

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Auto- ja kuljetustekniikka

Autosähkötekniikka

INSINÖÖRITYÖ

MOOTTORIPYÖRÄN EMC-MITTAUS JA TYYPPIHVÄKSYNTÄ

**Työn tekijä: Pasi Kovanen
Työn valvoja: Esa Häkkinen**

Työ hyväksytty: __. __. 2007

**Esa Häkkinen
yliopettaja, tekn. lis.**



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin Modified Motorcycle Association Finlandin toimeksiannosta. Työn valvojana on toiminut yliopettaja, tekniikan lisensiaatti Esa Häkkinen. Haluan kiittää kaikkia projektiin osallistuneita ja erityisesti Esa Häkkistä sekä laboratorioinsinöörejä Matti Korhosta ja Alberto García Villazalaa avusta, tuesta ja opastuksesta. Kiitokset myös MMAF:lle mielenkiintoisen ja erittäin haastavan aiheen antamisesta.

Helsingissä 17.4.2007

Pasi Kovanen

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Pasi Kovanen	
Työn nimi: Moottoripyörän EMC-mittaus ja tyyppihyväksyntä	
Päivämäärä: 17.4.2007	Sivumäärä: 48 s. + 3 liitettä
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Autosähkötekniikka
Työn valvoja: yliopettaja, tekn. lis. Esa Häkkinen	
<p>Tämä insinöörityö on tehty Modified Motorcycle Association Finlandin toimeksiannosta. Mittaukset suoritettiin Helsingin ammattikorkeakoulun autosähkölaboratoriossa tammikuussa 2007.</p> <p>Insinöörityössä todettiin kahden erilaisen omavalmisteisen moottoripyörän EMC-yhteensopivuus EU-normin 97/24/EY kanssa. Työssä esitetään myös tulevaisuudessa moottoripyörän rakentamista harkitsevalle henkilölle ohjeistus, jonka mukaan rakennettu pyörä täyttää edellämainitun normin kriteerit.</p> <p>Työssä on esitelty sähkömagneettisen yhteensopivuuden ja häiriöiden peruskäsitteitä, moottoripyöriä koskevan standardin pääpiirteet, moottoripyörien rakenneratkaisut, sekä mittauksen toteutus ja tulokset.</p>	
Avainsanat: EMC, moottoripyörä, sähkömagneettinen säteily, EMC-mittaus, tyyppihyväksyntä, 97/24/EY, yhteensopivuus	

ABSTRACT

Name: Pasi Kovanen	
Title: Motorcycle EMC-measurement and type approval	
Date: 17.4.2007	Number of pages: 48 + 3 appendixes
Department: Automotive and Transport Engineering	Study Programme: Automotive Electronics
Supervisor: Esa Häkkinen, Tech. Lic.	
<p>This graduate study was made as an assignment of Modified Motorcycle Association Finland. Measurements were made in the Helsinki Polytechnic's automotive electronics laboratory in January 2007.</p> <p>In this study the EMC-compatibility of two different motorcycles was established with the EU-standard 97/24/EY. This study also offers guidelines for people who are considering to manufacture a motorcycle in the future. If a motorcycle would be made according to this guideline, it would fill the criterion of the standard mentioned above.</p> <p>This study will introduce the basic principles of electromagnetic compatibility and interference, the main features of standards concerning motorcycles, structural design features of the motorcycles, implementation of the measurement and the results of the measurements.</p>	
Keywords: EMC, motorcycle, electromagnetic interference, EMC-measurement, type approval, 97/24/EY, compatibility	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄSITTEET

1	JOHDANTO	1
2	SÄHKÖMAGNEETTISISTÄ HÄIRIÖISTÄ YLEISESTI	2
2.1	Häiriöiden kytkeytymistavat	2
2.1.1	<i>Sähkömagneettisen kentän kytkeytyminen</i>	2
2.1.2	<i>Kapasitiivinen kytkeytyminen</i>	5
2.1.3	<i>Induktiivinen kytkeytyminen</i>	7
2.1.4	<i>Johtumalla kytkeytyminen</i>	9
2.2	Sähkömagneettinen säteily kaukokentässä	10
3	MOOTTORIPYÖRIÄ KOSKEVA EMC-STANDARDI	12
3.1	Mittaustavat	12
3.1.1	<i>Koko ajoneuvon asennusten tyyppihyväksyntä</i>	12
3.1.2	<i>Ajoneuvotyyppin tyyppihyväksyntä teknillisiä erillislaitteita testaamalla</i>	12
3.2	Mittausjärjestelyt	12
3.2.1	<i>Testausolosuhteet</i>	13
3.2.2	<i>Antenni ja sen sijoitus</i>	13
3.2.3	<i>Ajoneuvon kunto testin aikana</i>	13
3.3	Mittaustaajuudet	14
3.3.1	<i>Kvasihuippumittaus</i>	14
3.3.2	<i>Keskiarvopainotteinen mittaus</i>	14
4	MOOTTORIPYÖRIEN HÄIRIÖIDEN MITTAUS	15
4.1	Mittalaitteisto	15
4.1.1	<i>Spektrianalysaattori</i>	15
4.1.2	<i>Antenni</i>	16
4.1.3	<i>Kytkentäkaapeli</i>	16
4.2	Antennin sijoitus ja mittaustila	17

5	MOOTTORIPYÖRIEN TEKNISET OMINAISUUDET	20
5.1	Moottori	20
5.2	Runko	21
5.2.1	<i>Silver Bullet</i>	<i>21</i>
5.2.2	<i>Police Special</i>	<i>21</i>
5.3	Jarrut	21
5.4	Sytytys- ja sähköjärjestelmät	22
5.4.1	<i>Silver Bullet</i>	<i>23</i>
5.4.2	<i>Police Special</i>	<i>28</i>
6	MITTAUSTULOKSET	31
6.1	Referenssimittaus	34
6.2	Police Special	35
6.3	Silver Bullet	37
6.4	Silver Bulletin erikoismittaukset	38
6.4.1	<i>Mittaus ilman puolan kotelointia</i>	<i>38</i>
6.4.2	<i>Mittaus eristämättömillä tulpanjohdoilla</i>	<i>41</i>
7	POHDINTA	43
7.1	Huoneen taustasäteily	43
7.2	Mittaustila	44
7.3	Moottoripyörien tekniset ominaisuudet	44
7.4	Tulokset	45
8	YHTEENVETO	47
	VIITELUETTELO	48
	LIITTEET	
	LIITE 1	Mittaustulokset
	LIITE 2	Raja-arvot
	LIITE 3	Kytkentäkaaviot

KÄSITTEET

CAN	Controller Area Network, esim. CAN-väylä
Chopper	Pitkäkeulainen ja leveällä takarenkaalla varustettu amerikkalaistyylinen moottoripyörä
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques, kansainvälinen radiohäiriöiden erityiskomitea
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus
FM	Frequency modulation, taajuusmodulointi, ULA-radiolähetysten modulaatiomuoto
GSM	Global System for Mobile Communications on joukko standardeja jotka määrittelevät matkapuhelinverkon taajuudet ja muut tekniset ominaisuudet
TEL	Tekninen erillislaitte
ULA	Ultralyhyet aallot, radioaaltojen taajuusalue

1 JOHDANTO

Modernia ja tarkkaa elektroniikkaa sisältävät laitteet ja kokonaisuudet ovat nykyään arkipäivää. Tietokoneet ja matkapuhelimet ovat käytössä lähes jokaisessa kotitaloudessa. Sähkölaitteiden voimakas yleistyminen on tuonut mukanaan myös sähkömagneettiset häiriöt ja toisaalta oletukset siitä, että erilaisten laitteiden ja sovellutusten itse lähettämät häiriöt ja laitteiden sietämä häiriösäteily pysyy normitetuissa rajoissa.

Kuluttajaelektroniikan hienostuneisuuden lisääntyessä kasvaa myös herkkien elektroniikkakomponenttien määrä kotitalouksissa ja toimilaitoksissa, joten nykyään kiinnitetään entistä enemmän huomiota sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen ja häiriösäteilyyn. Tämän vuoksi esimerkiksi moottoripyöriä varten Euroopan toimielimissä on säädetty direktiivi 97/24/EY, joka pitää sisällään rakennusmenetelmät ja rajat joiden mukaan pyörä on rakennettava, jotta sen voisi tyyppi hyväksyä. Direktiivissä on säädelty niin mekaaniset kuin EMC:täkin koskevat normit ja rajat.

Tässä työssä mitattiin kahden omavalmisteisen Chopper-mallisen moottoripyörän aiheuttama sähkömagneettinen häiriösäteily ja todistettiin, että pyörissä käytettävät sähkölaitteet sopivat yllämainittuun direktiiviin. Laboratoriomittauksen tarkoituksena oli hakea hyväksyntä kahdelle erilaiselle sähkölaitetekoonpanolle ja sähkölaitteiden sijoitukselle suhteessa pyörän runkoon ja muihin apulaitteisiin niin, että tulevaisuudessa pyörien rakentajat voisivat käyttää jo normitettuja kokoonpanoja ja välttäisivät työlää ja yksityiselle rakentelijalle erittäin suuria kustannuksia tuovan mittausprosessin.

Keväällä 2007 ei vielä tiedetä hyväksyvätkö viranomaiset mittaustuloksia ja pystytäänkö mittausten perusteella luomaan rakennusnormi tämän tyyppisille moottoripyörille.

2 SÄHKÖMAGNEETTISISTÄ HÄIRIÖISTÄ YLEISESTI

Sähkömagneettiset häiriöt syntyvät usein elektronisten laitteiden tai järjestelmien ympäristöissä. Valmistajalle tämänkaltaisen häiriön huomioonottaminen voi olla hankalaa, sillä häiriöasetelma voi usein olla todella monimutkainen. Häiriöiden kytkeytymistavat ovat kuitenkin tunnettuja. Niistä tärkeimmät ovat [2, s. 7] :

- sähkömagneettisen kentän kytkeytyminen (etenevät kentät) esimerkiksi radiotaajuuksilla erityisesti kaukokentässä
- kapasitiivinen kytkeytyminen (sähkökenttä) suuri-impedanssiin piireihin
- induktiivinen kytkeytyminen (magneettikenttä) johdinsilmukoihin
- johtumalla kytkeytyminen maajohtimissa ja piirien yhteisissä impedansseissa.

Tätä työtä ajatellen sähkömagneettisesti ja induktiivisesti kytkeytyvät häiriöt ovat tärkeimmät tarkastelun kohteet.

2.1 Häiriöiden kytkeytymistavat

2.1.1 Sähkömagneettisen kentän kytkeytyminen

Sähkömagneettisen kentän kytkeytyminen on häiriöiden siirtymistä sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Kentän ominaisuudet määräävät seuraavat tekijät :

- säteilylähde
- väliaine
- lähteen ja tarkastelupisteen etäisyys

Säteilylähteen ympäristö voidaan jakaa lähi- ja kaukokenttään, joista kaukokenttä on tämän mittauksen kannalta se mielenkiintoisin ja seurattavin tapaus [3, s. 15].

Radiotaajuiset häiriöt voivat olla suojaamattomalle elektroniikalle haitaksi esimerkiksi teollisuudessa, missä radiopuhelimia käytetään yhteydenpidossa. Toisaalta taas mitattujen moottoripyörien aiheuttaman säteilyn rajoja mitataan 30 - 1000 MHz:n alueella, joten häiriintyviksi elementeiksi voidaan kuvitella radiovastaanottimet, tv-signaali ja GSM-alueen liikenne.

Tieliikenteessä taas moottoripyörän sietämä säteilykin voisi olla haitallista, jos siinä olisi joitain osia, jotka säteilyn takia häiriintyisivät tai haittaisivat ohjausta.

Sähkömagneettisen säteilyn vaimentamiseksi voidaan käyttää muun muassa seuraavia keinoja [5] :

- hyvät kaapelit, pieni kytkentäimpedanssi
- kaksivaippainen kaapeli
- tiheä maadoittaminen $\lambda / 10$ – välein
- suuntavaikutuksen hyväksikäyttö
- tiivis, aukoton metallikotelointi

Mittajohtimiin tai antenniin kytkeytyvä jännite on kentän sähköisen ja magneettisen komponentin osilta seuraavanlainen [2].

Sähköinen komponentti :

$$U_e = E * h_{teh} \quad (1)$$

Magneettinen komponentti :

$$U_h = \mu\omega AH = \mu\omega A \frac{E}{Z} \quad (2)$$

missä :

- h_{teh} = antennin tehollinen korkeus
- A = kehäantennin tai mittauspiirin tehollinen pinta-ala
- E = kentänvoimakkuus (sähköinen komponentti)
- H = kentänvoimakkuus (magneettinen komponentti)
- Z = vapaan tilan aaltoimpedanssi

Pääasiassa sähkömagneettisen kentän kytkeytymistä aiheuttavat laitteen johdotukset. Johdotukset voivat toimia sekä säteilyn lähettäjinä, että vastaanottajina. Johdotuksen tai johtimen antennivaikutus on erittäin tehokas niillä taajuuksilla, joilla johtimen pituus on tarkasteltavan aallonpituuden neljäsosan jokin monikerta [3, s. 15] eli :

$$l = n * \frac{\lambda}{4} \quad (3)$$

missä :

- l = johtimen pituus [m]
- $n = 1, 2, 3, \dots$
- λ = tarkasteltavan signaalin aallonpituus [m]

Signaalin aallonpituus λ voidaan laskea yhtälöstä 4 [4, s. 129] :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (4)$$

missä :

- v = nopeus, tässä valon nopeus tyhjiössä eli n. 300 000 km/s
- f = tarkasteltavan signaalin taajuus [1/f]

Aallonpituuden yhtälö voidaan yksinkertaistaa myös helpommin käsiteltävään muotoon :

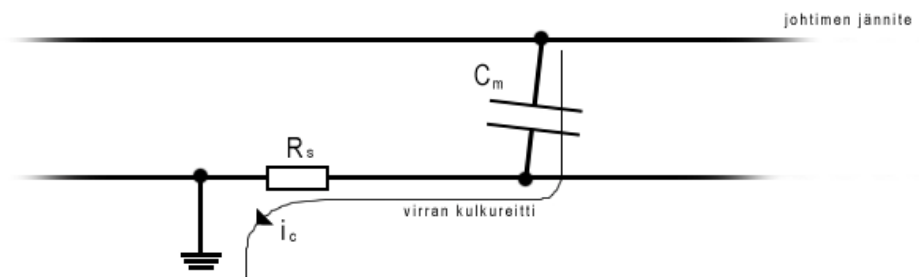
$$\lambda = \frac{300m}{f[MHz]} \quad (5)$$

Kyseistä työtä ajatellen juuri sähkömagneettisesti kaukokentässä kytkeytyvät häiriöt ovat kiinnostavia.

2.1.2 Kapasitiivinen kytkeytyminen

Kapasitiivisen kytkeytymisen syynä on hajakapasitanssin kautta piiriin pääsevä virta, joka aiheutuu häiritsevästä sähkökentästä. Kytkeytymistä tapahtuu toisistaan eristettyjen eri potentiaalissa olevien johtimien välillä. Potentiaalierot saavat aikaiseksi niiden välille sähkökentän. Kuva 1 selventää kytkeytymistä. [2, 6.]

Kapasitiivista kytkeytymistä aiheuttavat sinimuotoiset jännitteet ja transientit eli jännitepiikit.



Kuva 1. Kapasitiivisen häiriön kytkeytymistä selventävä yksinkertaistettu kuva. Vierekkäisten johtimien väliin muodostuu hajakapasitanssi, jonka kautta virta pääsee kulkemaan.

Sinimuotoista häiriön kytkeytymistä voi kuvata seuraavalla tavalla :

$$i_c = \frac{u_c}{\frac{1}{j\omega C_m} + R_s} \quad (6)$$

missä :

- i_c = keskinäiskapasitanssin aiheuttama virta [A]
- u_c = keskinäiskapasitanssin jännite [V]
- $\frac{1}{j\omega C_m}$ = keskinäiskapasitanssin impedanssi
- R_s = johtimen sisäinen resistanssi [Ω]

Häiriöjännite minkä kapasitanssin kautta piiriin päässyt virta aiheuttaa on tällöin muotoa :

$$u_h = i_c R_s \quad (7)$$

Kun häiriötä siirtävän kapasitanssin reaktanssi häiriön taajuudella on huomattavasti suurempi kuin R_s ($\frac{1}{\omega C_m} \gg R_s$), yksinkertaistuu yhtälö (7)

muotoon :

$$|u_h| \approx 2\pi f R_s C_m u_c \quad (8)$$

missä :

- $2\pi f$ = virran kulmataajuus [1/s]
- R_s = johtimen sisäinen resistanssi [Ω]
- C_m = keskinäiskapasitanssi [F]
- u_c = keskinäiskapasitanssin jännite [V]

Nopean jännitemuutoksen, eli transientin aiheuttama kapasitiivinen kytkeytyminen on näistä kahdesta vaarallisempi häiriönaiheuttaja. [6.] Häiriöjännite on tällöin muotoa :

$$u_h = \left(C_m \frac{\Delta U}{\Delta t} \right) * R_s \quad (9)$$

missä :

- u_h = häiriöjännite [V]
- C_m = keskinäiskapasitanssi [F]
- ΔU = jännitteen muutos [V]
- Δt = jännitteen muutosnopeus [s]

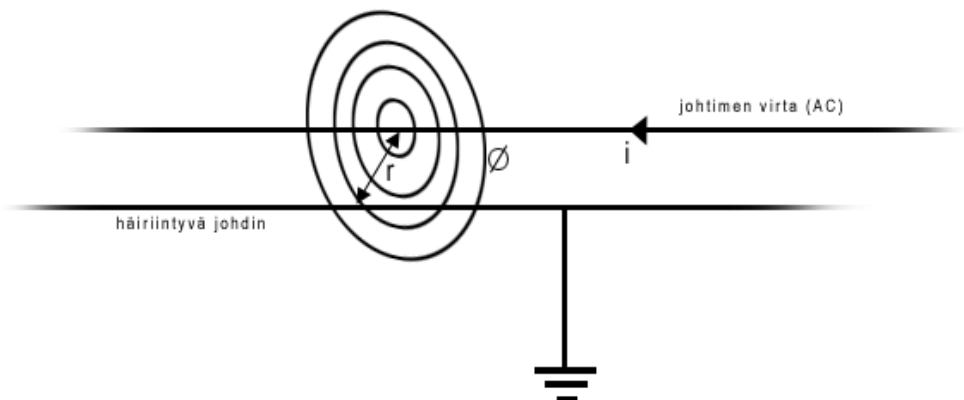
Mitä nopeammin ja voimakkaammin transientin jännite muuttuu, sitä voimakkaampi on myös häiriöjännite. [2, 6.]

