekt 13 (Nokia 3310) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

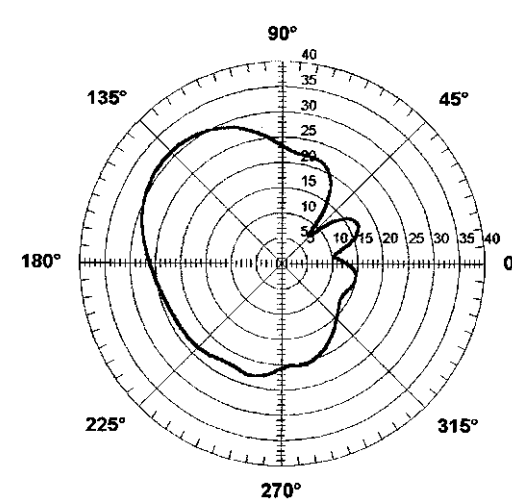
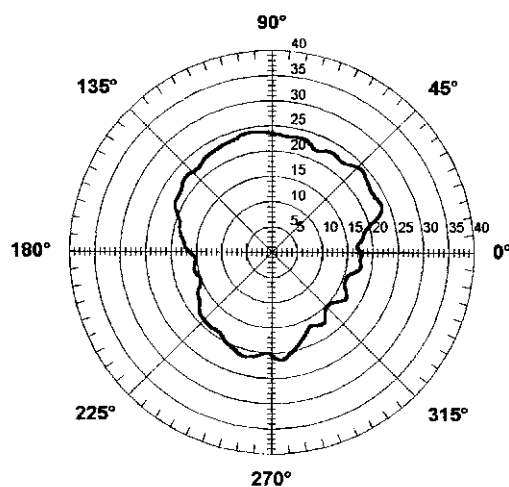
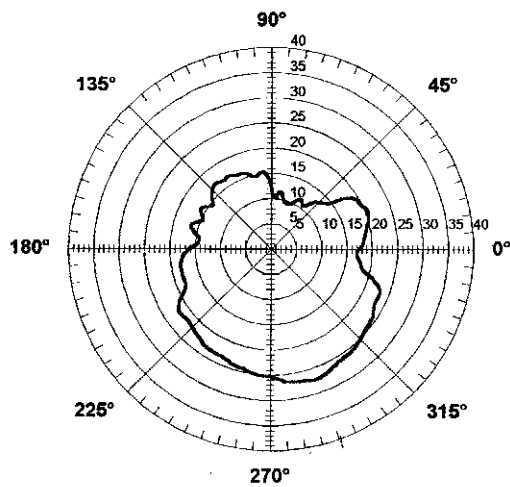
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



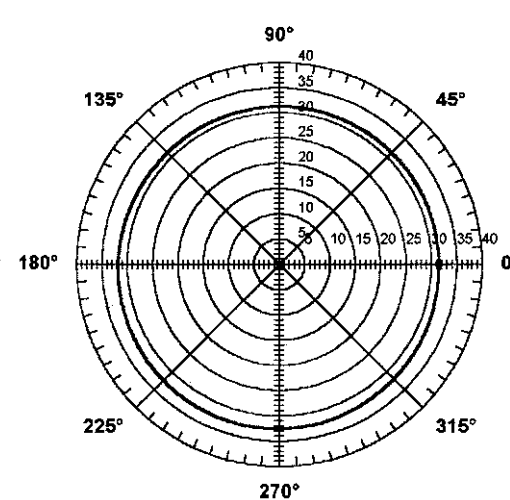
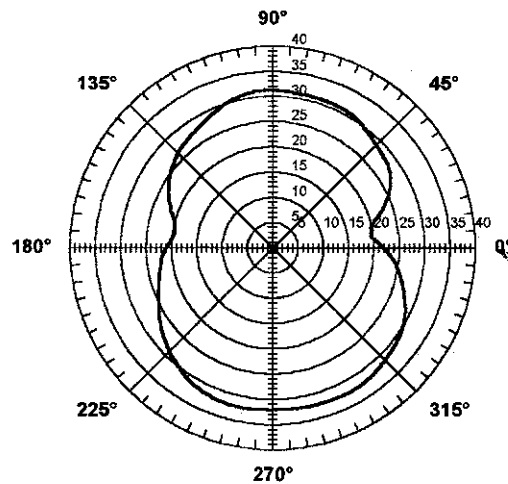
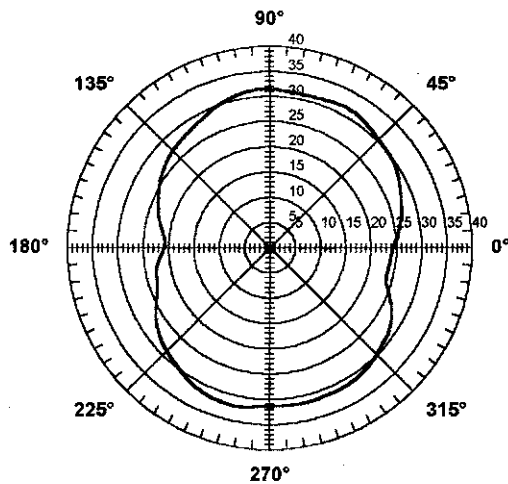
Figur D24: Mätobjekt 13 (Nokia 3310) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

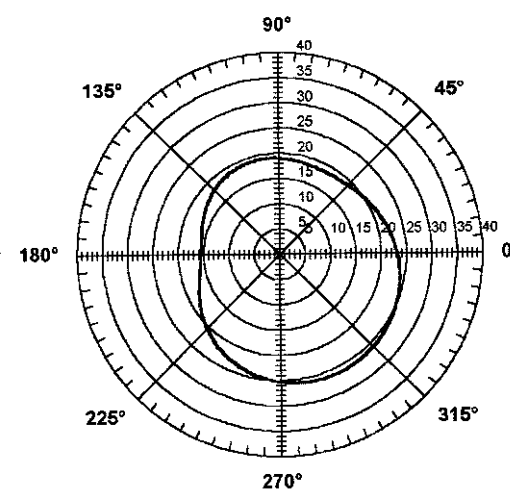
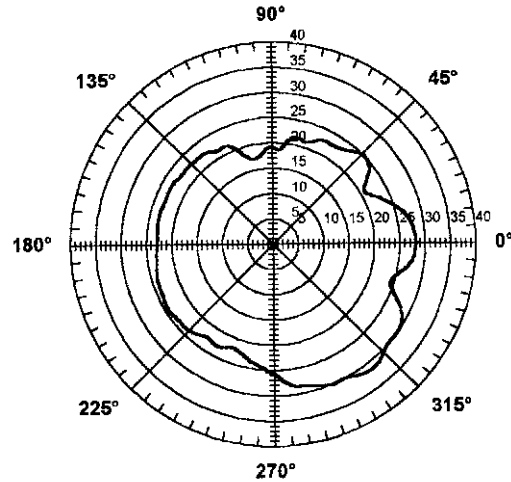
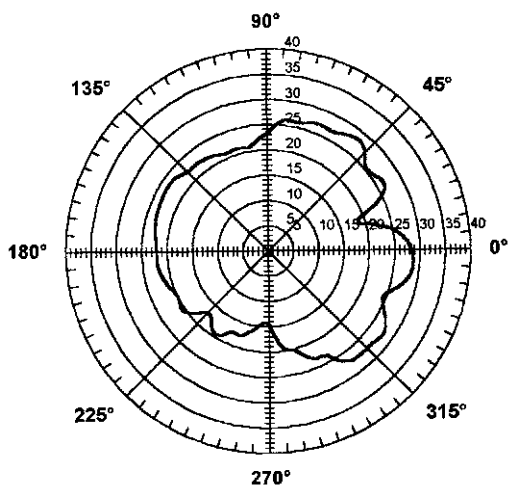
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