Kapasitiivisen häiriön vaimennukseen voidaan käyttää muun muassa seuraavia menetelmiä [5, 3] :

- suojattua johtoa
- metallista kotelointia
- etäisyyden lisäämistä häiriölähteestä

2.1.3 Induktiivinen kytkeytyminen

Induktiivisen kytkeytymisen syynä on magneettikentästä keskinäisinduktanssin kautta piirin silmukkaan indusoituva jännite. Johtimessa kulkevan virran muutos synnyttää ympärilleen magneettikentän. Samoin muuntajien ja käämien tuottamat magneettikentät indusoivat lähellä oleviin johtimiin häiriöitä. Esimerkiksi moottoripyörän puolan ensiökäämissä tapahtuva virran nopea katkaisu indusoi toisiokäämiin korkean jännitteen, joka johdetaan sytytystulpalle tulpanjohtoa pitkin. Tämä on yksi mittauksiin liittyvistä häiriölähteistä. Kuva 2 selventää kytkeytymistä. [5, 2, 3.]



Kuva 2. Induktiivisen häiriön kytkeytymistä selventävä yksinkertaistettu kuva. Häiritsevässä johtimessa kulkeva virta synnyttää magneettikentän, joka indusoi lähellä kulkevaan häiriintyvään johtimeen jännitteen.

Jos tarkasteltavassa tapauksessa häiritsevässä johtimessa kulkee virtaa, syntyy johtimen ympärille magneettikenttä [2] :

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (10)$$

missä :

- I = häiritsevässä johtimessa kulkeva virta [A]
- r = etäisyys [m]

Jos häiriintyvä johdin pysyy paikallaan ja jos vuontiheys on vakio sekä vuo kohtisuorassa silmukan pintaa vastaan, saadaan häiriintyvään johtimeen indusoituvan jännitteen muodoksi [2, 6] :

$$u = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(BA)}{dt} = -\frac{d(\mu HA)}{dt} = -\mu A \frac{dH}{dt} \quad (11)$$

missä :

- u = virran I indusoiman magneettikentän aiheuttama sähkömotorinen voima
- ϕ = magneettivuo
- A = tehollinen pinta-ala [m^2]
- B = vuontiheys [Vs/m^2]
- $\frac{dI}{dt}$ = häiritsevän virran muutosnopeus
- μ = tyhjiön permeabiliteetti $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

Jos yhtälöt (10) ja (11) yhdistetään, voidaan indusoituneen häiriöjännitteen itseisarvo ilmoittaa muodossa :

$$|u| = \frac{\mu A}{2\pi r} \left(\frac{dI}{dt} \right) = L_m \left(\frac{dI}{dt} \right) \quad (12)$$

missä :

- L_m = keskinäisinduktanssi [Vs/A]

Induktiivisen häiriön vaimentamiseen voidaan käyttää muun muassa seuraavia menetelmiä [5] :

- johdotuksien parikiertoa
- metallista kotelointia
- häiriytyvän laitteen johdotuksen paikan muuttamista, kääntelyä yms.
- etäisyyden lisäämistä häiritsevästä kohteesta

Näistä kierretty pari on yleisesti käytössä, esimerkiksi autojen CAN-väylissä. Kierrettyihin parikaapelointeihin indusoituvat häiriöjännitteet kumoavat toisensa vastakkaisvaiheisina. Tämä on mahdollisesti tehokkain ylläolevista häiriönvaimennuskeinoista kyseiselle häiriötyypille.

2.1.4 Johtumalla kytkeytyminen

Yleensä johtumalla kytkeytyvät häiriöt aiheutuvat, kun järjestelmässä on useita maapisteitä tai häiriintyvän ja häiritsevän virtapiirin välillä on yhteinen virran kulkutie. Maapotentiaaliero silmukassa aiheuttaa häiriövirran. Häiriö voidaan poistaa katkaisemalla virran kulkutie esimerkiksi galvaanisella erotuksella tai potentiaalieron poistolla.

2.2 Sähkömagneettinen säteily kaukokentässä

Koska direktiivin mukainen mittausta on suunniteltu kaukokenttään, on hyvä tuntee milloin puhutaan kaukokentästä ja milloin lähikentästä.

Kaukokentän olosuhteet ovat mahdolliset, kun kentän magneettisen ja sähköisen komponentin suhde on likimain tyhjiön aaltoimpedanssi.

$$\frac{E}{H} \approx Z_o \approx 377\Omega \quad (13)$$

Kaukokentän voimakkuuden mittausta on helpoiten toteutettavissa ulkotiloissa, jolloin kaukokentän olosuhteet on parhaiten saavutettavissa.

Kaukokentän rajaetäisyys pistemäiselle häiriölähteelle määräytyy Maxwellin yhtälön (13) mukaan [8] :

$$r = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (14)$$

missä :

- r = etäisyys säteilylähteestä [m]
- λ = säteilyn aallonpituus [m] , joka on laskettavissa yhtälön (4) tai (5) avulla

Maxwellin yhtälö kuvaa oikeastaan enemmänkin lähi- ja kaukokentän raja-alueen etäisyyttä. On olemassa myös toisenlainen määritelmä lähi- ja kaukokentän siirtymäetäisyydelle jonka määrää Rayleighin kriteeri. Rayleighin kriteerillä ei ole tekemistä häiriölähteen kentän rakenteen kanssa niin kuin Maxwellin kriteerillä. Rayleighin yhtälö (15) käsittelee fyysisen antennin (tai testattavan laitteen) tuottamaa säteilykuviota joka on liian suuri ollakseen pistemäinen lähde. [8.]

$$d > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (15)$$

missä :

- D = antennin maksimihalkaisija [m]

Jotta Rayleighin kaukokentän oletus toteutuisi, häiriölähteen ääriosien säteilemien kentän komponenttien vaihe-erojen on oltava pieni. Samalla myös häiriölähteen ääriosien välimatka ei saa olla liian suuri suhteessa aallonpituuteen. [8.]

Kun etäisyys on siis suurempi kuin yhtälön (14) tai (15) antama rajaetäisyys, voidaan puhua kaukokentästä, kun taas vähäisempi etäisyys olisi lähikentässä [2, 3].

3 MOOTTORIPYÖRIÄ KOSKEVA EMC-STANDARDI

Direktiivi 97/24/EY määrää moottoripyörien EMC:tä koskevat rajat ja niiden mittaustavat. Direktiivin raja-arvojen sisään sopiva pyörä täyttää osaltaan neuvoston asettamat vaatimukset ja on näin tyyppihyväksyttävissä ja katsastettavissa. Jos pyörään on asennettu jokin laite, joka ei suoranaisesti ole suunniteltu asennettavaksi ajoneuvoon, esim. jokin ylimääräinen sähkömoottori tai muu elektroninen osa, on se joko otettava osaksi tyyppihyväksyntätestiä tai osoitettava, että se täyttää direktiivin 89/336/ETY.

3.1 Mittaustavat

Direktiivissä on säädetty kaksi tapaa mitata ajoneuvon sähkömagneettinen yhteensopivuus. [1, s. 337]. Näistä mittaustavoista käytettiin ensimmäistä, koko ajoneuvon asennusten tyyppihyväksyntämittausta.

3.1.1 Koko ajoneuvon asennusten tyyppihyväksyntä

Ajoneuvon koko asennus voi saada tyyppihyväksynnän, jos se täyttää suoritettut kokeet direktiivin rajojen ja menettelyjen mukaisesti. Jos näin on toimittu, ei ole tarpeen testata teknisiä erillislaitteita (TEL).

3.1.2 Ajoneuvotyypin tyyppihyväksyntä teknillisiä erillislaitteita testaamalla

Ajoneuvon rakentaja voi saada tyyppihyväksynnän, jos voidaan osoittaa, että kaikki ajoneuvon sisältämät TELit on mitattu yksitellen ja ne täyttävät niille asetetut rajat.

3.2 Mittausjärjestelyt

Koska mittaus on suoritettu mittaamalla koko asennus, käydään standardin analysoinnissa lävitse vain kyseinen mittaustapa. TELejä koskeva säädös löytyy standardin sivuilta 363 - 383.

Direktiivi asettaa rajat laajakaistaiselle- ja kapeakaistaiselle säteilylle, sekä ajoneuvon sähkömagneettiselle häiriönsiedolle [1, s. 338].

Laaja- ja kapeakaistaisen säteilyn rajat on esitetty liitteessä 2.

Sähkömagneettisen häiriönsiedon mittaus on suunniteltu mittaamaan ajoneuvon vastustuskyky sellaisia ulkoisia häiriöitä vastaan, joiden voidaan olettaa aiheuttavan muutoksia ajoneuvon suoralle hallinnalle. [1, s. 356 - 363] Tässä mittauksessa on kuitenkin jätetty tekemättä häiriönsiedon mittaus, sillä kumpikaan ajoneuvoista ei sisällä mitään sellaisia osia tai osakokonaisuuksia, joihin ulkoinen sähkömagneettinen vaikutus voisi vaikuttaa ajoneuvon ajo-ominaisuuksia, jarrutusta tai merkinantoa vaikuttavalla tavalla. Luvussa 5 on esitelty moottoripyörien tekniset ominaisuudet, joista tämä käy ilmi.

3.2.1 Testausolosuhteet

Testausolosuhteet voidaan valita direktiivissä määrättyjen lisäyksen 1 kaavioiden 1 tai 2 mukaan. Mittaustilan koon vuoksi käytettiin lisäyksen 2 määräämää ellipsin muotoista aluetta laajakaista- ja kapeakaistasäteilyn mittauksessa. Tämän lisäyksen määrämän ellipsin on oltava horisontaalinen eikä siinä saa olla sähkömagneettisia heijastuspintoja.

3.2.2 Antenni ja sen sijoitus

Antennityypistä ei direktiivissä ole tarkempaa mainintaa. Mikä tahansa lineaaripolarisaatiotyyppinen antenni on sallittu sillä ehdolla, että se voidaan normalisoida vertailuantennin kanssa.

Antennin etäisyys kohteesta voi olla 3 tai 10 metriä ja korkeus 1,8 tai 3 metriä. Testausolosuhteiden vuoksi käytettiin 3 metrin etäisyyttä ja 1,8 metrin korkeutta.

Antenni asetetaan testatessa peräjälkeen ajoneuvon molemmille puolille keskisen pituusakselin suhteen ja suorassa kulmassa moottoriin nähden. Direktiivin lisäyksen 1 kaavio 3 kuvaa antennin sijoitusta.

3.2.3 Ajoneuvon kunto testin aikana

Laajakaistasäteilyn mittauksessa ajoneuvon on oltava käynnissä, vaihteen vapaalla ja kaikkien sähköä kuluttavien elementtien on oltava säädetty niin, että ne käyttävät mahdollisimman paljon virtaa.

Direktiivi määrää laajakaistasäteilymittauksessa käytettäväksi eri kierroslukualueita [1, s. 348]. Tällä moottorityypillä direktiivi sanoo, että moottoripyörän olisi käytävä 1500 1/min +-10 %. Direktiivin ohjearvoa ei ole

tällä moottorityypillä mahdollista noudattaa. Testissä pyörää on ajettu lievästi korotetulla tyhjäkäynnillä. Teknisiin ominaisuuksiin, joilla tämä asia on perusteltu, palataan myöhemmin luvussa 5.1.

Kapeakaistasäteilyn mittauksessa testausolosuhteet ja antennin sijoitus ovat samat kuin yllämainituissa kohdissa. Kapeakaistaista säteilyä mitattaessa moottoripyörä ei ole käynnissä. Vain sytytysvirta on kytkettyä.

3.3 Mittaustaajuudet

Direktiivi määrää kapeakaista- ja laajakaistasäteilylle omat taajuutensa ja mittalaiteasetukset. Taajuudet on taulukoitu liitteessä 2 raja-arvojen kanssa.

Mittalaiteasetukset määräytyvät niin, että laajakaistasäteilyn mittaukseen käytetään kvasihuippupainotteista mittausta ja kapeakaistasäteily mitataan keskiarvoilmaisimen avulla.

3.3.1 Kvasihuippumittaus

Kvasihuippumittauksessa painotetaan signaalin toistumistaajuutta. Tämä tarkoittaa sitä, että pulssityyppiset häiriöt näkyvät kvasihuippumittauksessa lievempänä, kuin sellaiset häiriöt, joilla on jokin toistumistaajuus. QP-mittauksessa on muistettava säätää mittalaite niin, että se mittaa jokaista mitattavaa taajuutta tarpeeksi kauan. Tämä siksi että saataisiin jokaisella taajuudella tapahtuva signaalin toistuminen varmasti mitattua. Kvasihuippumittaus on käytössä siksi, että toistuvilla signaaleilla on tapana häiritä enemmän radio- ja tv-lähetyksiä. [8.]

3.3.2 Keskiarvopainotteinen mittaus

Keskiarvopainotteinen mittaus etsii nimensä mukaisesti signaalin keskiarvon [8].

4 MOOTTORIPYÖRIEN HÄIRIÖIDEN MITTAUS

Mittausten tarkoitus oli ensisijaisesti tutkia kuinka paljon kahdella eri tavalla valmistettujen choppereiden sähkölaiteasennukset emittoivat sähkömagneettista säteilyä. Tämän tutkimuksen perusteella yritetään todeta, että näillä kahdella eri asennustavalla rakennetut moottoripyörät täyttävät direktiivin vaatimukset, ja että samoilla osakokonaisuuksilla ja osien asennustavoilla tulevaisuudessa rakennettavat pyörät sopisivat myös direktiivin asettamiin normeihin.

Mittaukset suoritettiin kahtena mittauspäivänä, joina molempina mitattiin yksi pyörä. Molempina päivinä mitattiin ensin laajakaistasäteily, jonka jälkeen mitattiin kapeakaistasäteily.

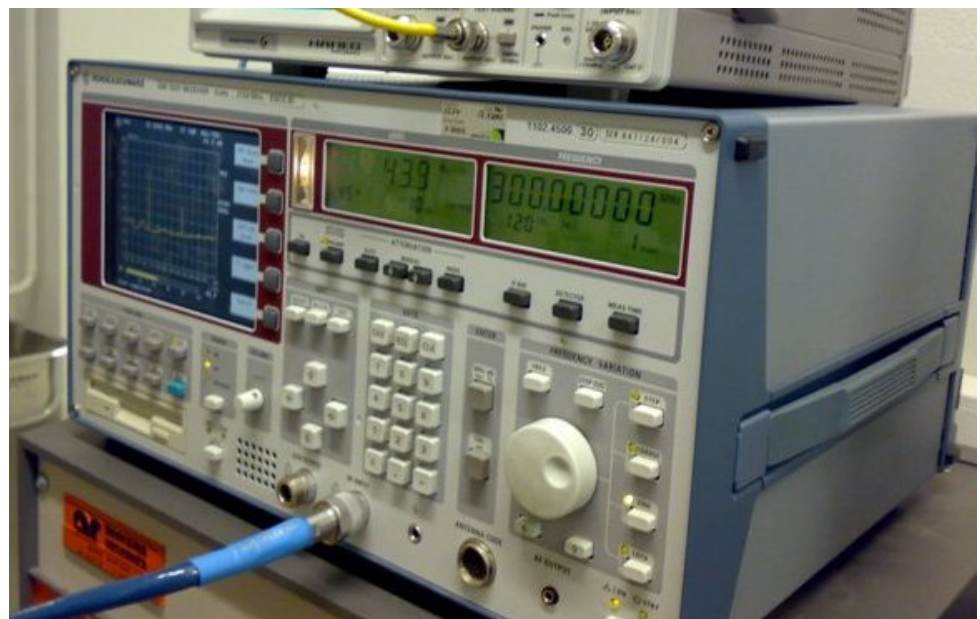
Mittaukset suoritettiin Stadian autosähkölaboratoriossa Eerikinkadulla.

4.1 Mittalaitteisto

Mittalaitteisto käsitti seuraavaksi esitellyt komponentit.

4.1.1 Spektrianalysaattori

Mittauksessa käytettiin Rohde & Schwarz EMI TEST RECEIVER 9 kHz ... 2750 MHz ESCS30 -spektrianalysaattoria.



Kuva 3. Kuvassa R&S:n spektrianalysaattori. Kuvassa näkyy laitteen piirtämä graafinen signaalin kuvaaja, taajuus- ja signaalinvoimakkuusnäytöt, käyttökytkimet ja antennin kytkentäkaapelin kiinnitys.

Kuvan 3 spektrianalysoitsaattorissa käytetyn EMCO:n antennin antennikertoimet pystyttiin tallentamaan laitteeseen etukäteen ja analysoitsaattori osasi muuttaa antennin vastaanottamat kentänvoimakkuuden arvot suoraan direktiivin säätämään $\frac{dB\mu V}{m}$ muotoon.

Molemmista pyöristä mitattiin ensin laajakaistasäteily, jolloin mittalaitteen asetukset säädettiin seuraaviksi :

- minimivaimennus ja low noise
- Havaitsemiseksi valittiin kvasihuippu ja signaalin nousuajaksi 1 sekunti.
- kaistanleveys direktiivin mukainen (IF BW – asetus) 120 kHz
- Mittaustaajuuksiksi säädettiin kiinteät direktiivissä säädetyt taajuudet, jotka esitetään liitteessä 2.

Kapeakaistaisen säteilyn mittaamisessa käytetyt asetukset olivat seuraavat :

- minimivaimennus ja low noise kuten yllä
- Havaitsemiseksi valittiin keskiarvopainotteinen.
- kaistanleveys kuten yllä

4.1.2 Antenni

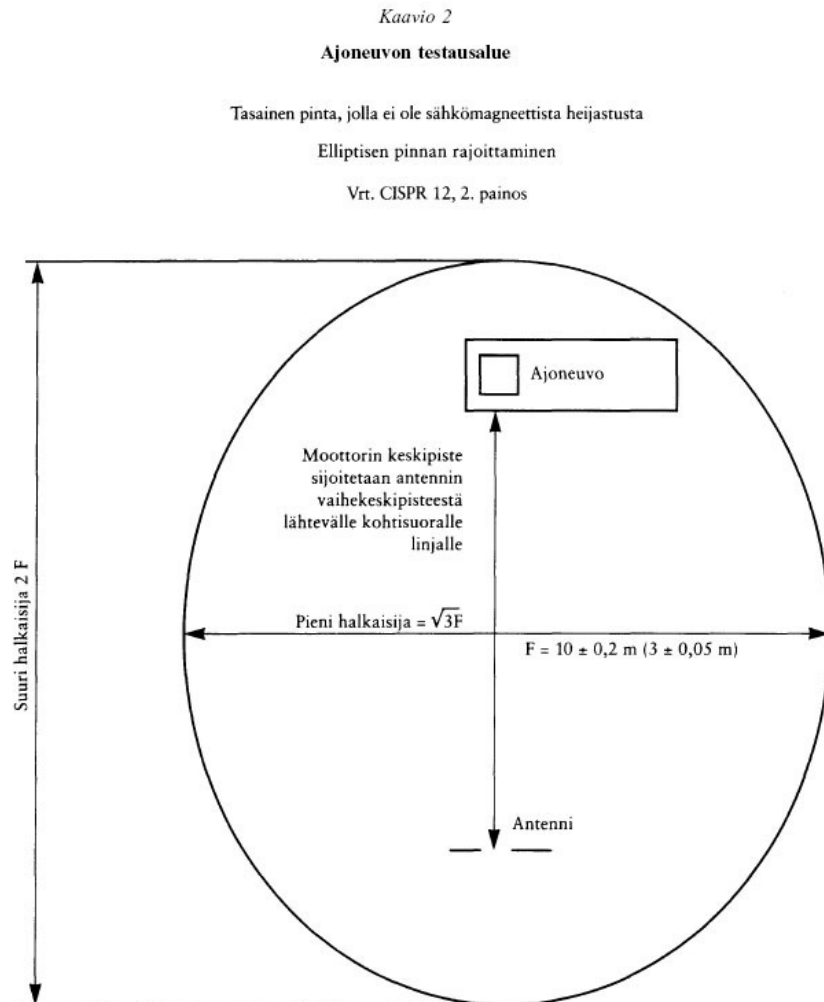
Antennina käytettiin EMCO 3143 -logaritmi-periodista 30MHz ... 1GHz taajuusalueelle käypää antenna. Antennin vahvistus riippuu taajuudesta, joten spektrianalysoitsaattorissa käytettiin antennikerrointa, joka vahvistaa signaalia tietyillä taajuusalueilla ja muuntaa mitatun jännitteen kentänvoimakkuudeksi.

4.1.3 Kytkenäkaapeli

Antennin ja spektrianalysoitsaattorin välinen kytkenäkaapeli oli laadukasta Suhnerin valmistamaa koaksiaalikaapelia.

4.2 Antennin sijoitus ja mittaustila

Antenni sijoitettiin direktiivin lisäyksen 1 kaavion 2 mukaisesti. Kuva 4 selvittää mittaustilanteiston sijoitusta :



Kuva 4. Mittaustilan vaatimukset [1, s. 351]. Kuvassa määritellään testausalueen kokorajat ja lattiatilan vaatimukset.

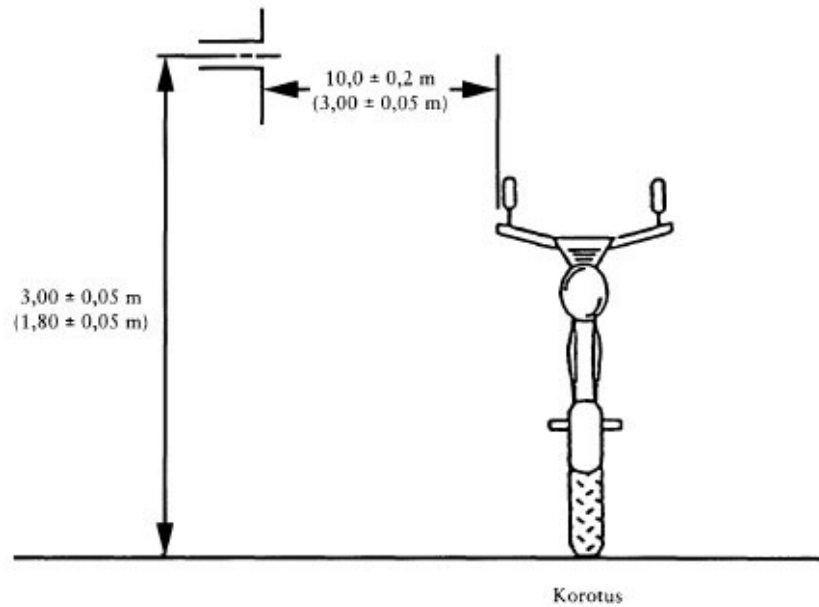
Mittaukset oli suunniteltu tehtäväksi 3 metrin etäisyyttä käyttäen, joten kuvassa 4 esiintyvä F valittiin 3 metriksi. Näin saatiin direktiivin mukainen mittaustila mahdutettua autosähkölaboratorion sisälle. Mittalaitteisto sijoitettiin kuvassa 4 määrätyn ellipsin ulkopuolelle.

Direktiivi määrää antennin sijoituksen ajoneuvon suhteen kuvan 5 tavalla :

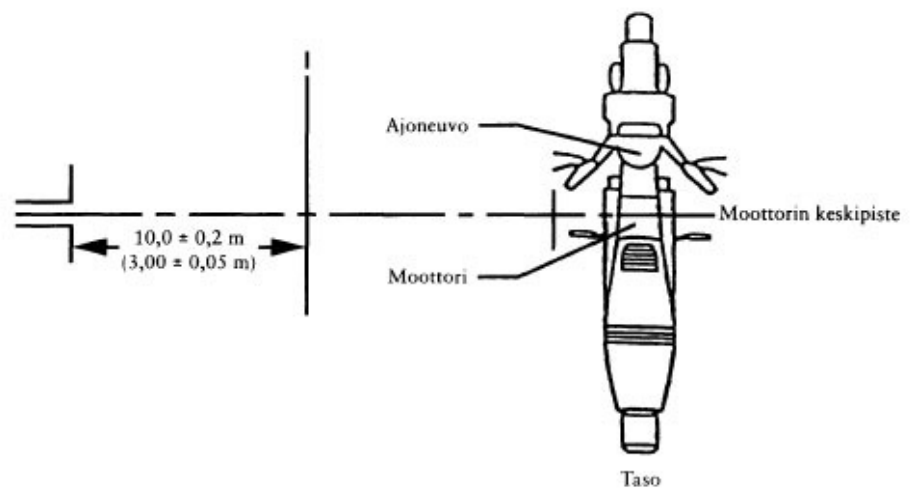
Kaavio 3

Antennin sijoittaminen suhteessa ajoneuvoon

(Kaksinapaisen) dipolaariantennin sijoittaminen säteilyn pystysuorien osien mittaamiseksi.



Dipolaariantennin sijoittaminen säteilyn vaakasuorien osien mittaamiseksi.



Kuva 5. Antennin sijoitusvaatimukset [1, s. 352]. Kuvassa määritetään antennin etäisyys mitattavasta kohteesta ja sijoituskorkeus.

Direktiivi määrää, että kolmen metrin etäisyyden tulisi olla antennin vaihekeskipisteestä. EMCO:n dokumentoinnissa ei kuitenkaan ole mainintaa mittauksessa käytetyn antennin vaihekeskipisteestä, joten mittaukset on valvojan suosituksesta suoritettu kahdella eri etäisyydellä. Antenni sijoitettiin ensin 3 metrin etäisyydelle mitattuna antennin kärjestä olettaen tällöin, että antennin kärki on sen vaihekeskipiste. Tämän jälkeen mittauskohde siirrettiin lähemmäksi antennia, jolloin antennin kärjen etäisyys mitattavasta kohteesta oli 2,2 metriä. Mitattavan kohteen ja antennin kärjen etäisyyden ollessa 2,2 metriä etäisyys antennin tukipisteestä kohteeseen oli 3 metriä. Näin mitattuna antennin oletettu vaihekeskipiste olisi sen tukipiste.



Kuva 6. Kuvassa näkyy hyvin mittaustila. Huomattavaa tilasta on antennin ja pyörän sijoitus sekä kuvan 2 vaatimuksiin sopiva huonekoko. Tila vaikuttaa selvästi antennin korkeusvaatimuksiin.

Kuvassa 6 näkyy autosähkölaboratorio, mitattavan kohteen ja mittalaitteiston sijoitus laboratoriossa. Kuvasta nähdään myös huonekorkeuden asettama rajoitus antennin korkeudelle. Vaakapolarisoitunutta säteilyä mitattaessa antenni pystytettiin asettamaan 1,8 m korkeudelle, mutta pystypolarisoitunutta säteilyä mitattaessa antennin takaosan suuret dipolit estivät sen. Pystypolarisoituneen säteilyn mittauksessa käytettiin 1,5 m:n korkeutta.

5 MOOTTORIPYÖRIEN TEKNISET OMINAISUUDET

Mitattujen choppereiden tekniset ominaisuudet vaikuttavat määräävästi niiden aikaansaamiin säteilyarvoihin. Jos työtä tullaan käyttämään referenssinä moottoripyörien EMC-yhteensopiville sähkölaiteasennuksille on, niiden tekniset ominaisuudet käytävä lävitse, jotta häiriötä synnyttävien osien toiminta olisi ymmärrettävissä.

5.1 Moottori

Molemmissa pyörissä käytetään samaa Harley Davidsonin valmistamaa kuvassa 7 esiintyvää Evolution -moottoria. Tekniset tiedot :

- Sylinterilukumäärä : 2
- Moottorityyppi : 4 - tahti , 45° V-moottori , ilmajäähdytteinen
- Vaihteisto : 5 - vaihdetta eteen
- Sylinterimitat : halkaisija 88,85 mm , iskunpituus 107,95 mm
- Sylinteritilavuus : 1340 cm³
- Puristussuhde : 8,5 : 1
- Polttoainejärjestelmä : kaasutin
- Öljytilavuus : 2,84 l tai 3,79 l
- Vääntömomentti : 104 Nm



Kuva 7. Kuvassa näkyy HD:n Evolution -moottori. Moottorin sytytysjärjestelmä on myös hyvin esillä. Sytytysjärjestelmä on suurin häiriölähde testiä ajatellen.

Suuren iskunpituutensa ja painavan mäntänsä ansiosta moottori on hidaskäyntinen. Tämä taas tarkoittaa sitä, että direktiivissä vaadittu 1500 1/min kierrosnopeus mittausta ajatellen ei tule kyseeseen, sillä tämän tyyppin moottorille se olisi jo reippaan matkanopeuden kierrosnopeus. Tästä syystä ole järkevää mitata sitä direktiivin ohjeistuksen mukaan. Direktiivin määräämä 1/min on selvästi ajateltu silmälläpitäen nopeakäyntisempiä moottorityyppejä, sillä esimerkiksi jokin nelisylinterinen japanilainen katupyörä käy jo tyhjäkäyntiä tämänkaltaisella kierrosluvulla.

Molemmat pyörät testattiin lievästi korotetulla tyhjäkäynnillä, jonka ajateltiin sopivan direktiivin mittaustapaan. Testaustilat eivät myöskään olisi sopineet, jos pyöriä olisi jouduttu ajamaan niin rankalla tyhjäkäyntikierrosnopeudella. Ilmanvaihto autosähkölaboratoriossa olisi ollut riittämätön ja moottoririkko puutteellisen jäähtyksen takia mahdollinen.

Latausgeneraattori on koteloitu moottorin sisälle, joten sen aiheuttamat häiriöt ovat vähäiset, sillä metallikoteloiti, kuten jo aiemmin on todettu, on erinomaisen hyvä sähkömagneettisen säteilyn vaimennuskeino.

Polttoainejärjestelmä molemmissa pyörissä on toteutettu vaijeriohjatulla kaasuttimella, jossa ei ole elektronisia osia. Polttoainepumppua ei myöskään kummassakaan pyörässä ole, vaan polttoaine valuu kaasuttimelle tankista omalla painollaan.

5.2 Runko

5.2.1 Silver Bullet

Silver Bulletissa on omavalmisteinen yksikehtoinen runkorakenne.

5.2.2 Police Special

Police Specialissa on kaksikehtoinen tarvikevalmistajan tekemä runko.

5.3 Jarrut

Molempien pyörien jarrut ovat mekaanishydrauliset eivätkä sisällä sähköisiä toimintoja, kuten ABS:ää tai muita vastaavia häiriintymisen mahdollistavia komponentteja.

5.4 Sytytys- ja sähköjärjestelmät

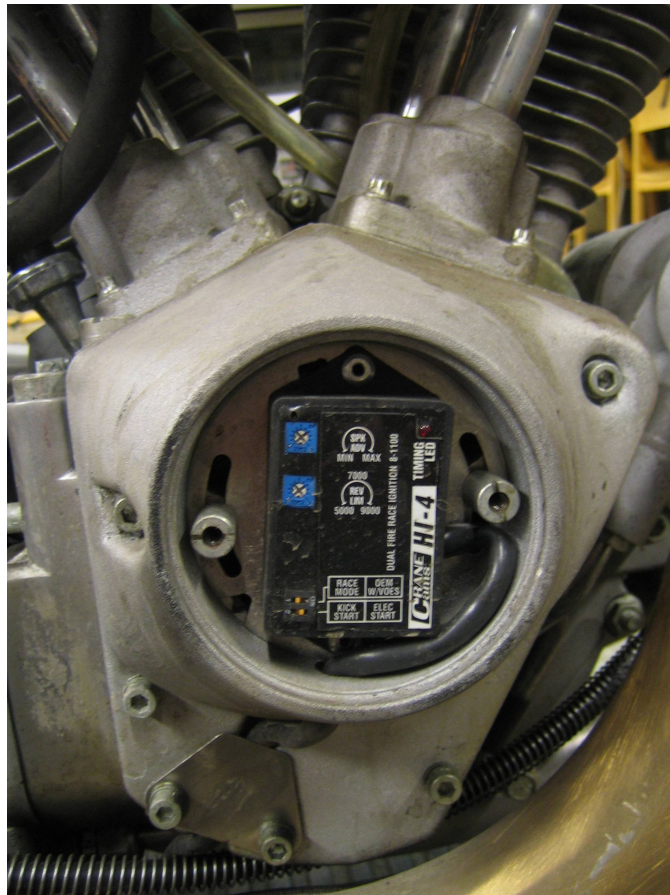
Molempien pyörien sytytysjärjestelmä on toteutettu jälkiasenteisella vanhanaikaiset katkojan kärjet korvaavalla kärjettömällä sytytyksenohjauksella. Tämänkaltainen sytytysjärjestelmä toimii aivan samalla periaatteella kuin autojenkin vastaavat järjestelmät. Sytytyksenohjausyksikkö katkoo puolan ensiövirtaa maadoittamalla sitä ja indusoi näin toisiokäämiin sytytysjännitteen, joka johdetaan tulpanjohtoja pitkin sytytystulpalle, jonka kärkivälissä tapahtuu läpilyönti. Läpilyönnin synnyttämä kipinä sytyttää ilma-/polttoaineseoksen.

Sähkömagneettisen säteilyn mittauksen kannalta sytytysjärjestelmä on suurin häiriöiden aiheuttaja. Sytytyshetkellä puolan ensiöjännite kasvaa noin 300 V:iin asti kunnes sytytyksenohjaus katkaisee maadoituksen. Tämä ensiökäämin jännitevaihtelu indusoi toisiokäämiin kilovolttitason jännitteen (8-15 kV), joka johdetaan tulpanjohtoa pitkin tulpalle. Yleensä läpilyönti tulpassa tapahtuu alle 15 kV:n jännitteellä, kun järjestelmä on kunnossa. Kipinän paloaikana toisiojännite on noin 2 - 3 kV. [9, s. 345 - 362] Kaikki tämä tapahtuu nopeasti (millisekunneissa) ja toistuvasti. Kaiken lisäksi molempien käämien jännitteet värähtelevät ensiö- ja toisiovirtojen vaihdellessa ja nämä värähtelyt aiheuttavat vielä lisää häiriöitä.

Sytytysjärjestelmän yksityiskohtaisempi kuvaus ja sähköjärjestelmä on esitetty seuraavaksi pyöräkohtaisesti.