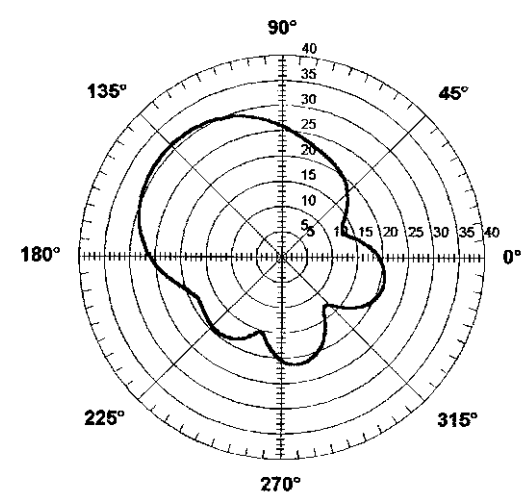
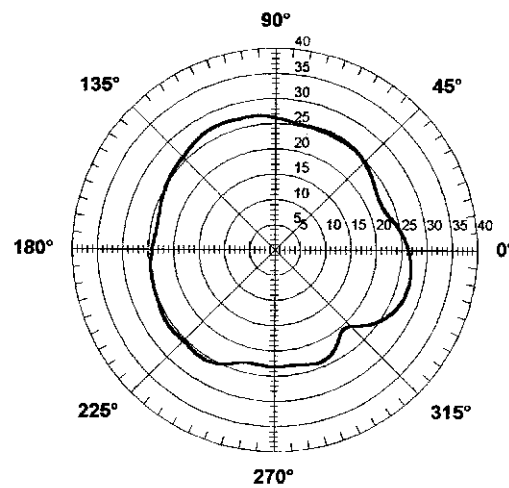
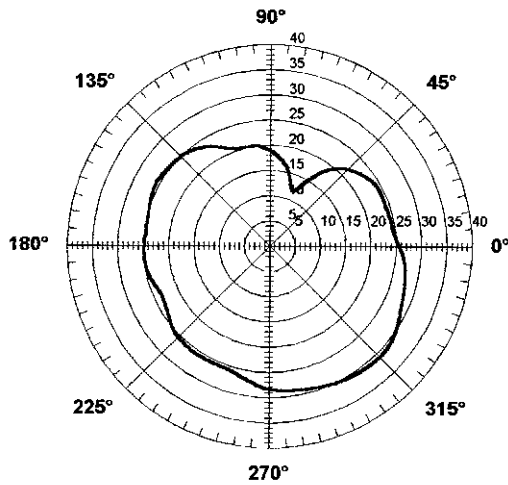
Figur D25: Mätobjekt 14 (Nokia 5110) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



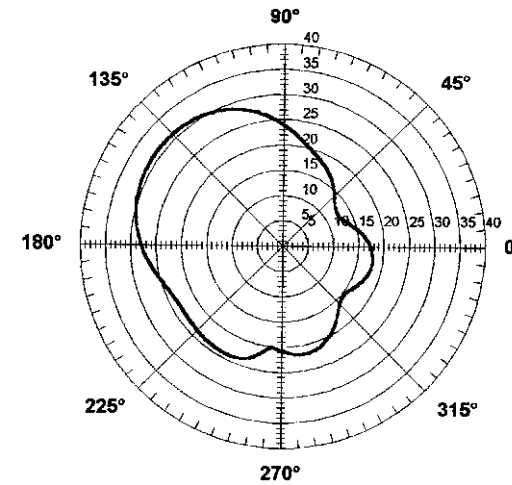
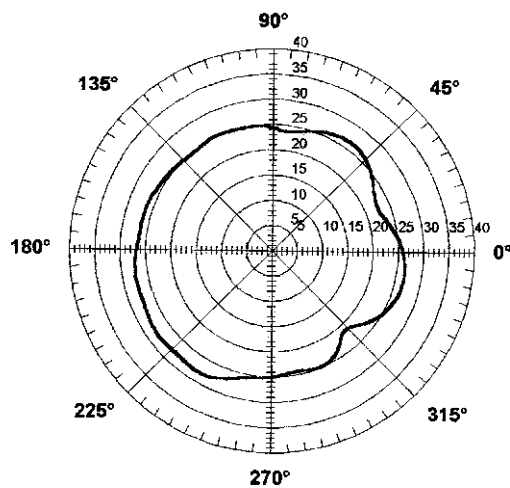
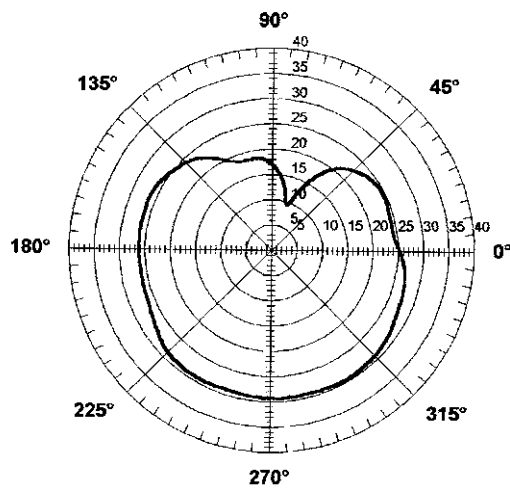
Figur D26: Mätobjekt 15 (Nokia 6210) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

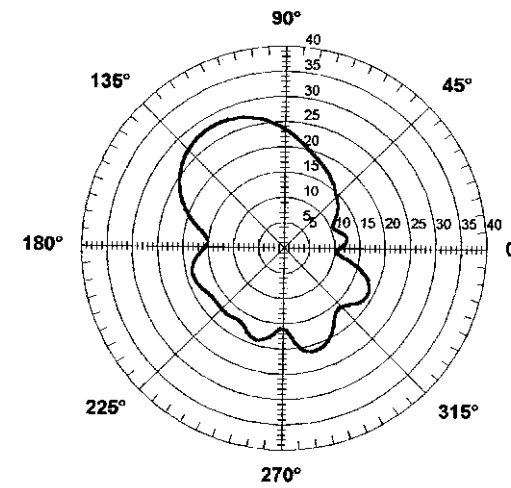
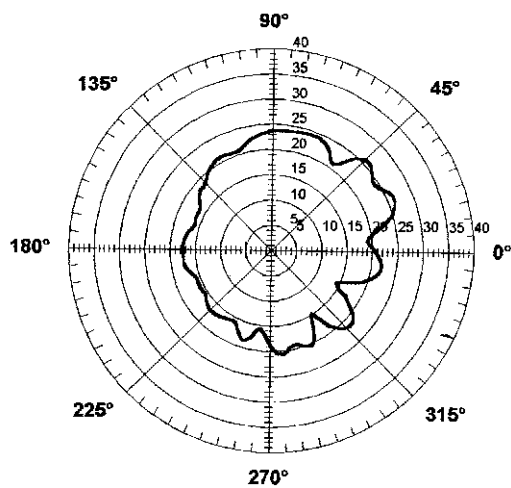
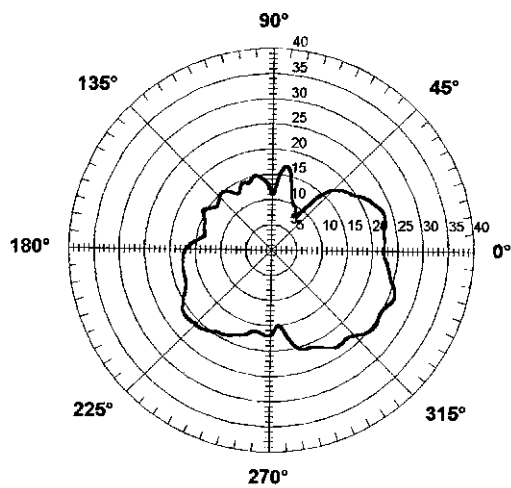
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