5.4.1 Silver Bullet

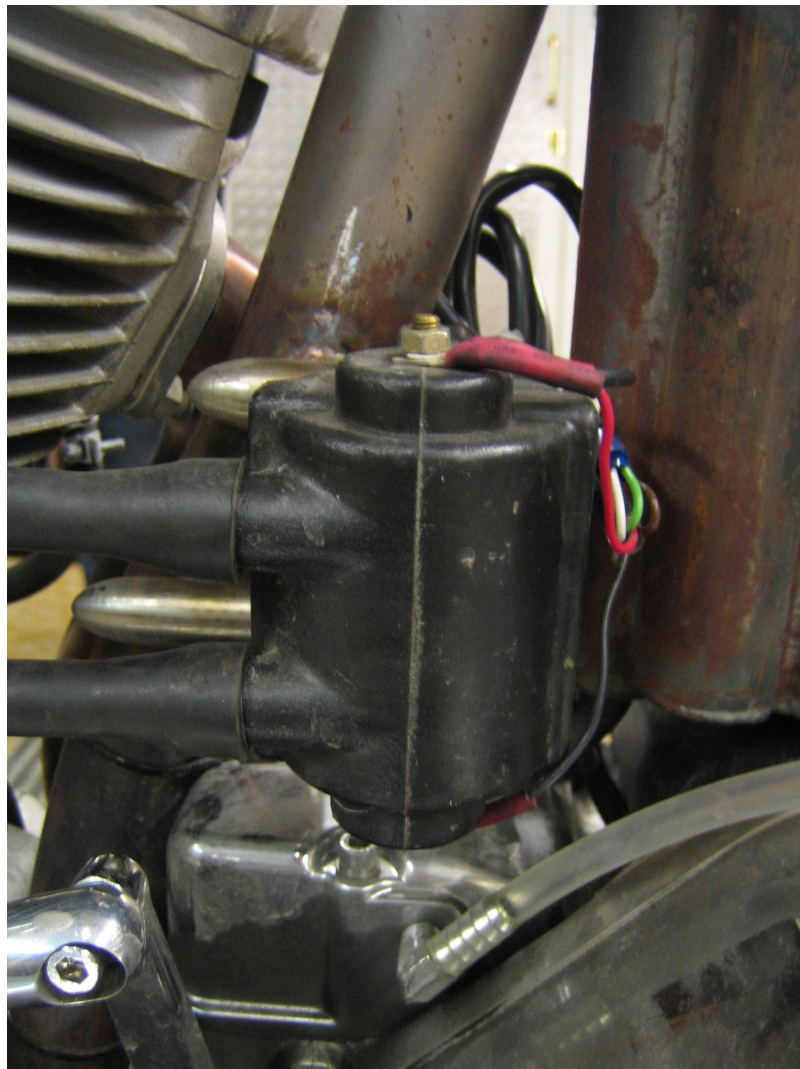
Silver Bulletissa käytetään amerikkalaisen Crane Cams -merkkisen valmistajan sytytyksenohjausta, puolaa ja tulpanjohtoja. Kyseinen kokonaisuus on tarkoitettu asennettavaksi samana pakettina. Sytytyksenohjausyksikkö on asennettu nokkakoteloon kuvan 8 mukaisesti niin, että se saa nokka-akselilta moottorin asento- ja pyörintänopeustiedot. Moottorin asentotiedon perusteella yksikkö osaa maadoittaa puolaa oikealla hetkellä.



Kuva 8. 8-1100 -sytytyksenohjaus ilman koteloitua. Kuvasta huomattavissa ohjainyksikön sijainti ja miten se on koteloitu.

Crane Camsin sytytyksenohjaus on wasted spark -tyyppinen, eli se sytyttää kipinän molemmissa tulpissa samanaikaisesti. Sytytyksenohjaukseen on mahdollista liittää imusarjan alipainetta tunnistava anturi, jonka avulla yksikön automaattista ennakonsäätöä olisi mahdollisuus parantaa. Silver Bulletissa tätä ei kuitenkaan ole käytetty. Ohjainyksikkö mahdollistaa myös valinnan sähköisen tai polkukäynnistimen väliltä.

Sytytyspuola kuvassa 9 on samalta valmistajalta ja erityisesti moottoripyöräkäyttöön suunniteltu, eli häiriöiden eristämistä on ajateltu jo valmistusvaiheessa. Puolan ensiökäämin resistanssin on oltava väliltä 2 - 4 ohmia sopiakseen ohjainyksikön rajoihin. Ohjainyksikön rajoihin sopimattoman puolan käyttö voisi estää sen optimaalisen toiminnan. Esimerkiksi liian pieniresistanssisen puolan käyttäminen lisäisi ensiökäämin lävitse kulkevaa virtaa, mutta hidastaisi sen kasvua. [9, s. 355.] Vääränlaisen puolan käyttö voisi siis pilata esimerkiksi ennakon- ja kosketuskulman säädöstä saatavan hyödyn, kun sytytysketkellä ohjainyksikön tekemät säädöt eivät tuottaisikaan optimaalista sytytysenergiaa kipinälle muuttuneen ensiövirran kasvun takia.



Kuva 9. 8-3002 -sytytyspuola ilman koteloointiaan. Johdotukset ovat vielä keskeneräiset. Kaikki johdotukset tulevat olemaan valmiissa pyörässä piilovetoina.



Kuva 10. 8-5000 -induktiovaimennettu tulpanjohto

Kuvassa 10 näkyvä tulpanjohto on myös sarjaan kuuluva ja Crane Camsin valmistama. Johdin on niisanottu induktanssijohdin. Sen johtava osa on ohutta metallilankaa, joka on kierretty käämimäisesti johtimen keskellä kulkevan sydäneristeen päälle. Käämimäinen muoto aiheuttaa johtimelle resistanssin lisäksi induktiivista reaktanssia. Näin kipinän syttymishetkellä jännitteen tarvetta lisää vain johtimen resistanssi, mutta häiritsevän taajuuden ilmetessä kipinän aikana kasvaa myös impedanssi. Tämäntyyppinen tulpanjohto vaimentaa hyvin häiriöitä eikä lisää liiallisesti toisioresistanssia [9, s. 362].

Vaihtoehtona induktanssijohtimelle on hiilijohdin. Hiilijohtimen keskellä oleva johtava osa on valmistettu hiilellä imeytetystä tekstiililangasta.

Tämänkaltaisen johtimen resistanssi on noin $200 \frac{\Omega}{cm}$. Näin suuri resistanssi

vaimentaa kyllä häiriöitä, mutta kasvattaa myös toisioresistanssia. Liian suuri toisioresistanssi lisää sytytysjännitteen tarvetta ja voi aiheuttaa sytytyshäiriöitä. [9, s. 362.]

Liitteessä 3 on esitetty Silver Bulletin kytkentäkaavio. Chopper -henkisissä pyörissä sähköjärjestelmä on melko yksinkertainen, sillä pyörät on pyritty rakentamaan mahdollisimman pienellä määrällä ylimääräisiä ja toiminnan kannalta tarpeettomia osia.

Maadoitukset on tehty runkoon riittävän hyvän kosketuksen tarjoavilla liittimillä, jottei esiintyisi maakatkoksia tai maapotentialieroja. Kaikki johdotukset on tehty pitäen mielessä johdossa kulkevan virran määrä ja valitsemalla siten tarpeeksi paksua johdinta. Johtimien pituuksien tai poikkipinta-alojen erittelemine ei tässä yhteydessä ole järkevää. Vaikka tätä työtä käytettäisiinkin viiteteoksena rakentelijoille, tulee muistaa, että johtojen pituutta ja paksuutta voi joutua vaihtamaan erilaisten rakenneratkaisujen yhteydessä.

Pyörän sähköjärjestelmää on pyritty yksinkertaistamaan käyttämällä kuvassa 11 esitettyä releohjainta. Releohjaimen avulla pystytään neljän painokytkimen avulla ohjaamaan kaikkia valoihin liittyviä toimintoja. Käynnistimen heräte on myös vedetty releohjaimen kautta.



Kuva 11. Silver Bulletin releohjain. Releohjaimen kanteet on piirretty nuolet kuvaamaan sisään- ja ulostuloja kytkentöjen helpottamiseksi.

Relohjaimen vilkkuja kontrolloivaan osaan (vilkkujen taajuuteen) ei vaikuta niiden käyttämä virtamäärä, joten vilkkuina voi halutessaan käyttää 4 tai 21 W:n polttimoita tai vaikka ledivaloja.

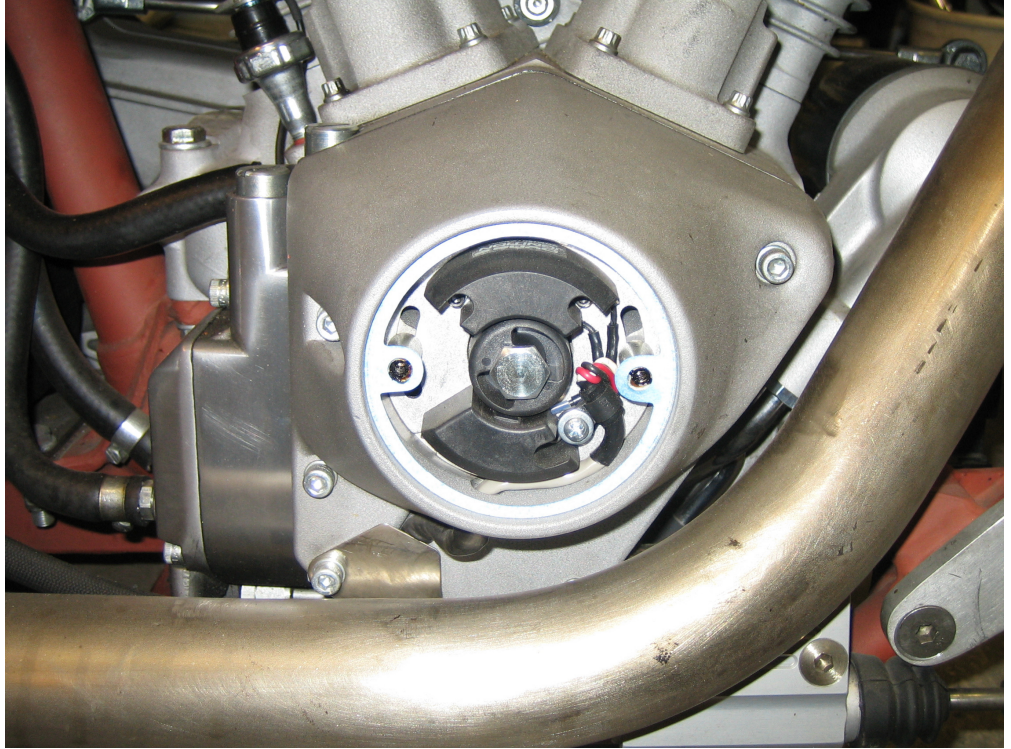


Kuva 12. Releohjain sijaitsee penkin alla piilossa olevassa metallikotelossa.

Releohjain on piilotettu kuvassa 12 näkyvään pyörän istuimen alla olevaan koteloon. Ratkaisu on erinomainen ajatellen sähkömagneettisen säteilyn eristämistä (metallikotelointi).

5.4.2 Police Special

Police Specialin sytytysjärjestelmäksi on valittu toinen amerikkalainen aftermarket - sytytysjärjestelmiä valmistava yritys Dynatek. Pyörässä on käytetty Dynatekin sytytyksenohjausta ja puolaa. Tulpanjohdot ovat tarvikemallisia vaimennettuja johtoja.



Kuva 13. DS6-2 -sytytyksenohjaus. Sytytyksenohjain on koteloitu samalla tavoin kuin Silver Bulletissakin. Kuvassa nähdään myös aluslevy, jota kääntämällä voidaan vaikuttaa ennakonsäätöön.

Kuvassa 13 esitetty Dynatekin valmistama sytytyksenohjaus eroaa Cranecamsin vastaavasta siinä, että se on niin sanottu single fire -sytytys. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjain sytyttää vain sytytysvuorossa olevalle sylinterille, eikä molemmille.

Ennakonsäädön osalta ohjauksissa on myös eroa. Cranecamsin ohjaimessa on mahdollista säätää potentiometrillä sytytysennakkoa. Dynatekin järjestelmässä ennakonsäätö tapahtuu aluslevyä mekaanisesti kääntämällä.

Pyörien sytytysjärjestelmien suurin ero syntyy puolien sijoituksesta ja niiden määrästä. Silver Bulletissa käytetään yhtä sytytyspuolaa molemmille sylintereille, kun taas Police Specialissa käytetään yhtä puolaa per sylinteri kuten kuvassa 15 näkyy. Puolien sijoitus on myös erilainen. Police Specialin puolat ovat molemmat piilossa kuvassa 14 näkyvän koteloinnin takana, kun taas Silver Bulletin puola on esillä, kuva 9.



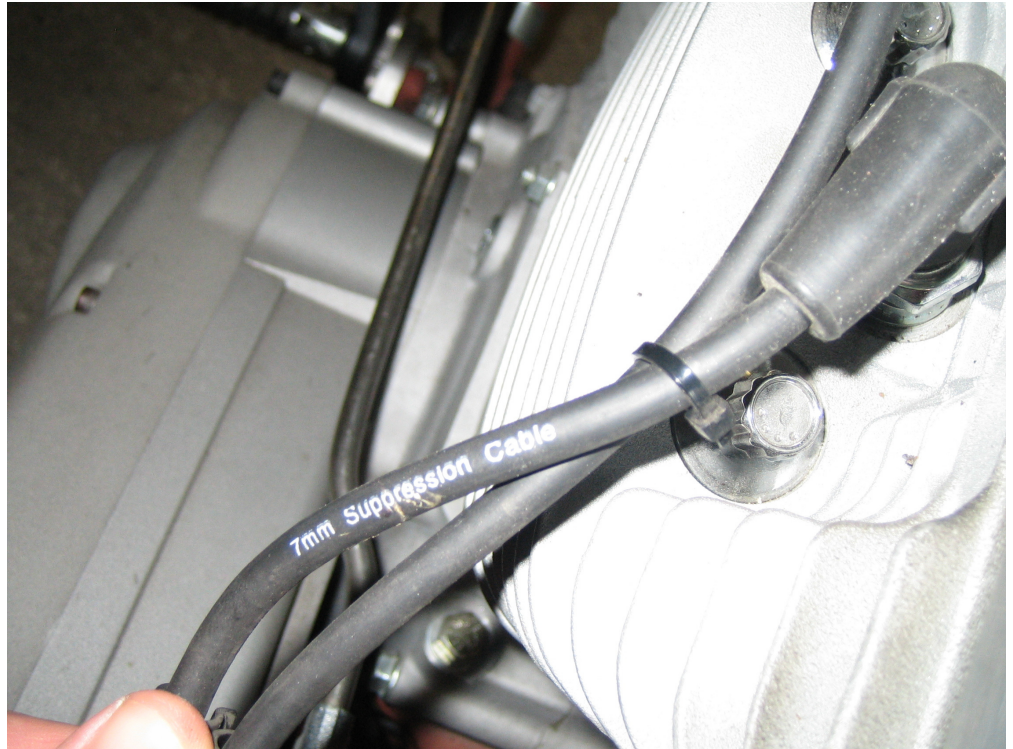
Kuva 14. Puolat on piiloitettu metallikoteloinnin taakse näkymättömiin.



Kuva 15. DC10-1 sytytyspuolat

Rakentajan kannalta puolien sijoitus ei ole muuta kuin esteettinen seikka, mutta sähkömagneettiselle säteilyle metallikotelointi on erinomainen eriste.

Tulpanjohtoina Police Specialissa on käytetty kuvassa 16 nähtäviä tarvikevalmistajan induktiovaimennettuja johtoja.



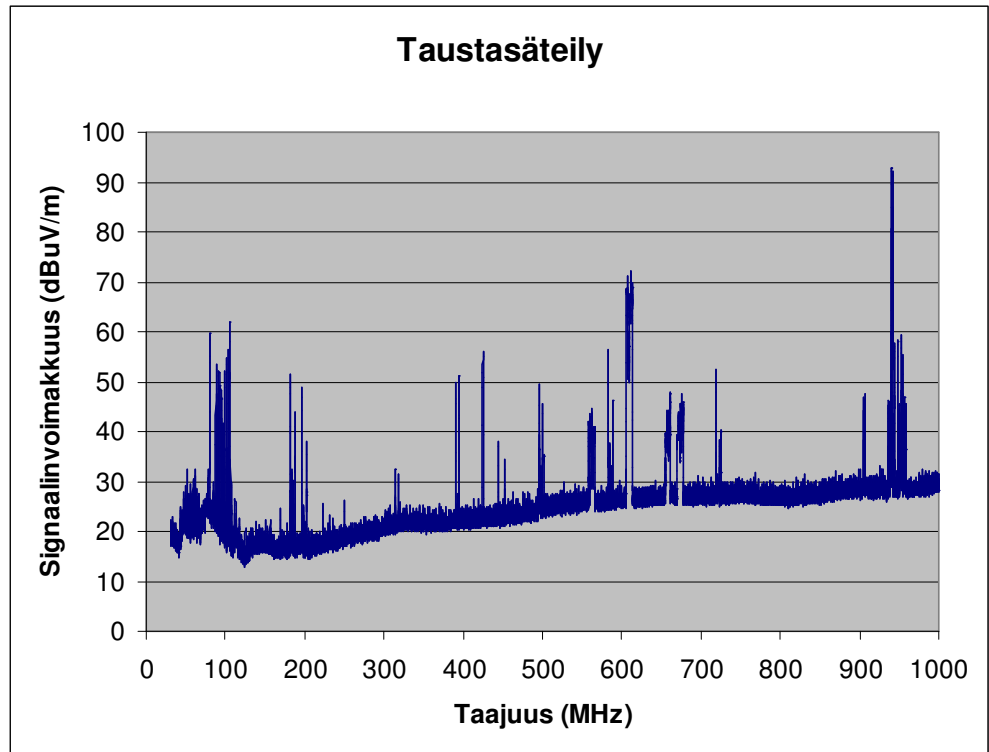
Kuva 16. Tarvikevalmistajan tulpanjohdot

Liitteessä 3 on esitetty Police Specialin kytkentäkaavio. Pyörän sähköt on tehty samoja periaatteita noudattaen kuin Silver Bulletinkin ja pyrkimys mahdollisimman yksinkertaiseen ja toimivaan sähköjärjestelmään on säilytetty.

Erottavina tekijöinä on puolien määrä ja valojen ohjaus. Police Specialin valojen ohjaus on toteutettu perinteisellä vilkkureleellä ja kytkinratkaisuilla. Vilkkurele on sijoitettu pyörän tankin alle piiloon.

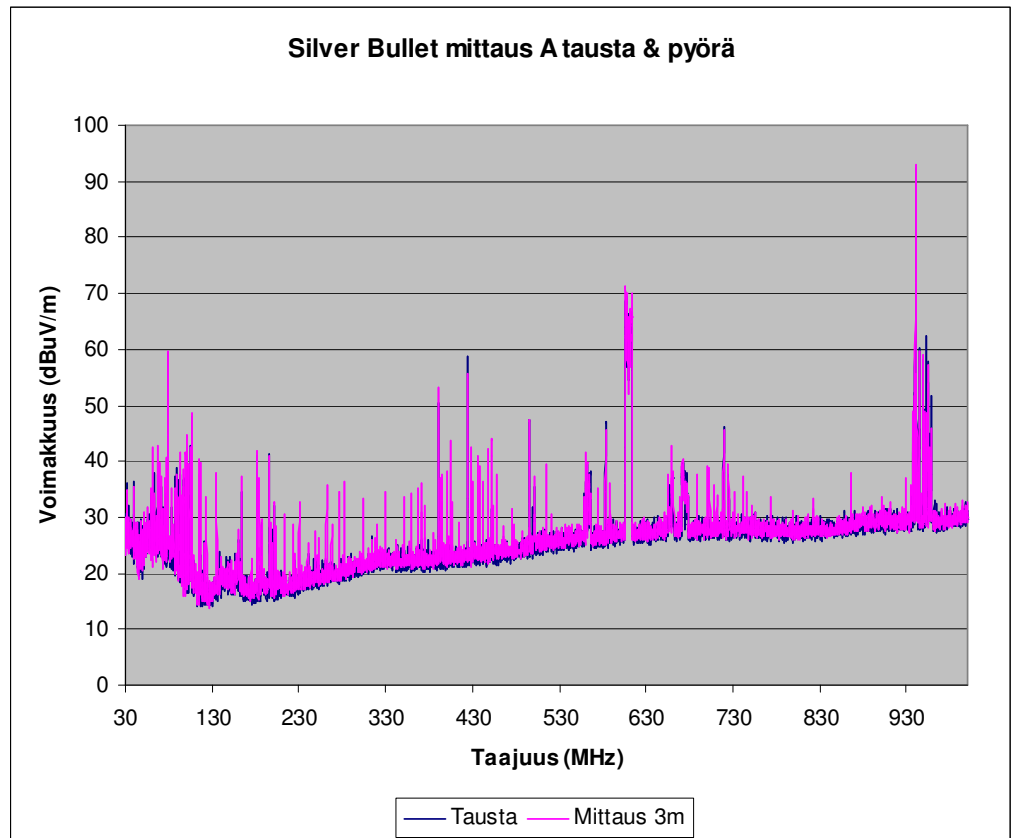
6 MITTAUSTULOKSET

Ennen varsinaisten mittauksien aloittamista mitattiin autosähkölaboratorion taustasäteilyn taso. Kuvasta 17 näemme, millainen säteilyn taso on ilman muita häiriönlähteitä huoneessa.



Kuva 17. Autosähkölaboratorion taustasäteily josta huomataan, että huoneen pohjakohinan päällä on myös kiinteitä häiriösignaaleja. Merkittävimpiä näistä ovat GSM-alueella olevat säteilylähteet taajuudella ~940MHz sekä analogiset televisio- ja radiolähteykset (ULA-/FM-alue) että digitaalisen televisioverkon signaalit.

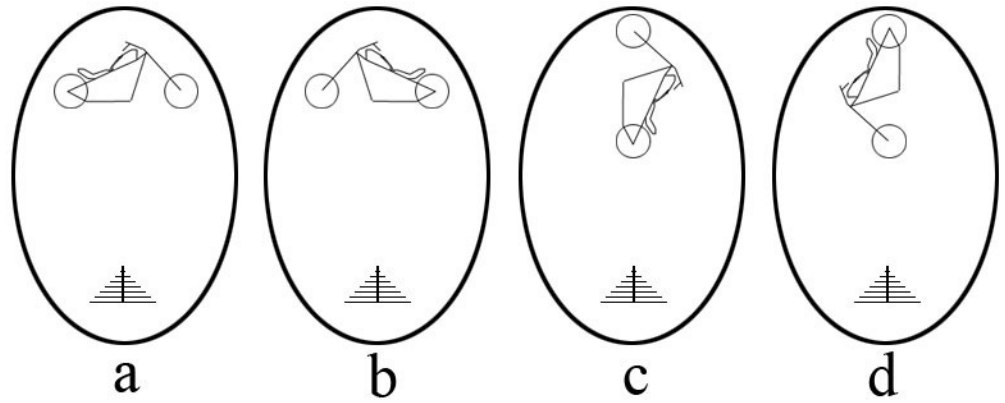
Taustasäteily mitattiin samoilla laitteiston asetuksilla ja sijainnilla, kuin varsinaiset mittauksetkin. Ainoa muutos oli, että itse mittauksessa käytettiin huippuarvoilmaisinta, jolla pystyttiin pyyhkäisemään koko direktiivin määräämän taajuusalueen lävitse. Kaikista varsinaisistakin mittauksista on olemassa huippuarvoilmaisimella koko taajuusalueen mittaustulokset, mutta direktiivin laajakaistamittauksen vaatimukset eivät niitä edellytä ottamaan huomioon, joten kaikkia niitä ei ole yksityiskohtaisesti käyty lävitse.



Kuva 18. Silver Bulletin aiheuttamat laajakaistaisen häiriön signaalivoimakkuudet ja taustasäteily samassa kuvaajassa.

Kuvassa 18 on esimerkki siitä, miten käynnissä oleva moottoripyörä vaikuttaa 3 metrin päästä mitattuna huoneen taustasäteilyn päällä. Huomattavaa on siis se, että kuvassa 18 mitatun moottoripyörän tuottama säteily niillä alueilla, joilla taustasäteilyä ei esiinny, ei edes huippuarvoilmaisimella mitattuna ole yli rajavoimakkuuksien. Tästä voisi jo päätellä, että molemmat pyörät samankaltaisten rakenneratkaisujensa puolesta täyttävät normin ehdot.

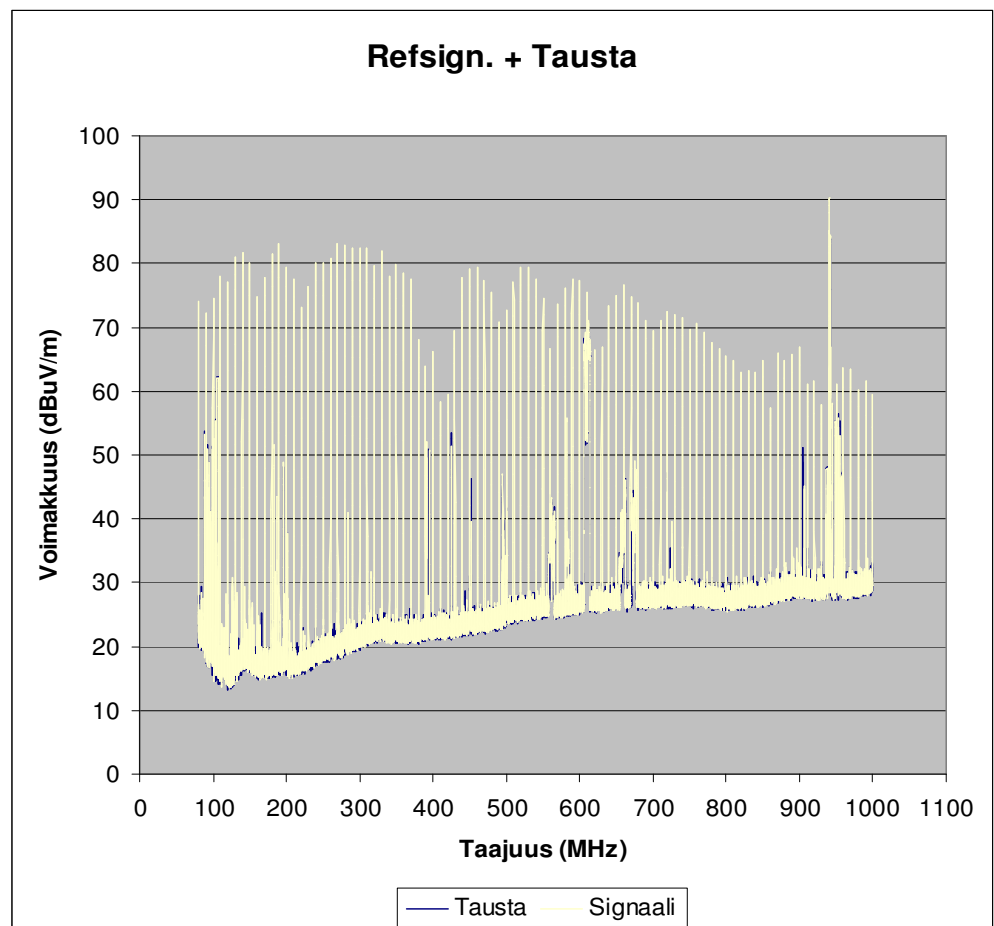
Mittaustulosten käsittelyn helpottamiseksi eri puolilta pyörää mitatut tulokset on taulukoitu käyttäen kirjaimia A, B, C ja D. Kuva 19 havainnollistaa menettelyn.



Kuva 19. Pyörien mittausasennot

6.1 Referenssimittaus

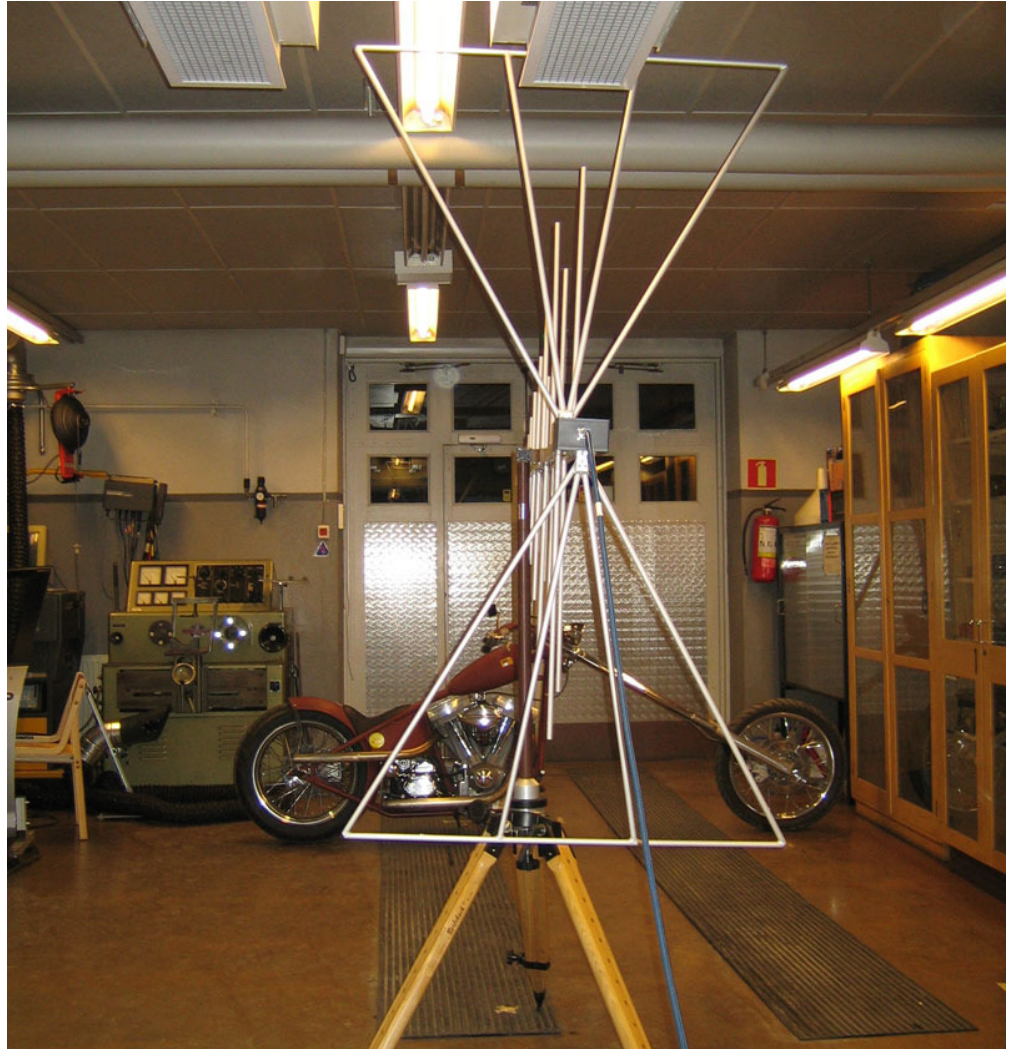
Taustasäteilyn takia huoneessa toistettiin koulun EMC-laboratoriossa tehty referenssimittaus. Mittauksen tuloksista voimme huomata, että taustasäteily ei sinänsä vaikuta mittaustuloksiin silloin, kun säteilevän elementin signaalinvoimakkuus ylittää taustasäteilyn rajan. Tällöin spektrianalysaattori mittaa säteilevän signaalin huippua. Kuvasta 20 näemme, miten referenssimittauksen signaalitaso käyttäytyy taustan häiriöiden suhteen. Itse referenssilähettimen signaalinvoimakkuus on sitä luokkaa, että se ylittää taustasäteilyn tason. Vain yksittäinen voimakkain signaalitaso 940 MHz:n kohdalla näkyy eriävänä verrattuna EMC-laboratoriossa mitattuun signaalinvoimakkuuteen. Muuten mittauksen tulokset (signaalinvoimakkuus eri taajuusalueilla ja käyrän muoto) ovat lähes samoja kuin EMC-laboratoriossa tehdyssä koemittauksessa.



Kuva 20. Referenssilähettimen tuottama signaali ja taustasäteily

6.2 Police Special

Police Special oli ensimmäinen mitatuista pyöristä. Mittauksen kulku sujui edellämainitun kaavan mukaisesti direktiivin ohjeita noudattaen.



Kuva 21. Police Special pystypolarisoituneen säteilyn mittauksessa A.

Kuvassa 21 Police Special viimeisessä mittauksessaan. Ensimmäiset mittaukset tehtiin antennin ollessa huoneen ovien puoleisessa päässä heijastuksien vähentämiseksi, mutta lopulta siirryttiin pakokaasunpoiston hankaluuden takia kuvan 21 kaltaiseen mittalaitteiden asetukseen. Huoneen puolen vaihdolla ei ollut vaikutusta taustaan eikä havaittavaa vaikutusta mittaustuloksiin.

Police Specialin mittaustulokset on esitetty liitteessä 1 sivuilla 8-12. Mittaustuloksia tarkastellessa huomataan, että direktiivin säätämät raja-arvot eivät ylity millään mittauksen taajuudella kummassakaan mittauksessa.

Laajakaistamittauksessa mittaustulokset noudattavat melko tasaisesti taustasäteilyn arvoja.

Kapeakaistamittauksessa mitattiin epäsuotuisin tilanne, jolloin pyörän oikeanpuoleinen kylki oli asetettu antennia kohden ja sytytyksenohjauksen yksikön suojakuori oli poistettu. Näin mitattaessa käytiin lävitse jokainen direktiivin määräämä taajuusalue ensin taustasäteilyn osalta ja sen jälkeen sitä verrattiin mittaustulokseen, joka oli saatu kun pyörässä oli sytytysvirta kytkettynä. Huomattiin, että millään taajuudella ei saatu minkäänlaisia näkyviä tuloksia.

6.3 Silver Bullet

Silver Bullet mitattiin seuraavana mittauspäivänä. Tällöin mittaus toteutettiin samalla kaavalla kuin edellinenkin. Kuvassa 22 Silver Bullet mittauksessa D.



Kuva 22. Silver Bullet laajakaistaisten häiriöiden mittauksessa D

Silver Bulletin mittaustulokset löytyvät liitteestä 1 sivuilta 1 - 7. Edellisenä päivänä mitattuihin Police Specialin tuloksiin ei ollut odotettavissa mitään huikeita eroja, eikä niitä kyllä löytynytäkään.

Laajakaistamittauksista voidaan huomata samat asiat kuin edellisestä mitatusta pyörästä, eli raja-arvoista jäädään tuntuvasti molemmilla antennin etäisyyksillä.

Kapeakaistamittausten osalta tulokset noudattivat myös samaa kaavaa. Havaittavia selvästi pyörästä peräisin olevia taajuuksia ei löytynyt.

6.4 Silver Bulletin erikoismittaukset

Direktiivin mukaisten mittausten lisäksi päätettiin vielä testata millainen vaikutus koteloimattomalla puolalla on mittaustuloksiin sekä miten tuloksiin vaikuttaa, jos tulpanjohtoina käytetään eristämättömiä autokäyttöön tarkoitettuja johtimia. Näiden mittausten tarkoituksena oli osoittaa pyörien rakentelijoille, että oikeanlaisilla osakokonaisuuksilla saadaan aikaiseksi EMC-direktiivin mukainen sähkölaitteiden asennusmalli.

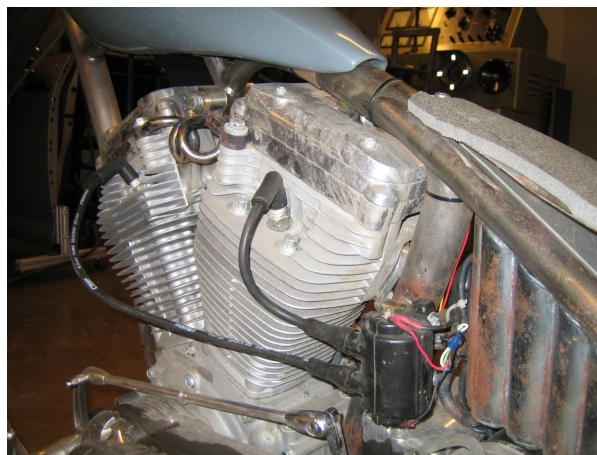
6.4.1 Mittaus ilman puolan koteloointia

Mittaus ei enää ollut direktiivin vaatimusten mukainen, joten antennin korkeus laskettiin häiriöntuottajan tasolle, eli ~1 metriin ja etäisyys pidettiin kaukokentässä 3 m. Mittausten tarkoituksena oli yrittää selvittää, millaisia vaikutuksia puolan koteloinnilla on säteilyyn.