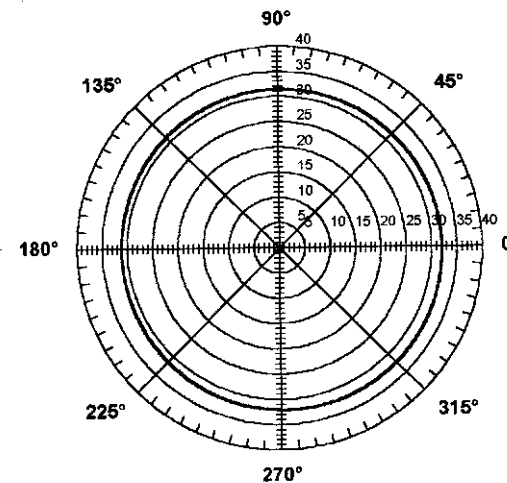
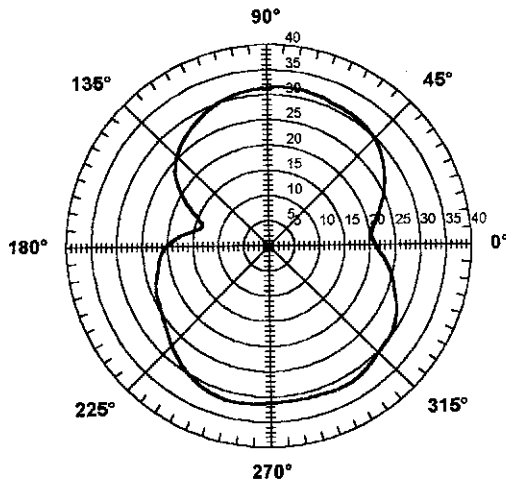
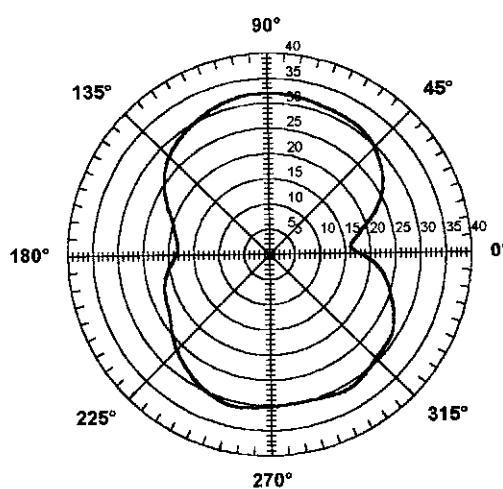
Figur D27: Mätobjekt 15 (Nokia 6210) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

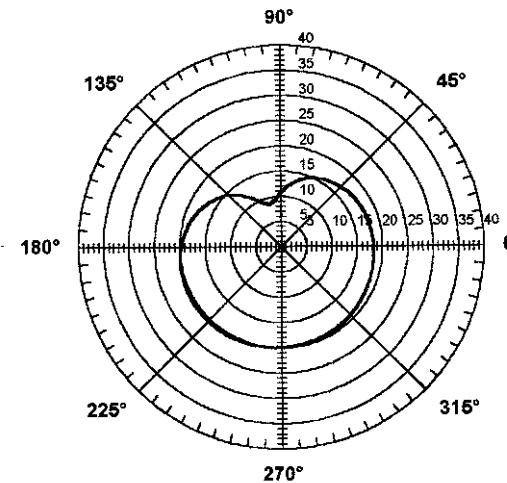
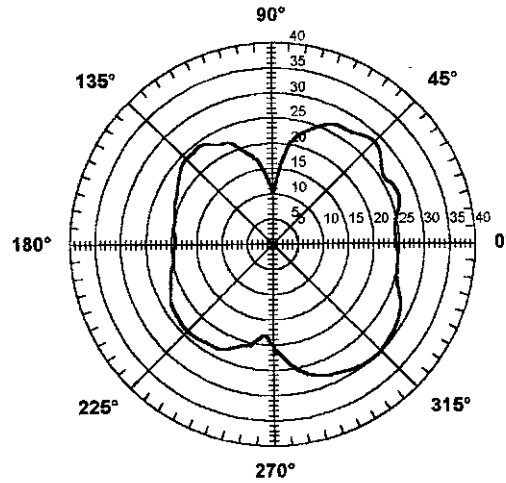
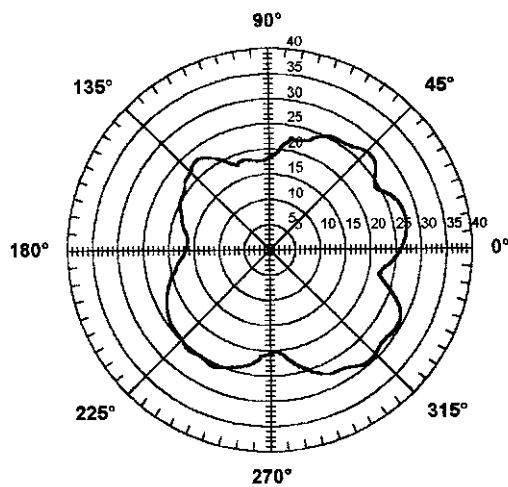
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



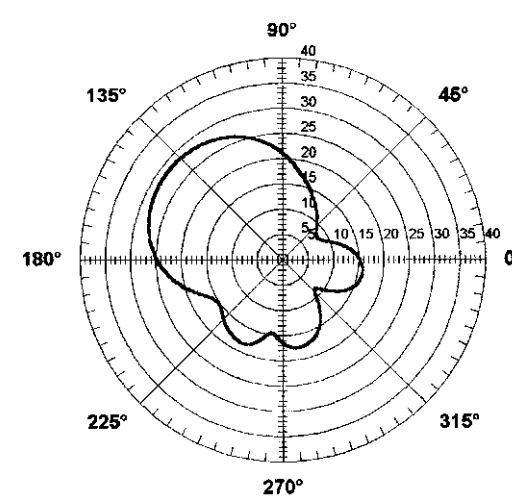
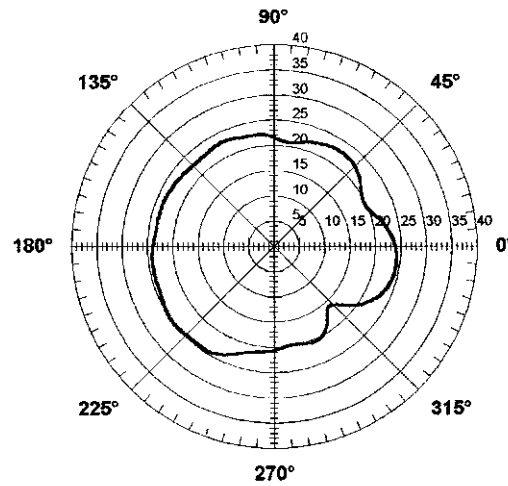
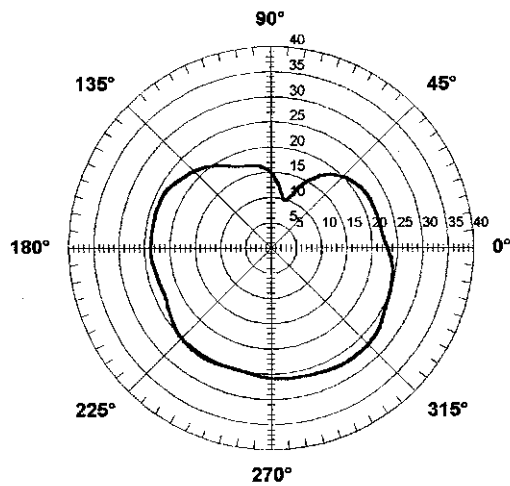
Figur D28: Mätobjekt 16 (Panasonic EB-GD92) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

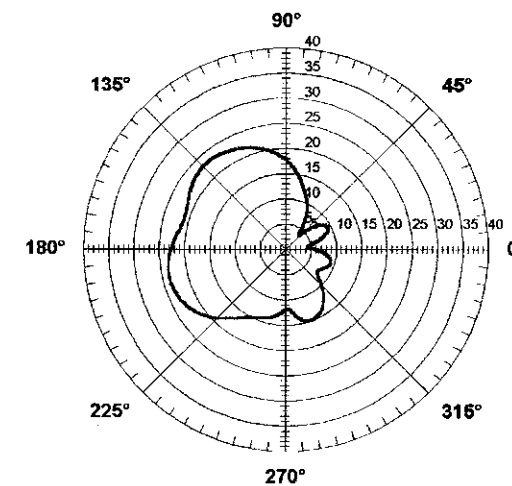
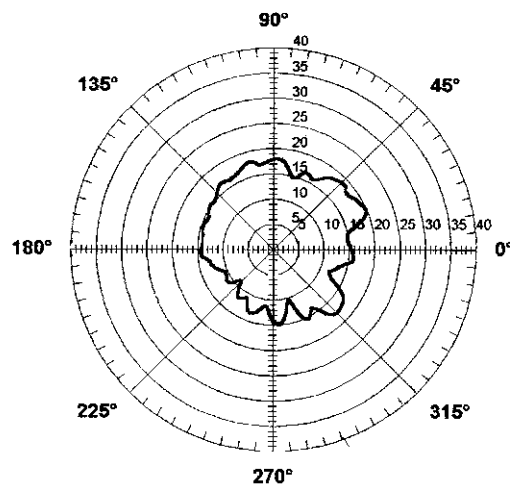
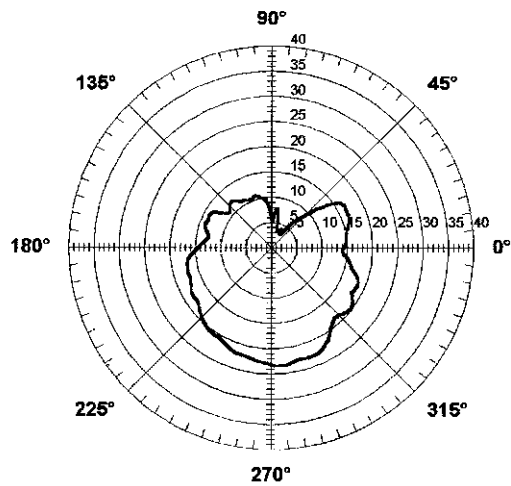
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



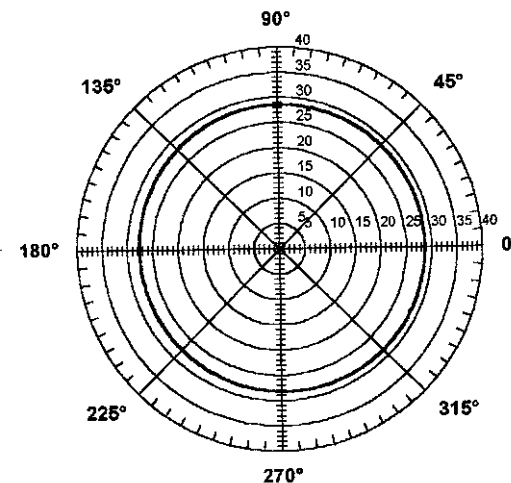
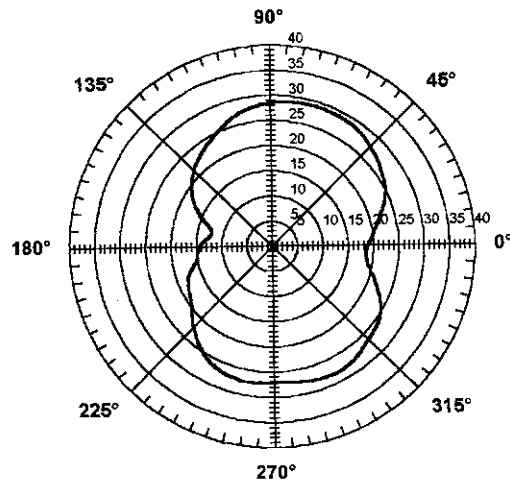
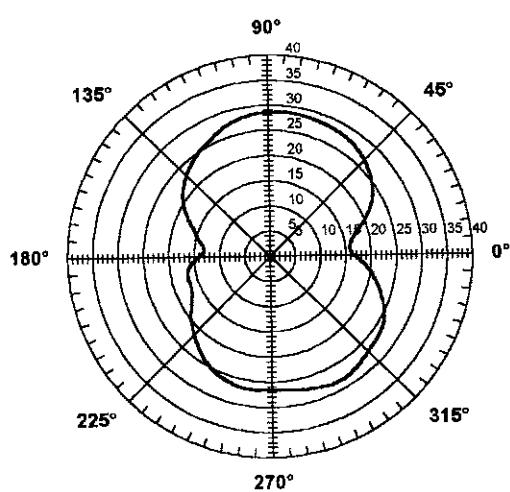
Figur D29: Mätobjekt 16 (Panasonic EB-GD92) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

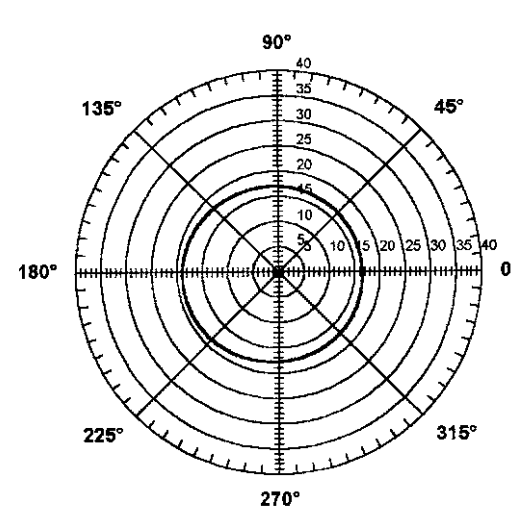
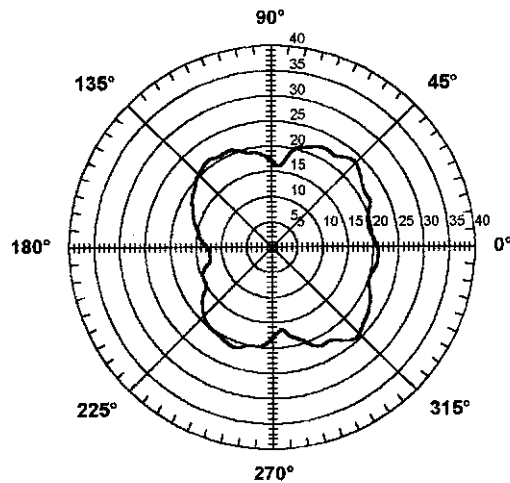
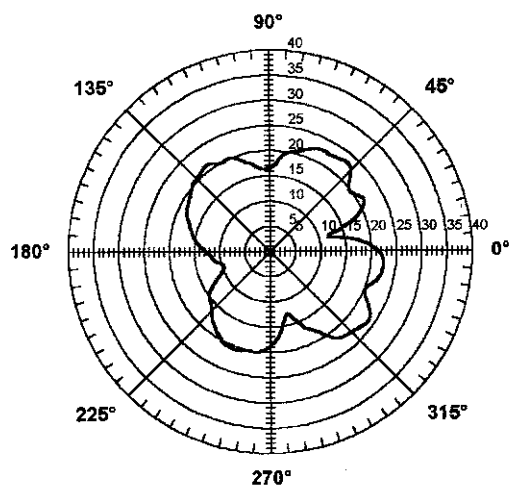
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



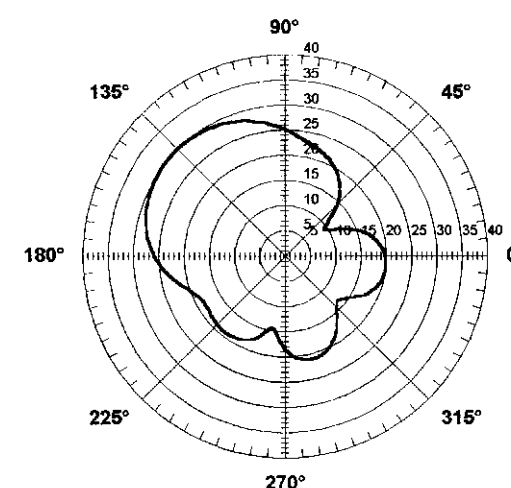
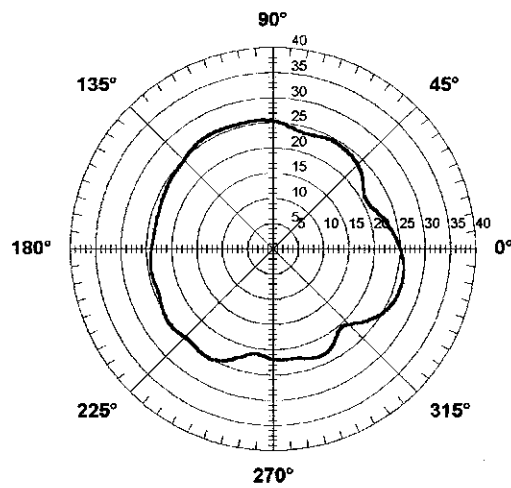
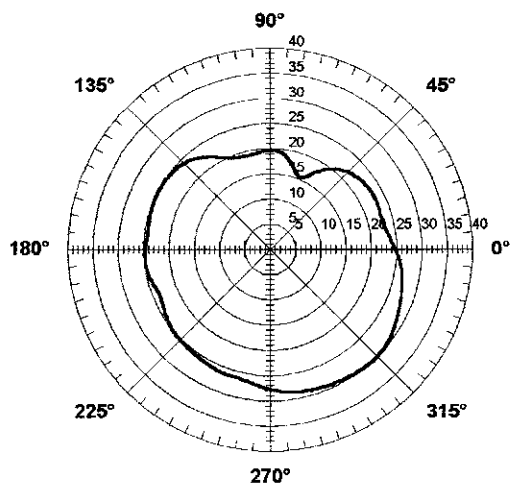
Figur D30: Mätobjekt 17 (Philips Savvy) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