Kuvat 23 ja 24 selventävät alumiinisen puolansuojan sijoituksen.

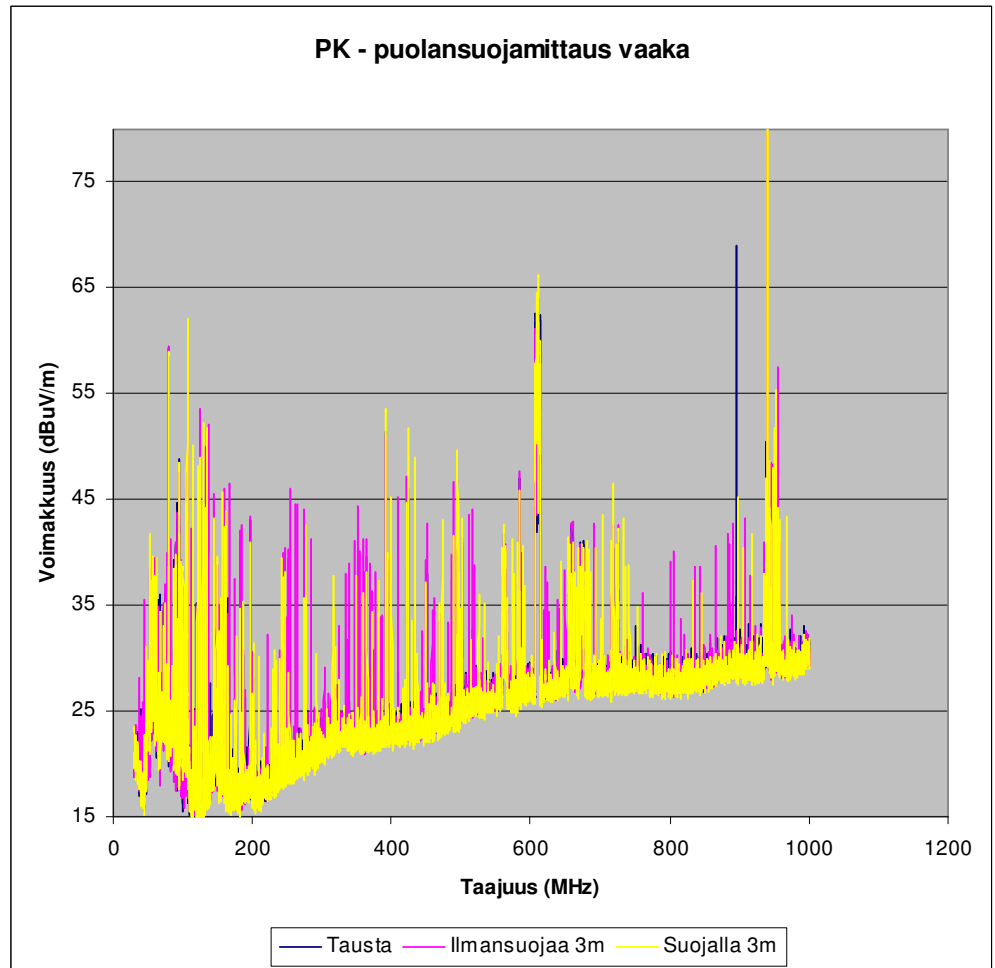


Kuva 23. Silver Bulletin puola metallikoteloinnilla



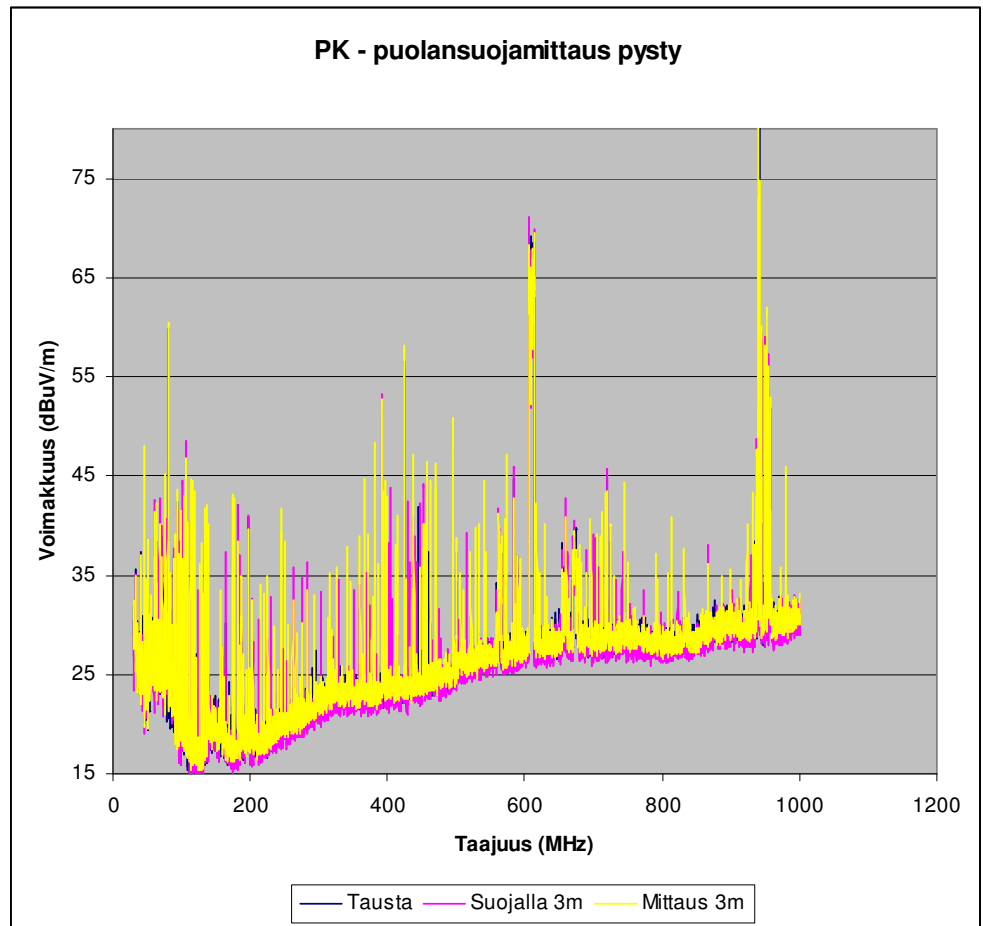
Kuva 24. Silver Bullet ilman puolan metallikoteloointia

Liitteen 1 sivulla 5 esitellään kvasihuippupainotteiset tulokset. Tuloksista voidaan huomata, että ne noudattavat jo totuttua kaavaa eikä suuria eroja säteilynvoimakkuudessa ole verrattaessa suojatun puolan mittaukseen.



Kuva 25. Puolansuojamittaus vaakapolarisoituneelle säteilylle

Kuvassa 25 on esitetty huippuarvopainotteiset mittaustulokset puolansuojamittauksesta vaakapolarisoituneen säteilyn osalta. Vaikka kvasihuippupainotuksella suuria eroja direktiivin määräämillä taajuuksilla ei syntynytkään, voidaan selvästi huippuarvopainotteisesta mittauksesta havaita, miten suojaamaton puola aiheuttaa enemmän havaittavia häiriöitä laajemmilla taajuusalueilla kuin samalta puolelta otettu mittaus, missä puolansuoja on käytössä. Toisaalta täytyy myös muistaa, että puola ei sinne ole koteloitu kauttaaltaan vaan vain toiselta poskeltaan.



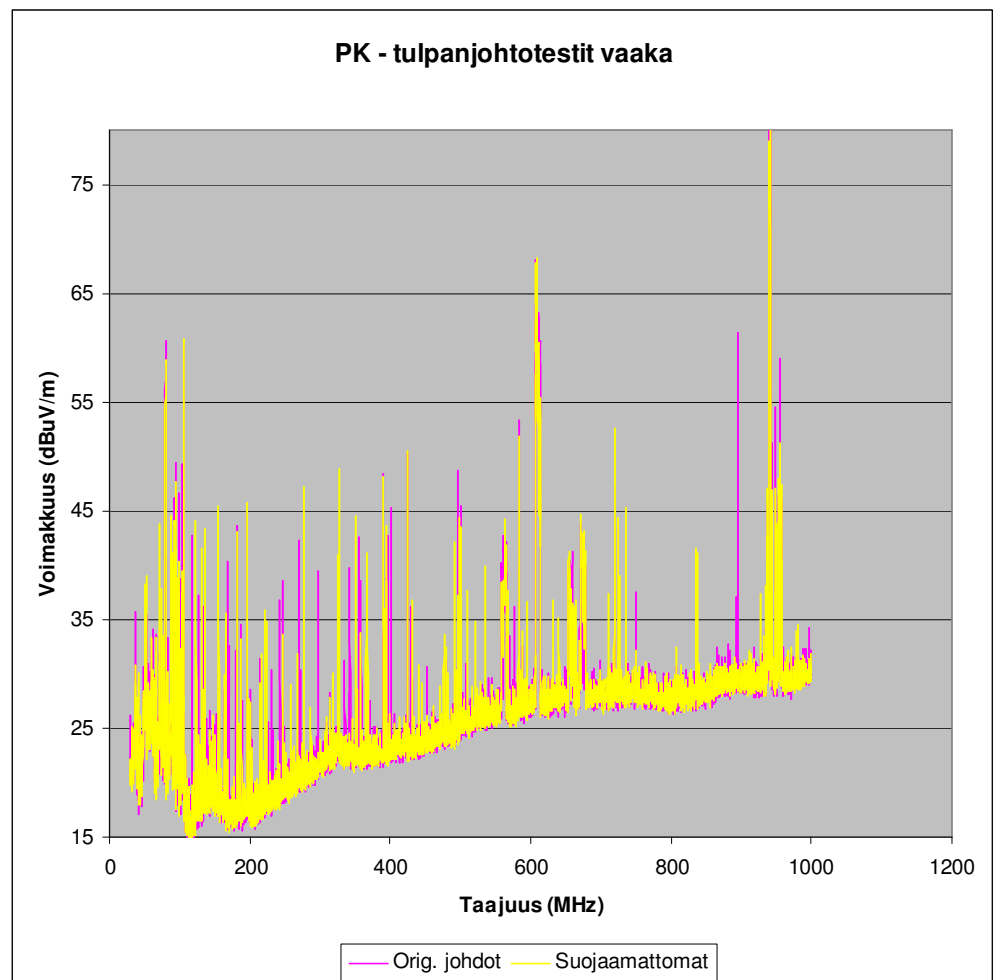
Kuva 26. Puolansuojamittaus pystypolarisoituneelle säteilylle

Kuvassa 26 on esitetty puolansuojamittaus pystypolarisoituneen säteilyn osalta. Voidaan havaita samat piirteet mittaustuloksista kuin ylläolevassakin mittauksessa. Aivan yhtä dramaattisia eroja ei kuitenkaan synny.

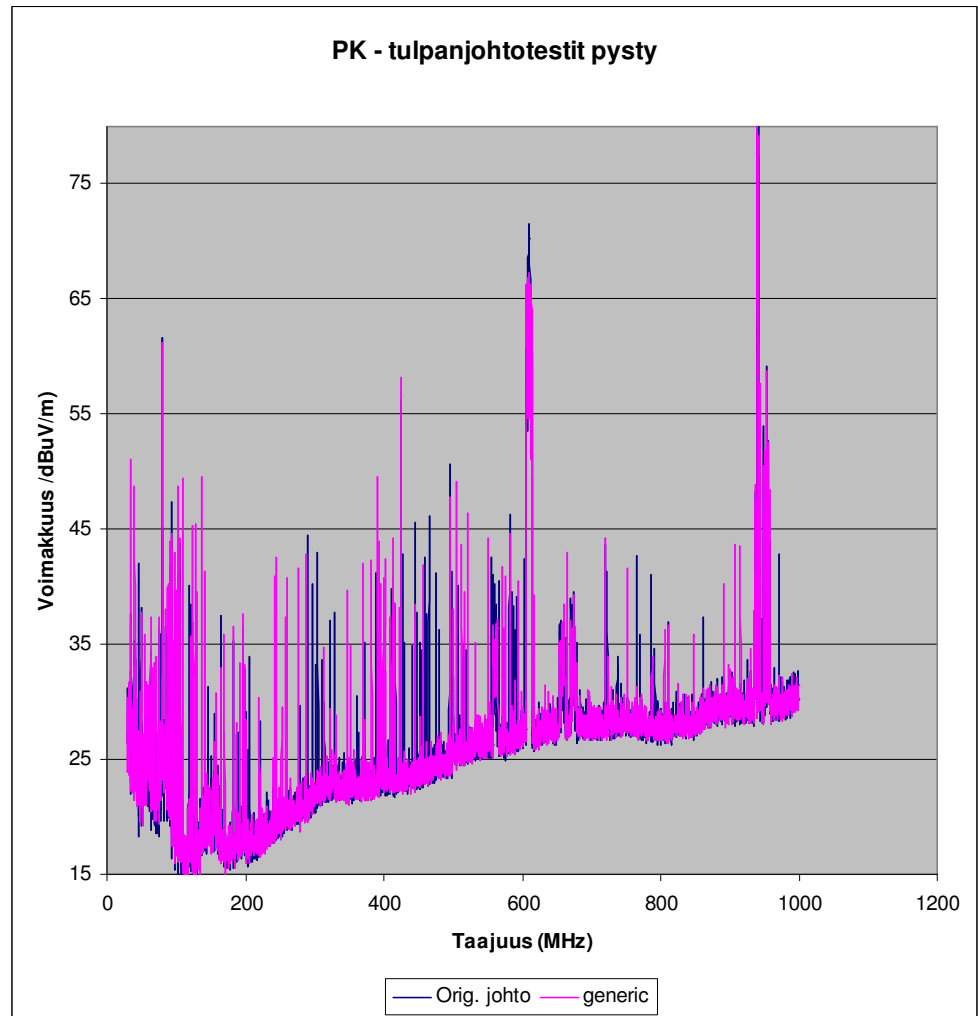
6.4.2 Mittaus eristämättömillä tulpanjohdoilla

Eristämättömillä tulpanjohdoilla mittaamisen tarkoituksena oli myös tutkia miten ns. huonompi tuote vaikuttaa EMC-ominaisuuksiin verrattuna syytysjärjestelmän valmistajan suosittelemiin johtoihin.

Kvasihuippupainotteisista mittaustuloksista suuria eroja ei löytynyt. Mittaustulokset on esitelty liitteen 1 sivulla 6. Huippuarvopainotteisesta mittauksesta kuvissa 27 ja 28 voidaan kuitenkin havaita, miten suojaamattomat tulpanjohdot vaikuttavat huippuarvopainotteisessa mittauksessa. 200 ja 400 MHz:n välillä on havaittavissa selvästi voimakkaampia säteilyhuippuja kuin suojaetuilla johdoilla.



Kuva 27. Tulpanjohtotestit vaakapolarisoituneelle säteilylle



Kuva 28. Tulpanjohtotestit pystypolarisoituneelle säteilylle

Pystypolarisoituneen säteilyn mittauksessa huomataan myös, miten suojaamattomat tulpanjohdot vaikuttavat säteilyyn laajemmilla taajuusalueilla kuin suojatut.

7 POHDINTA

Tämänkaltaiset EMC-mittaukset ovat tarkoin standardoituja, jotta mittaustulokset olisivat riippumattomia mittaolosuhteista ja toistettavissa. Tämän mittauksen määrittelevän standardin olosuhteista jouduttiin kuitenkin tinkimään hieman mittaustilan taustasäteilyn, koon ja moottoripyörän teknisten ominaisuuksien tähden.

7.1 Huoneen taustasäteily

Mittaustilana ei voitu moottoripyörien koon ja pakokaasunpoiston tarpeen takia käyttää Stadian EMC-laboratoriota. Tästä syystä molemmat pyörät mitattiin Stadian autosähkölaboratorion tiloissa. EMC-laboratorio olisi ollut ihanteellinen testitila, sillä se on eristetty ulkoisista häiriöistä. Tulosten analysoinnissa on siis otettu huomioon taustasäteilyn vaikutus mittaustuloksiin. Riippumatta huoneessa vallitsevasta taustasäteilystä voidaan tuloksista sanoa, että ne eivät ylitä direktiivin raja-arvoja kummassakaan pyörässä millään direktiivin määräämällä taajuudella kvasihuippupainotteisella mittauksella. Huippuarvopainotteiset tulokset tukevat myös päätelmääni raja-arvojen alittamisesta, vaikka direktiivi ei niitä kärke analysoimaan.

Referenssimittaus suoritettiin autosähkölaboratorion tiloissa siksi, että pystyttäisiin todistamaan mittaustilan vaikutus mittaustuloksiin. Tuloksista havaitsimme, että huoneen mahdolliset vaimennukset, heijastumat ja taustasäteily eivät vaikuttaneet huomattavasti mittaustuloksiin verrattuna autosähkölaboratoriossa tehtyyn referenssimittaukseen.

7.2 Mittaustila

Direktiivin määräyksien mukainen lattiapinta-ala saavutettiin autosähkölaboratoriossa (kuva 2), mutta korkeusvaatimuksesta jouduttiin tinkimään. Direktiivin määräämä antennin korkeus (kuva 3) toi antennin niin lähelle kattoa, että on syytä olettaa pystypolarisoituneen säteilyn mittauksissa lähinnä kattoa olevan antennin suurimman dipolin kärsivän heijastuksista tai vaimentumista.

Mittaukset saatiin kuitenkin suoritetuksi kaukokentässä, joten voidaan olettaa, että lähikenttä ei vaikuttanut mittaustuloksiin.

Jos seinien heijastuksia olisi ollut mahdollista vähentää radioaaltoja imevillä materiaaleilla, mittaustulosten tarkkuus olisi parantunut ja osa seinämateriaalien aiheuttamista heijastuksista tai vaimennuksista olisi vähentynyt.

7.3 Moottoripyörien tekniset ominaisuudet

Direktiivin määräysten mukaista moottorin käyntinopeutta ei noudatettu mittauksissa. Tämänkaltaisia hidaskäyntisiä moottoreita ei selvästi ole direktiiviä suunniteltaessa otettu huomioon, joten kaikki laajakaistaisen säteilyn mittaukset on suoritettu korotetulla tyhjäkäynnillä.