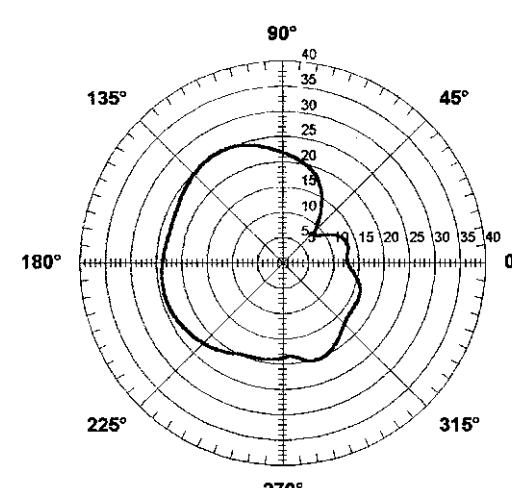
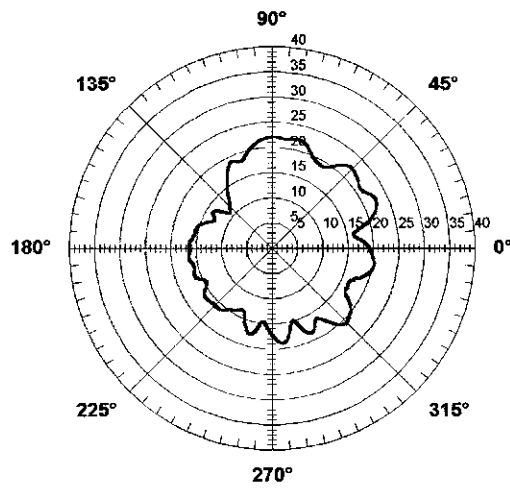
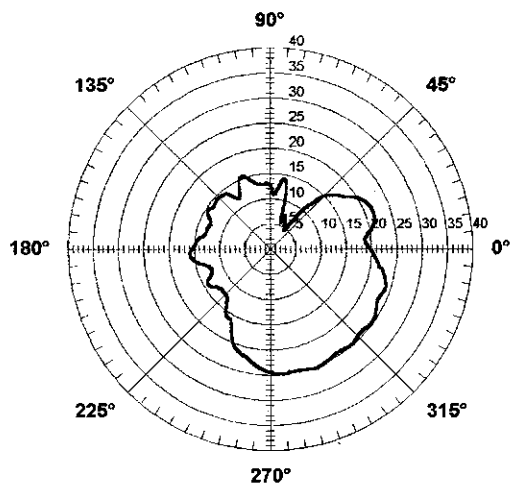
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



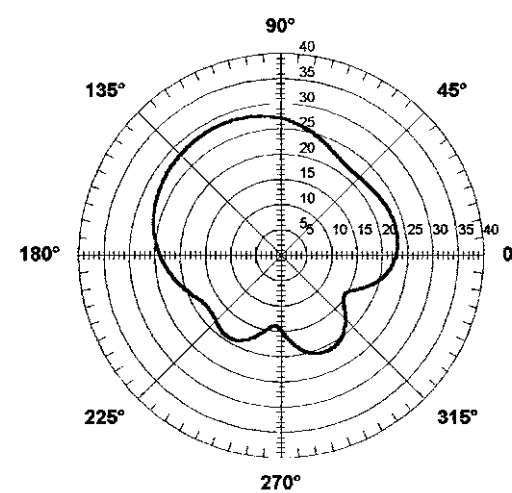
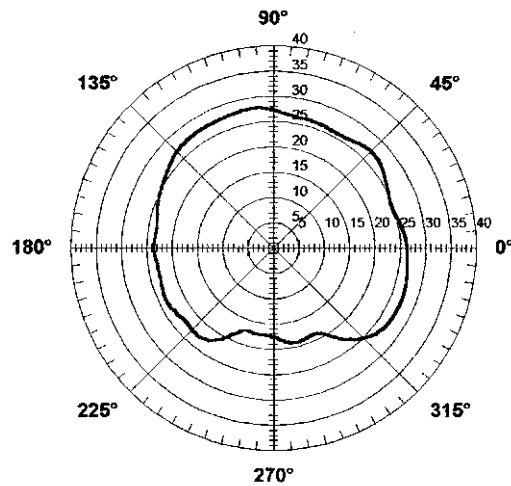
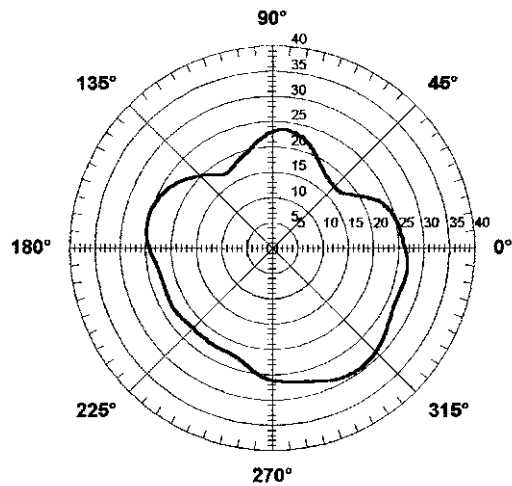
Figur D31: Mätobjekt 18 (Samsung SGH-A100) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

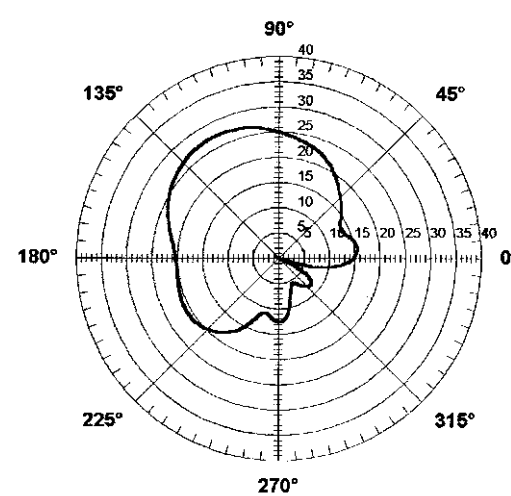
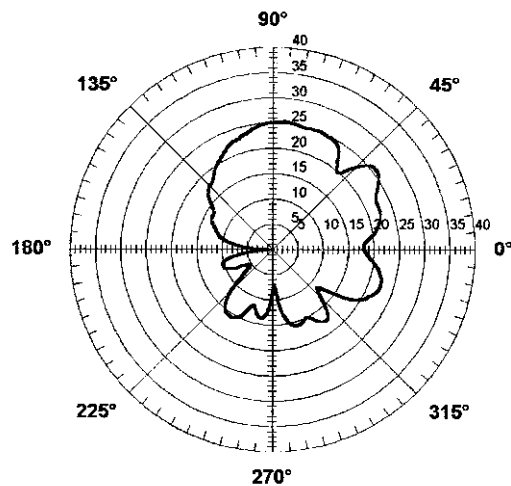
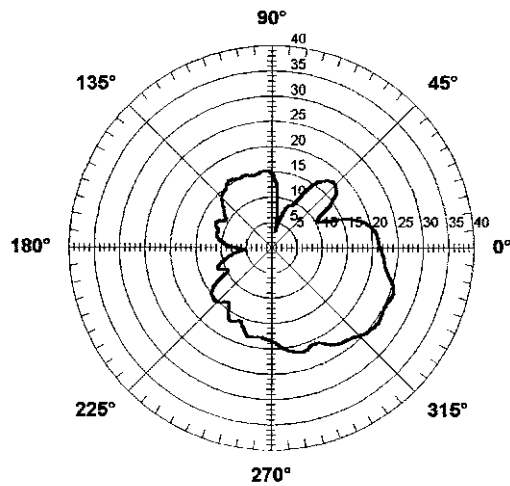
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



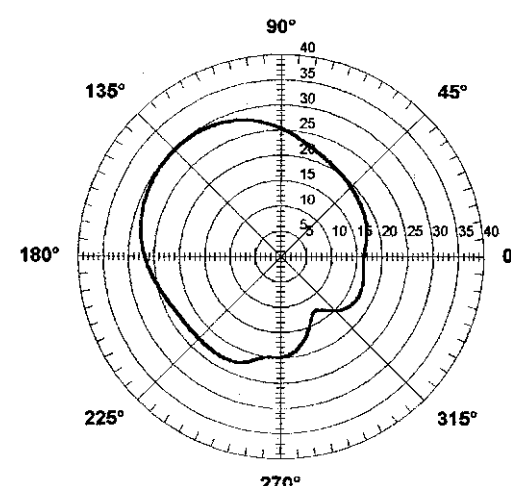
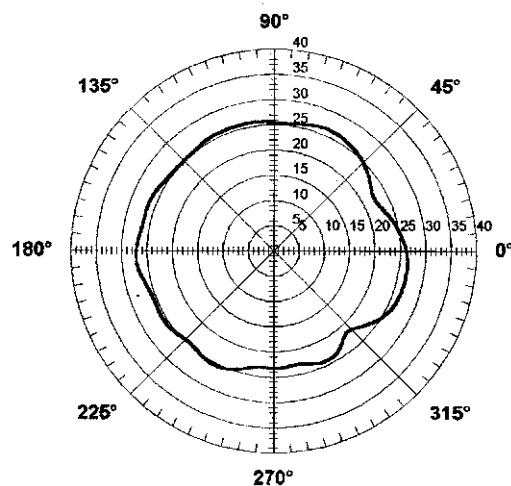
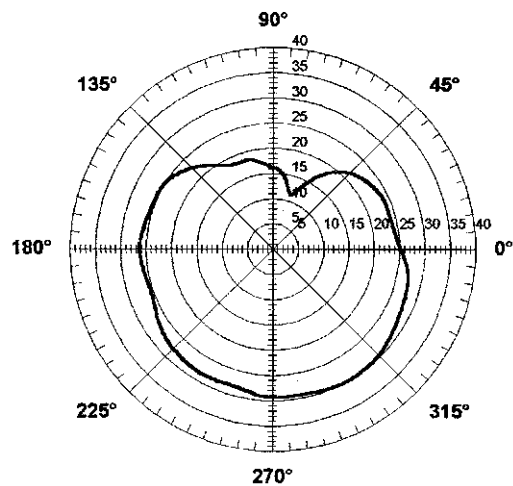
Figur D32: Mätobjekt 19 (Siemens M35i) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

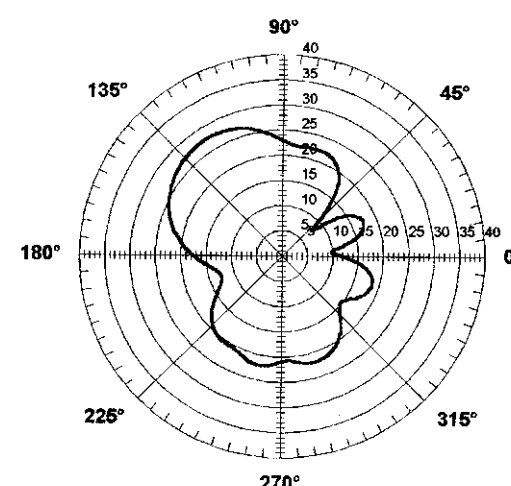
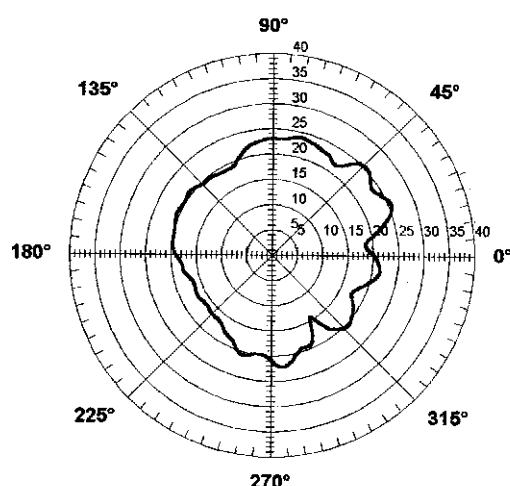
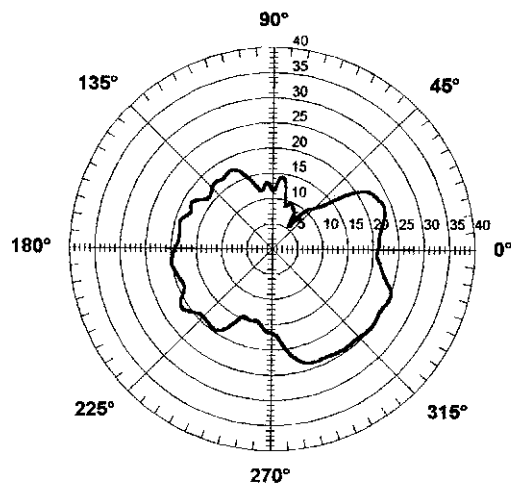
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



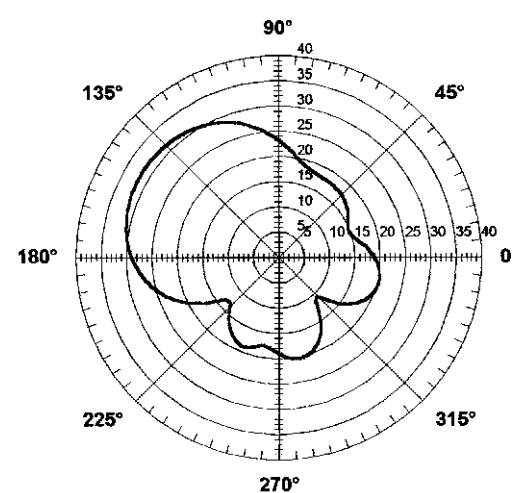
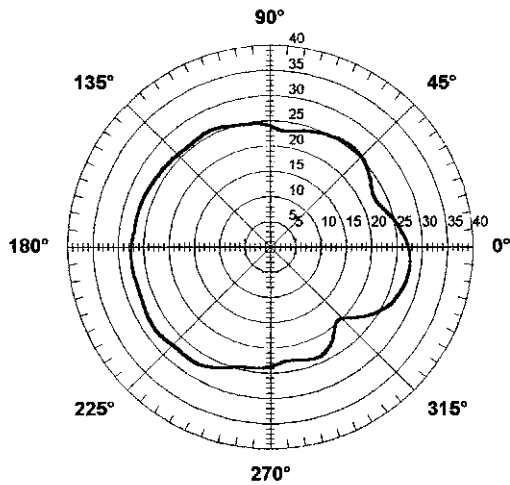
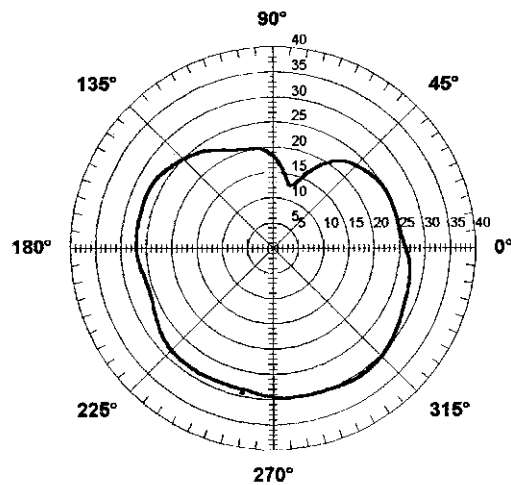
Figur D33: Mätobjekt 20 (Siemens S25) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