Mittausten aikana testattiin myös kierrosnopeuden vaikutusta tuloksiin direktiivin mukaisilla mittaustaajuuksilla ja pyörää ajettiin hetki huomattavasti korkeammalla kierrosnopeudella. Kierrosnopeuden lisääminen ei vaikuttanut tuloksiin lisäävästi, joten voidaan olettaa sen vaikutuksen olevan vähäinen.

Vaikka molemmissa pyörissä on käytössä puolijohde-elektroniikkaa ohjausyksiköissä, jätettiin pyörän sietämän häiriön testaaminen tekemättä. Magneettikenttä tai jokin muu voimakas radiotaajuinen häiriö saattaa pahimmillaan aiheuttaa sytytyskatkoksia, mutta ajoneuvon suoraan hallintaan sillä ei ole vaikutusta. Tärkeintähän on, että pyörän jarrut toimivat hätätilanteessa, sillä niiden avulla kuljettajalla on mahdollisuus vaikuttaa tilanteen lopputulokseen.

7.4 Tulokset

Mittaustilan puutteista ja taustasäteilystä huolimatta voidaan todeta, että molemmat pyörät täyttävät direktiivin vaatimustason niin laaja- kuin kapeakaistaisenkin säteilyn raja-arvojen osalta.

Taustan ja mitattavan signaalin sekä mittalaitteen kvasihiippupainotuksen vuoksi joillain taajuuksilla oli vaikea liipaista mittari rekisteröimään juuri suurin huippuarvo, vaikka käytettiin sekunnin nousuaikaa signaalin mittaamisessa. Mittalaitteessa ei ollut mahdollisuutta käyttää automaattista signaalin huippuarvon tallennusta. Näin ollen vaihtelevasta signaalista saatettiin saada mitattua joitakin $\frac{dB\mu V}{m}$ alempi arvo kuin taustasta. Oleellista

on kuitenkin huomata mittaustulosten olevan vähintään $\sim 10 \frac{dB\mu V}{m}$ alle raja-arvojen jokaisella taajuudella molemmilla antennin etäisyyksillä molemmilla pyörillä.

Direktiivi ei määrää kvasihiippupainotteiselle mittaukselle käytettävää spektrianalysaattorin nousuaikaa. Nousuaikana on käytetty sekuntia, jotta varmistettaisiin toistuvan ilmiön oikeanlainen mittaus. Mittauksia suoritettiin myös lyhyemmällä nousuajalla. Lyhyempi nousuaika ei vaikuttanut mittaustuloksiin, joten sekunnin nousuaikaa käytettiin kaikissa mittauksissa.

Voidaan todeta, että pyörät eivät vähäisen mikroprosessoripohjaisen elektroniikkamääränsä vuoksi säteile lainkaan kapeakaistaisia taajuuksia tutkittaessa. Näin ollen testatut pyörät mitattiin kapeakaistaisen säteilyn osalta vain mittauksen A mukaan nokkakotelon ollessa auki. Näin pyrittiin maksimoimaan häiriölähteen eli sytytysyksikön vaikutus.

Riittävän tarkkoja mittaukset eivät mielestäni kuitenkaan ole, että voitaisiin tehdä selväksi kumman pyörän sähkölaiteasennukset säteilevät vähemmän. Taustasäteily ja mittaustilan puutteet haittaavat tarkkaa analyysiä. Tulpanjohtojen ja puolansuojauksen vertailusta, jotka eivät direktiivin mittauksiin kuuluneet, voidaan kuitenkin havaita selviä eroavaisuuksia huippuarvopainotteisia tuloksia tarkasteltaessa.

Silver Bulletin tulpanjohtotestiä suoritettaessa havaittiin mielenkiintoinen hetkellinen häiriö. 7 viimeisellä mittaustaajuudella taulukoitiin huomattavasti muita mittauksia voimakkaammat säteilyhuiput. Myös huippuarvopainotteisessa mittauksessa voidaan havaita selvästi enemmän häiriöitä. Mittaus toistettiin erilaisilla mittalaitteen asetuksilla, jotta voitiin varmistaa, että kyse ei ollut laitehäiriöstä. Uusilla mittauksilla ei kuitenkaan pystytty toistamaan tuloksia, joten pääteltiin, että kyseessä oli hetkellinen häiriö. Aiheuttajana saattoi olla viereisessä hitsauslaboratoriossa tapahtunut toiminta tai jokin muu radiotaajuinen häiriö.

Jatkon kannalta olisi hyvä, jos molemmat pyörät voitaisiin mitata vielä uudelleen erilaisessa tilassa. Direktiivi ei estä ulkotiloissa tapahtuvaa mittausta. Tämä olisi mittaustilan aiheuttamista heijastuksista vapaa mittausta ja se pystyttäisiin toteuttamaan 10 metrin etäisyydeltä, eli oltaisiin varmasti kaukokentässä. Toisaalta radiotaajuiset häiriöt olisivat siinäkin ongelmana. Moottoripyörien testaaminen valtuutetussa ulkoisilta häiriöiltä vaimennetussa tilassa voisi tuoda harrastajat askeleen lähemmäksi sähkölaiteasennuksien normittamista.

Mitattujen choppereiden EMC-yhteensopivuutta ei oikeastaan voi sähkölaitteiden vähäisen määrän tähden juurikaan parantaa. Puolan/puolien ja tulpanjohtojen koteloiminen kauttaaltaan ja runkoon maadoittaminen toisi vielä varmasti selvän parannuksen mittaustuloksiin.

8 YHTEENVETO

Tulevaisuudessa direktiivien yhä tiukentuessa moottoripyörien rakentelijoiden tulisi ottaa huomioon EMC-yhteensopivuuden takaavat seikat. Pyörien funktionalistisen toteutustavan takia rakentajat ovat jo tiedostamattaan valmistaneet erinomaisen toimivat tuotteet, sillä sähkölaitteiden määrä pyritään minimoimaan ja vain tarpeelliset toimilaitteet ovat asennettuina. Sähköjohdotukset tehdään piilovetoina rungon sisälle ja oikeastaan vain puola ja/tai tulpanjohdot jäävät näkyviin.

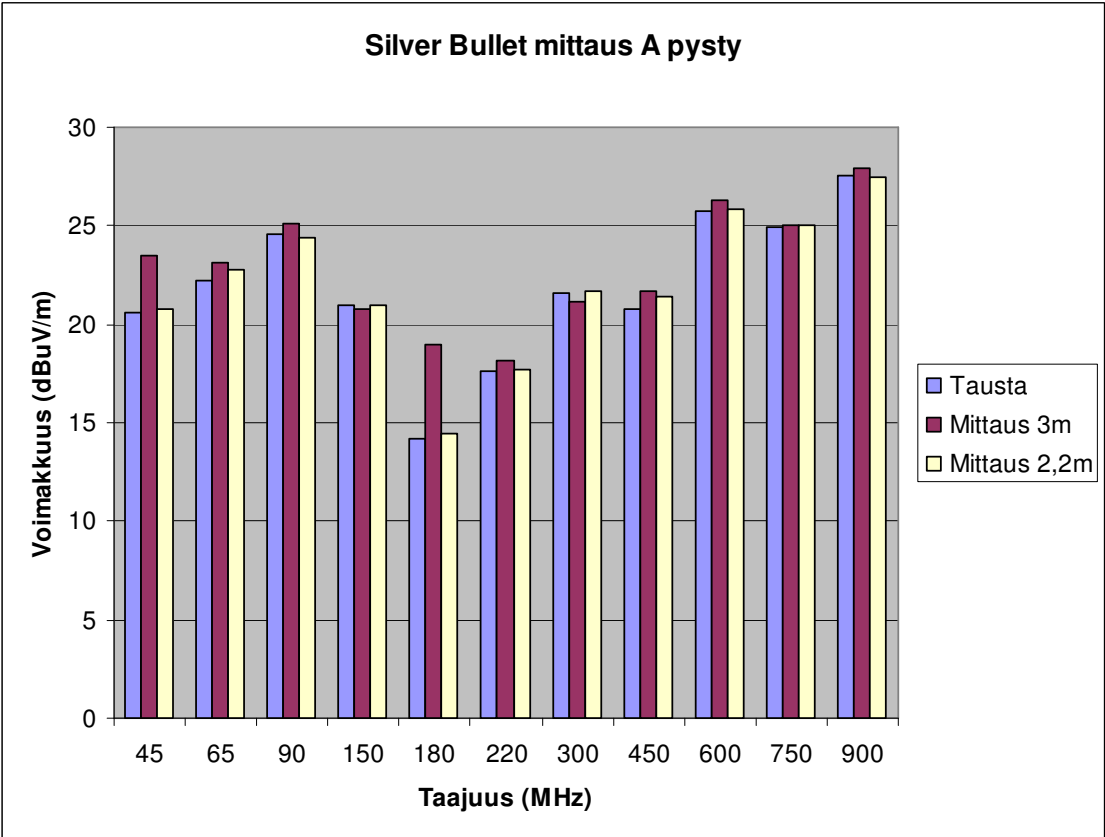
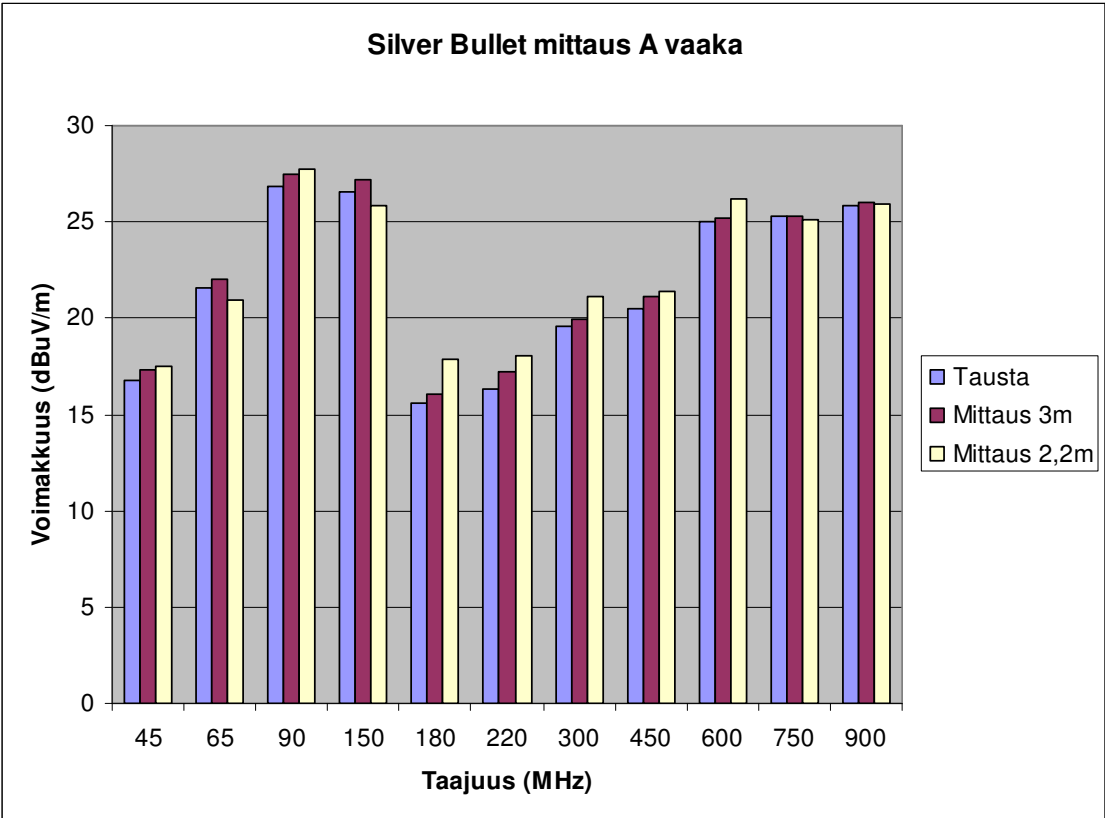
Mittaustulosten perusteella molemmat pyörät ovat käypiä ja katsastettavissa ilman mitään muutoksia asennuksiin.

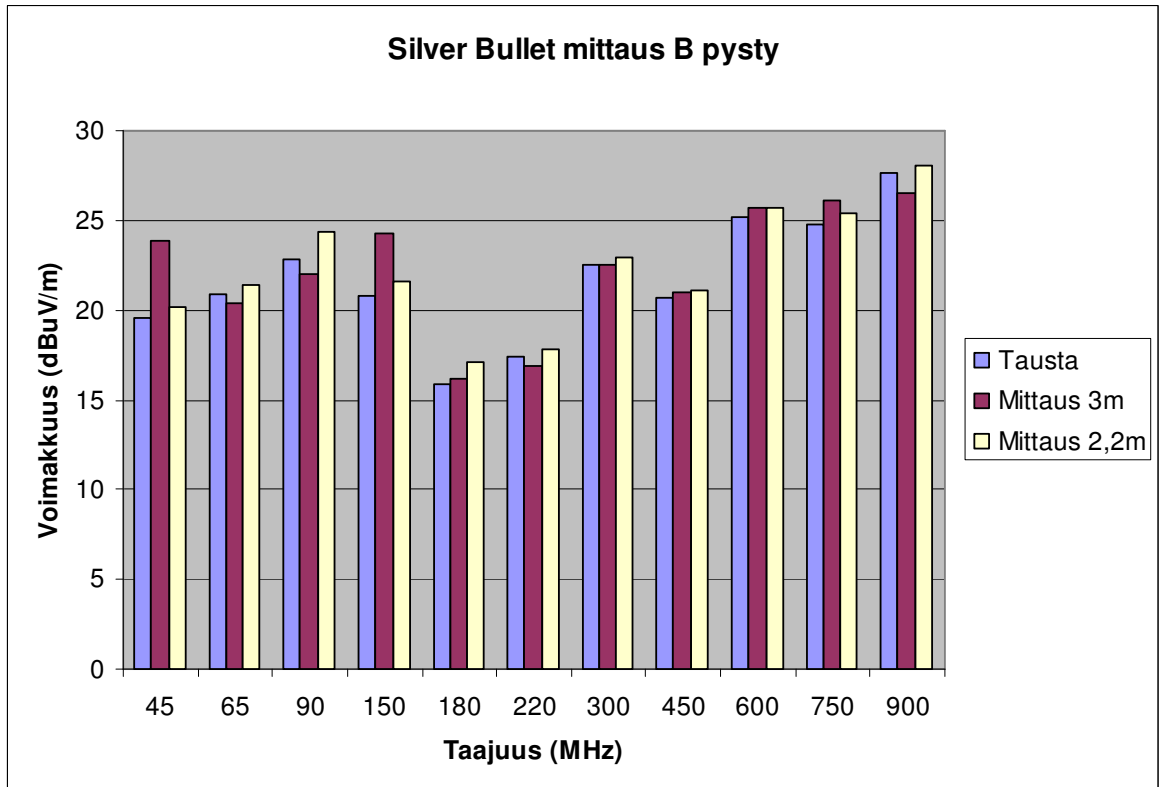
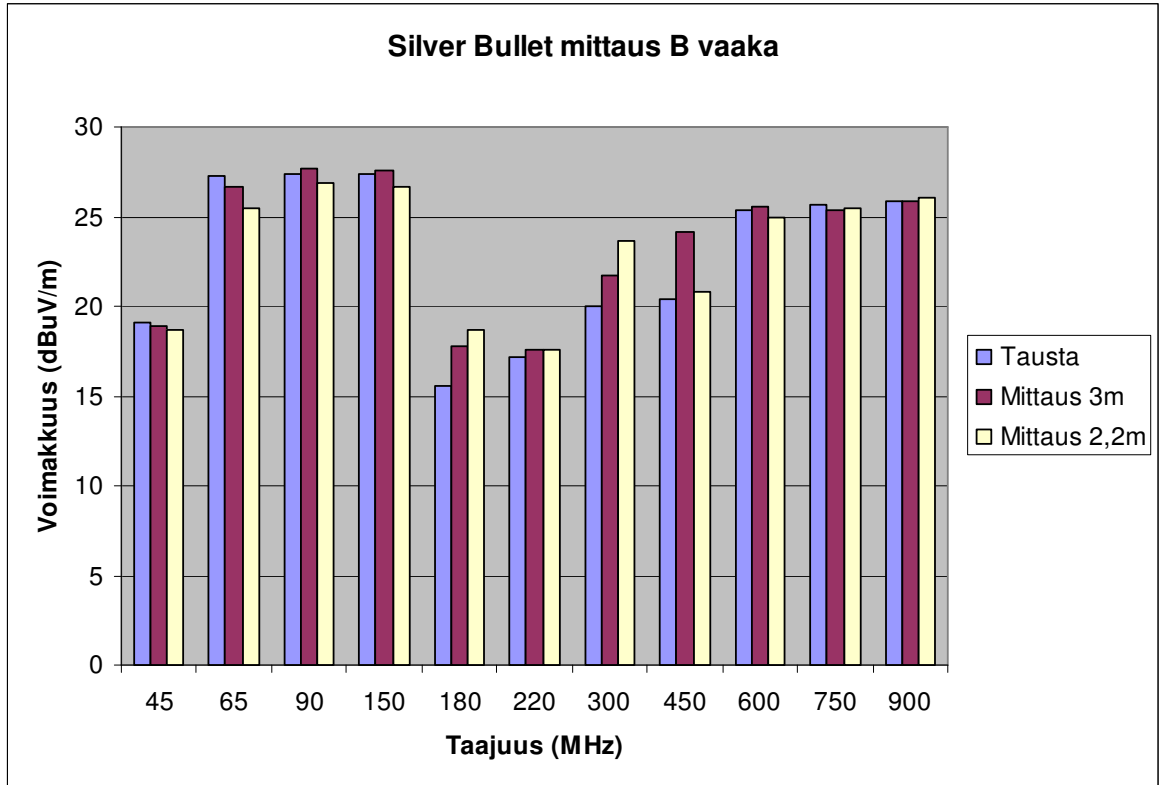
Keväällä 2007 tämän insinööriyön kirjoittamisvaiheessa ei ollut vielä tietoa pyörien tyyppihyväksynnän onnistumisesta näiden mittaustulosten pohjalta.