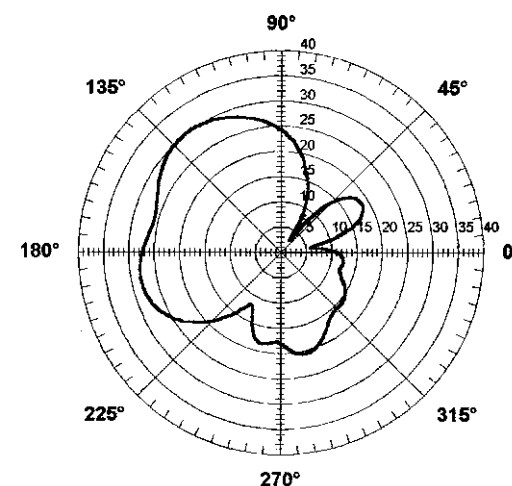
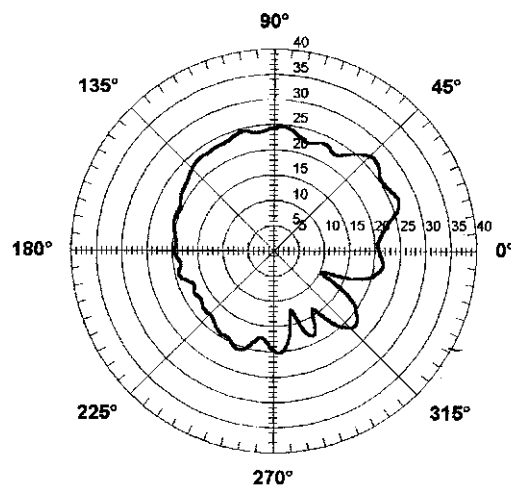
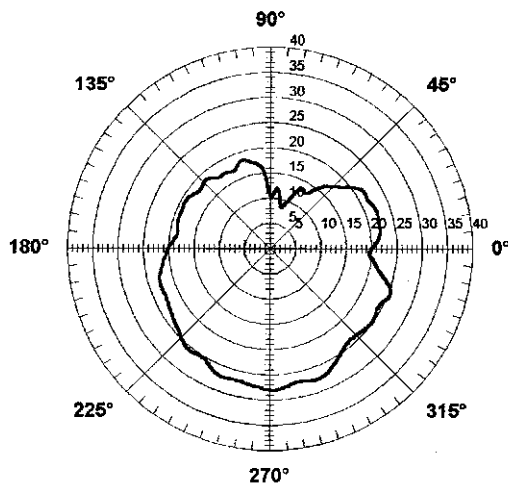
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



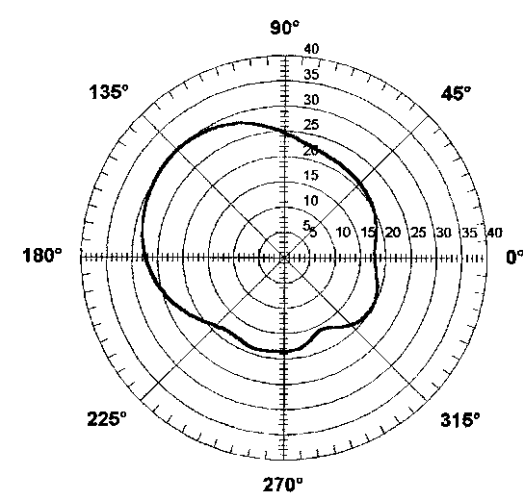
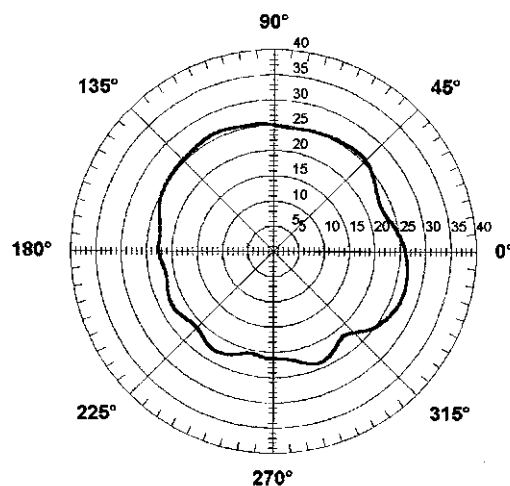
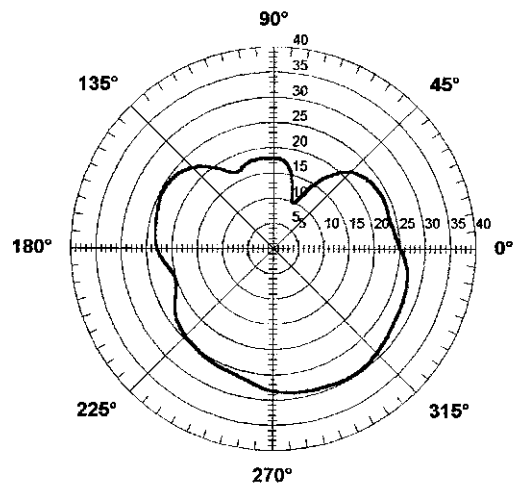
Figur D34: Mätobjekt 21 (Sony CMD-Z5) med fantomhuvud, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

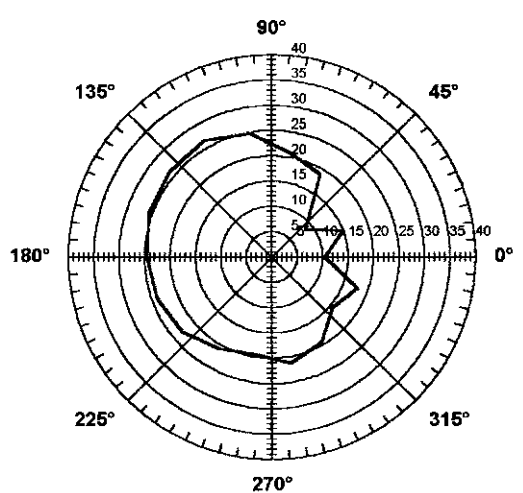
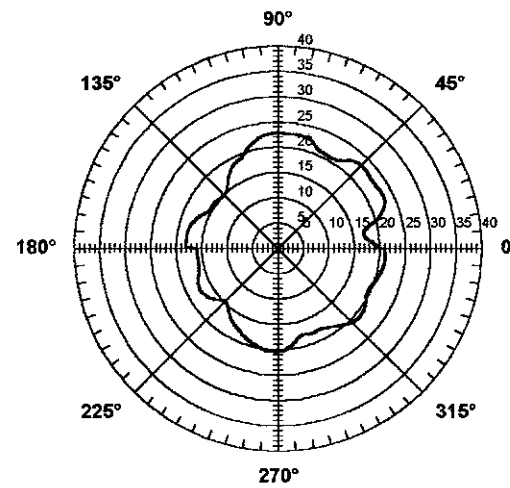
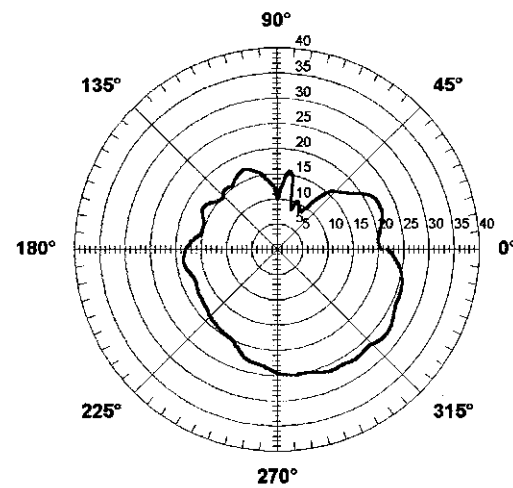
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



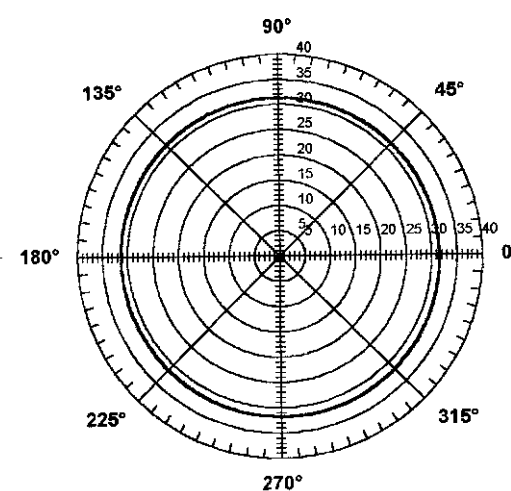
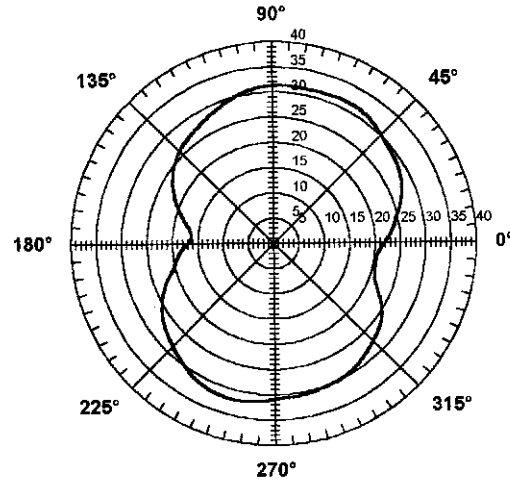
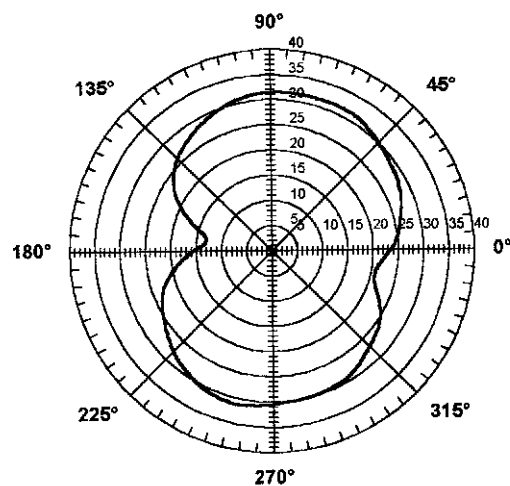
Figur D35: Mätobjekt 21 (Sony CMD-Z5) i fritt rum, (utstrålad effekt i dBm)

a) xz-plan

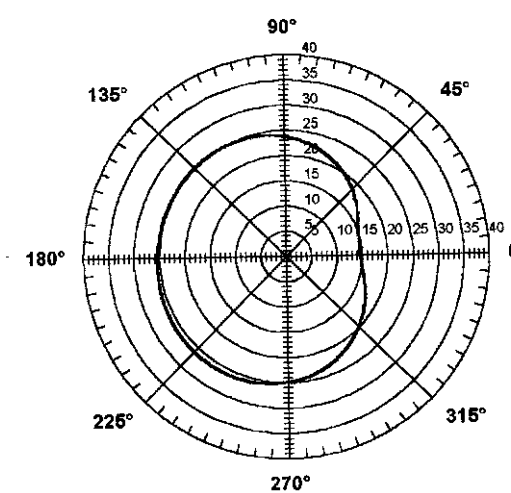
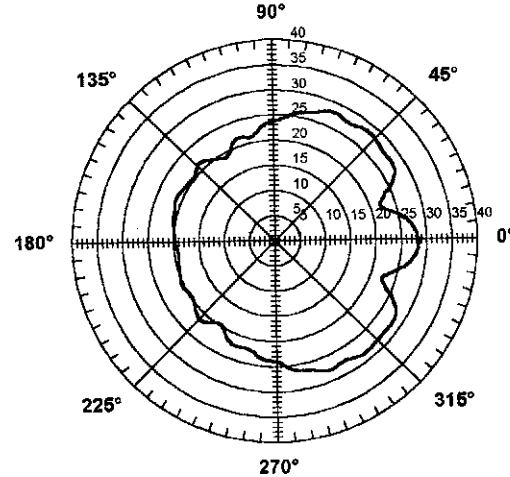
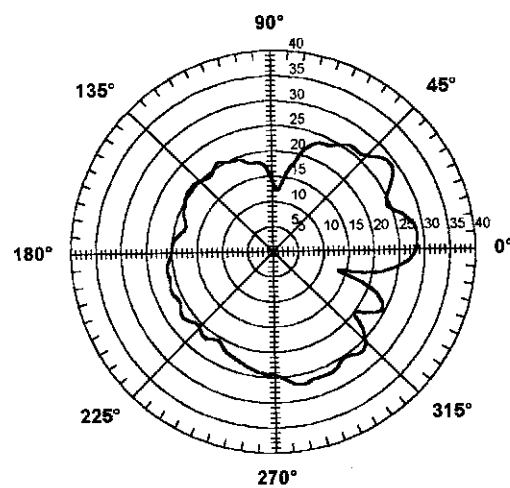
b) yz-plan

c) xy-plan

vid 900 MHz



vid 1800 MHz



**2002:01 SAR och utstrålad effekt för 21
mobiltelefoner**

Avdelning för miljöövervakning och mätberedskap.

Gert Anger

120 SEK



STATENS STRÅLSKYDDSinSTITUT, SSI, är en central tillsynsmyndighet med uppgift att skydda människor, djur och miljö mot skadlig verkan av strålning. SSI arbetar för en god avvägning mellan risk och nytta med strålning, och för att öka kunskaperna om strålning, så att individens risk begränsas.

SSI sätter gränser för stråldoser till allmänheten och till dem som arbetar med strålning, utfärdar föreskrifter och kontrollerar att de efterlevs, bland annat genom inspektioner. Myndigheten informerar, utbildar och ger råd för att öka kunskaperna om strålning. SSI bedriver också egen forskning och stöder forskning vid universitet och högskolor.

Myndigheten medverkar i det internationella strålskyddssamarbetet. Därigenom bidrar SSI till förbättringar av strålskyddet i främst Baltikum och Ryssland. SSI håller beredskap dygnet runt mot olyckor med strålning. En tidig varning om olyckor fås genom svenska och utländska mätstationer och genom internationella varnings- och informationssystem.

SSI har idag ca 110 anställda och är beläget i Stockholm.

THE SWEDISH RADIATION PROTECTION AUTHORITY (SSI) is a government authority with the task of protecting mankind and the living environment from the harmful effects of radiation. SSI ensures that the risks and benefits inherent to radiation and its use are compared and evaluated, and that knowledge regarding radiation continues to develop, so that the risk to individuals is minimised.

SSI decides the dose limits for the public and for workers exposed to radiation, and issues regulations that, through inspections, it ensures are being followed. SSI provides information, education, and advice, carries out research and administers external research projects.

SSI participates on a national and international level in the field of radiation protection. As a part of that participation, SSI contributes towards improvements in radiation protection standards in the former Soviet states.

SSI is responsible for co-ordinating activities in Sweden should an accident involving radiation occur. Its resources can be called upon at any time of the day or night. If an accident occurs, a special emergency preparedness organisation is activated. Early notification of emergencies is obtained from automatic alarm monitoring stations in Sweden and abroad, and through international and bilateral agreements on early warning and information.

SSI has 110 employees and is situated in Stockholm.



Statens strålskyddsinstitut
Swedish Radiation Protection Authority

Adress: Statens strålskyddsinstitut; S-171 16 Stockholm;

Besöksadress: Karolinska sjukhusets område, Hus Z 5.

Telefon: 08-729 71 00, Fax: 08-729 71 08

Address: Swedish Radiation Protection Institute;

SE-171 16 Stockholm; Sweden

Telephone: + 46 8-729 71 00, Fax: + 46 8-729 71 08

www.ssi.se