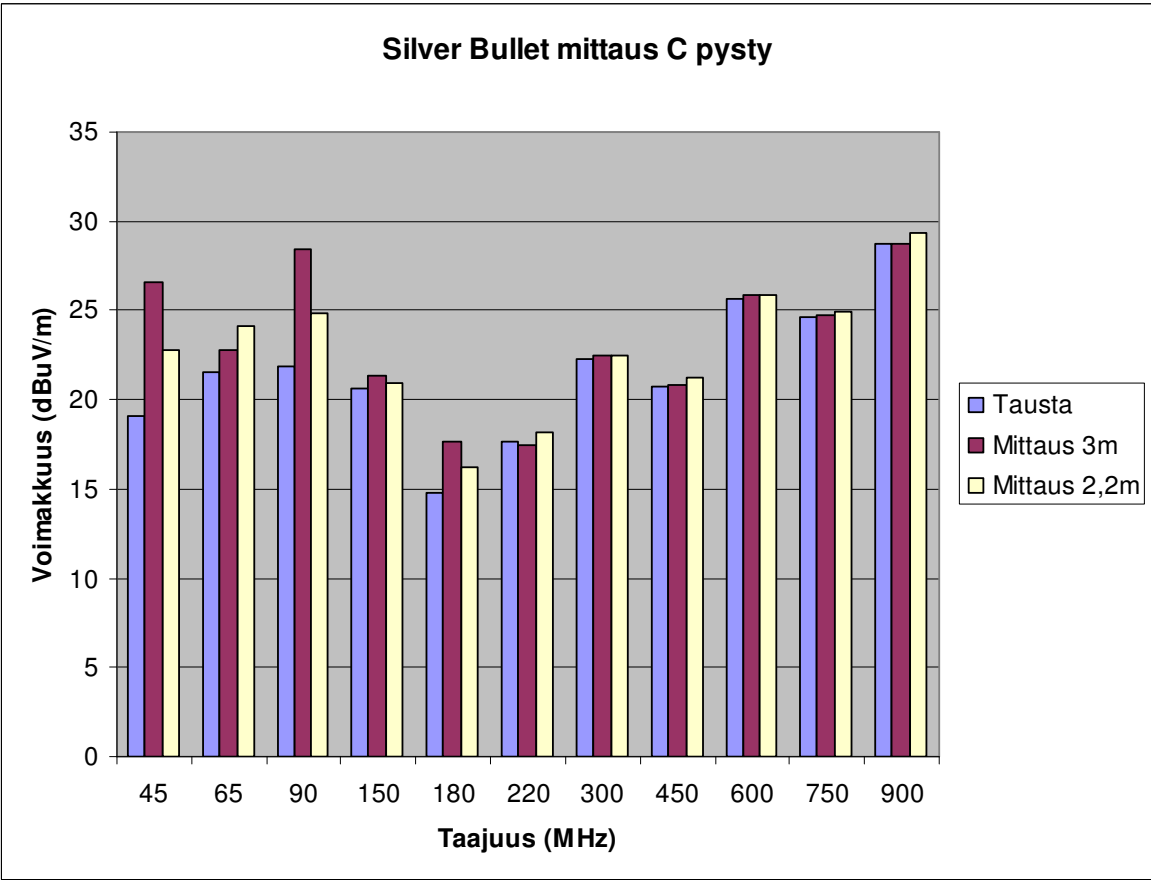
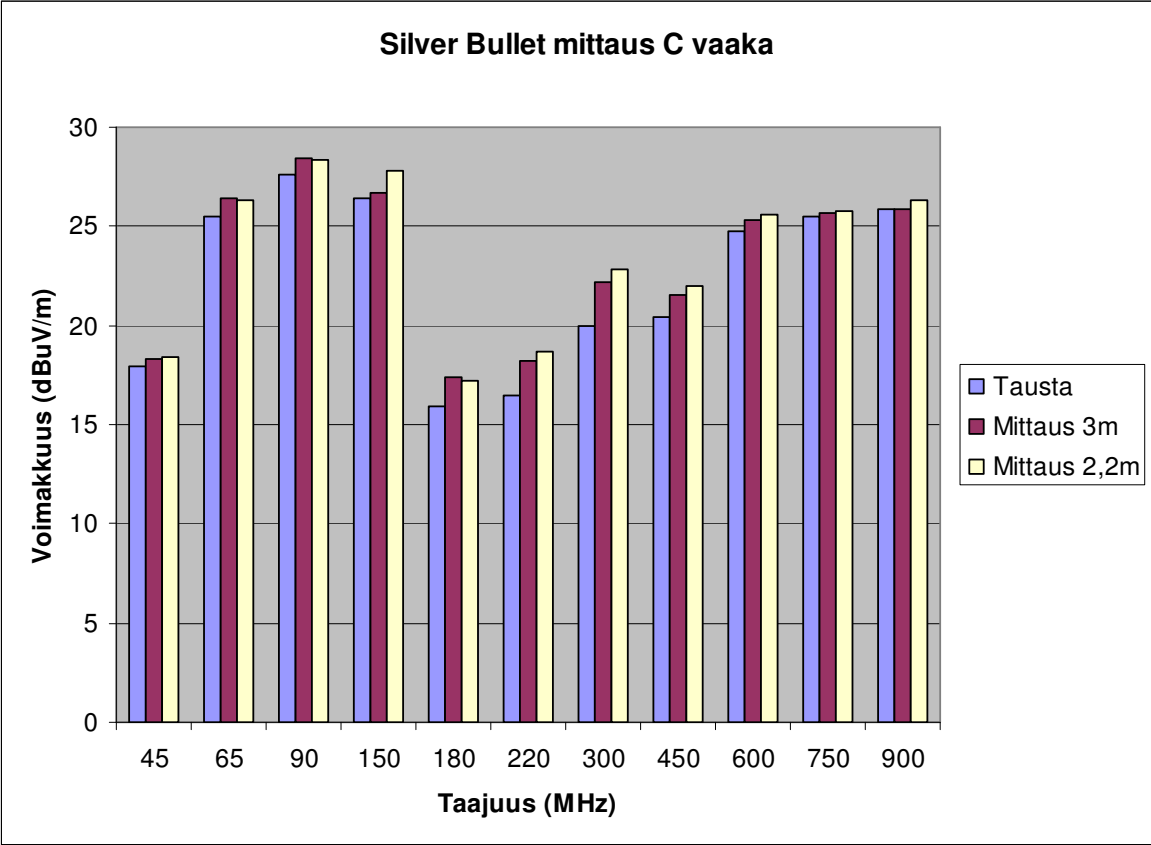
VIITELUETTELO

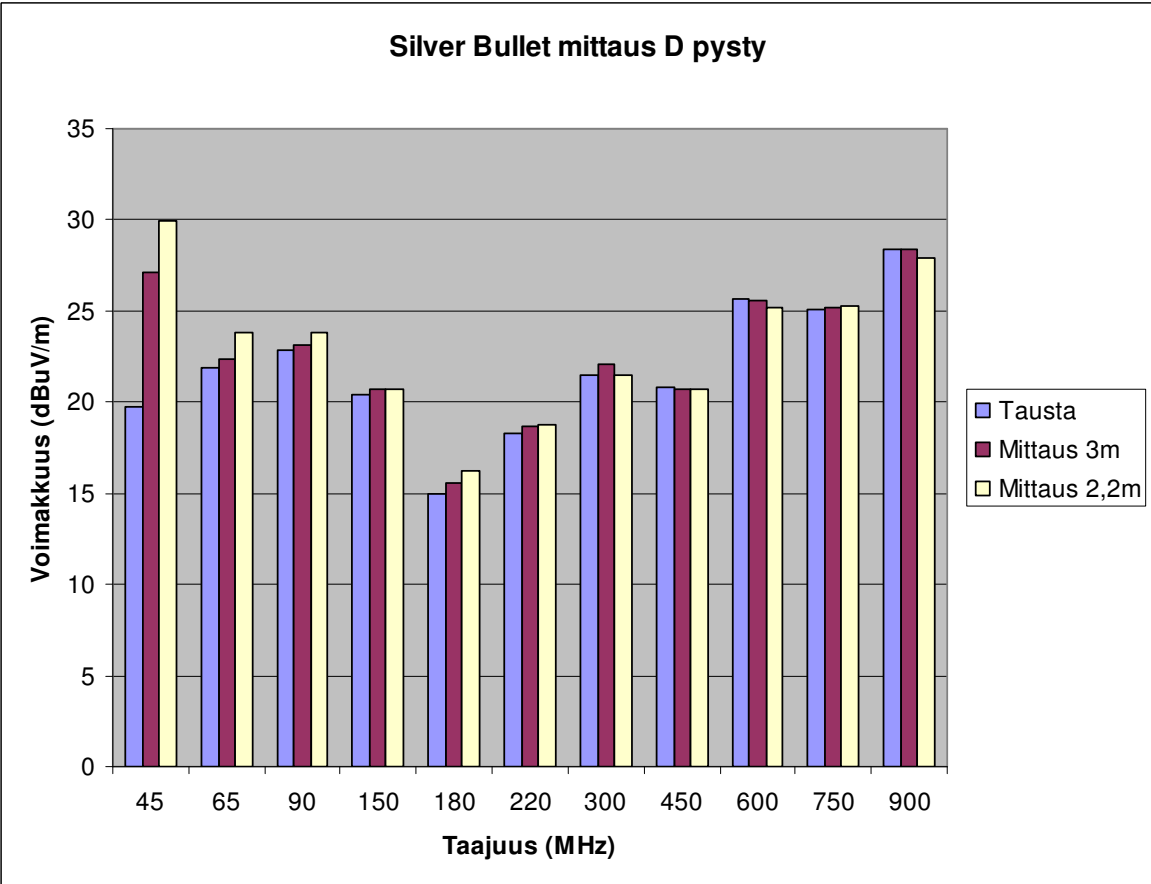
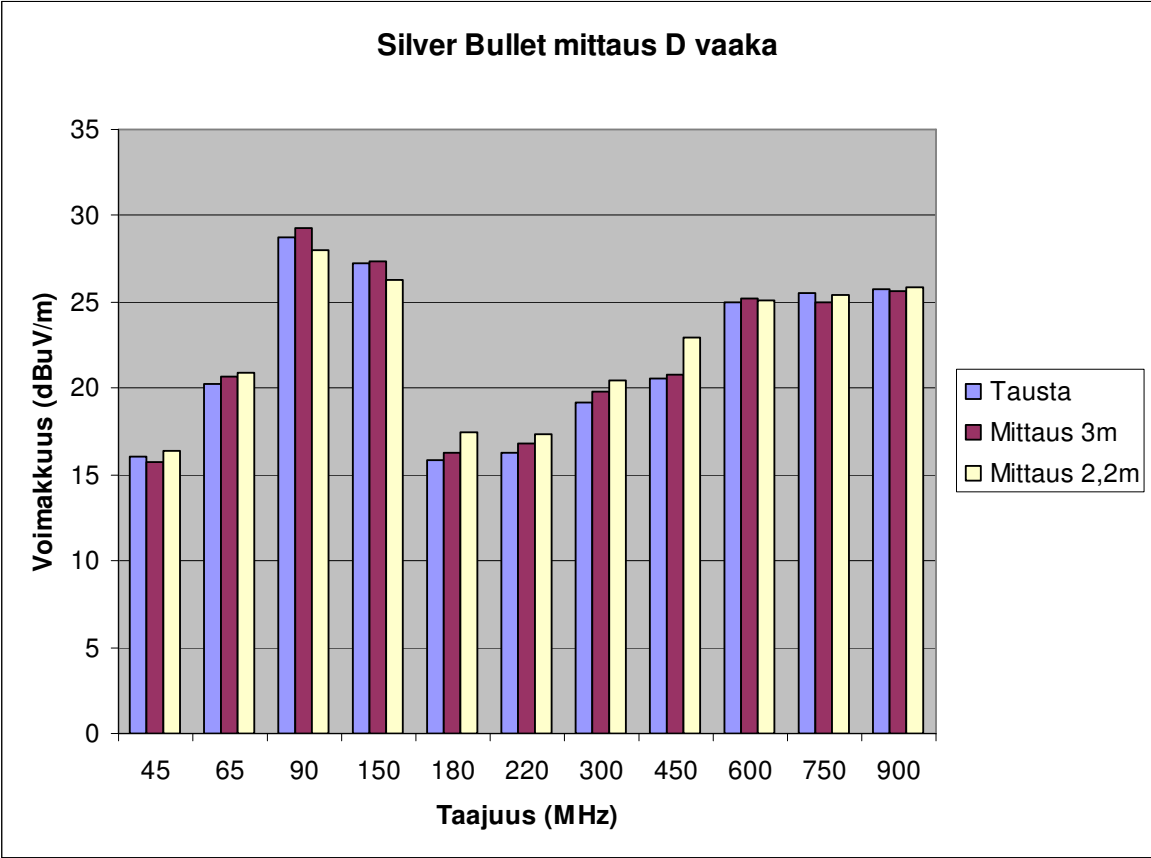
- [1] Neuvoston ja Euroopan parlamentin direktiivi 97/24/EY. 1997.
- [2] Häkkinen, Esa, ym., *Häiriökysymykset*. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Mittaustekniikan laboratorio. Espoo. 1999.
- [3] Stirrkinen, Panu, *EMC-direktiivin mukainen säteilevien häiriölaitteiden mittaustekniikka mikrotietokonepohjaiselle kaukokäyttölaitteelle*. Insinööriyö. Helsingin Ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Helsinki 1996.
- [4] Mäkelä, Mikko ym., *Tekniikan Kaavasto*. Tampere: Tammertekniikka. 2002.
- [5] Peltola, Pekka, *Sähköisten häiriöiden kytkeytymistavat - 01 sähköhäiriöiden kytkeytymistavat v3.pdf*. Helsinki: Helsingin Ammattikorkeakoulu. Julkaisujankkohta tuntematon. [verkkodokumentti, viitattu 1.1.2007]. Saatavissa: Helsingin Ammattikorkeakoulun intranet.
- [6] Keskustelut yliopettaja Esa Häkkisen kanssa aikavälillä 1.10.2006 - 4.4.2007
- [7] Rohde & Schwarz, *Operating Manual EMI TEST RECEIVER 9 kHz to 2750 MHz ESCS 30*. Test and Measurement Division. Saksa.
- [8] Williams, Tim, *EMC for product designers : meeting the european EMC directive*. 2. painos. Iso Britannia : Reed International and Professional Publishing Ltd. 1996.
- [9] Tammi, Kari, ym. *Moottorialan sähköoppi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 2005.

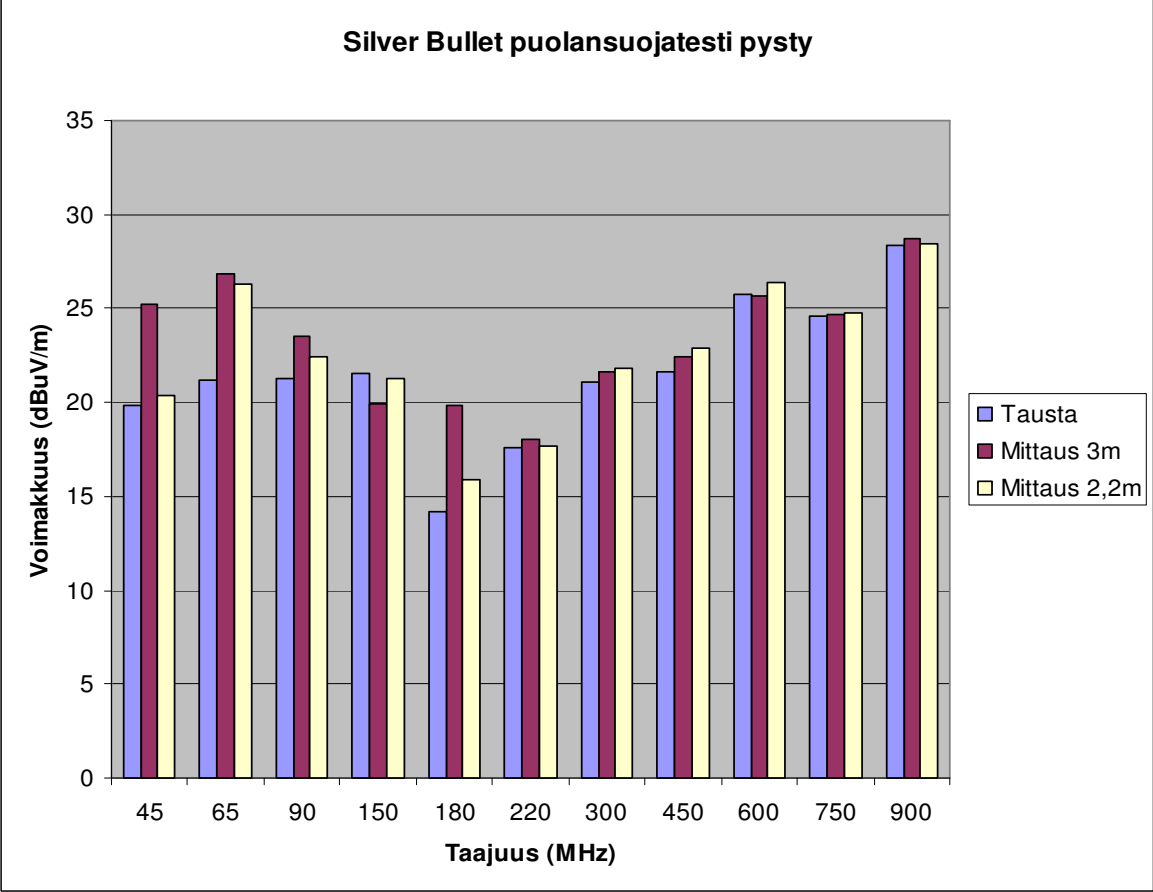
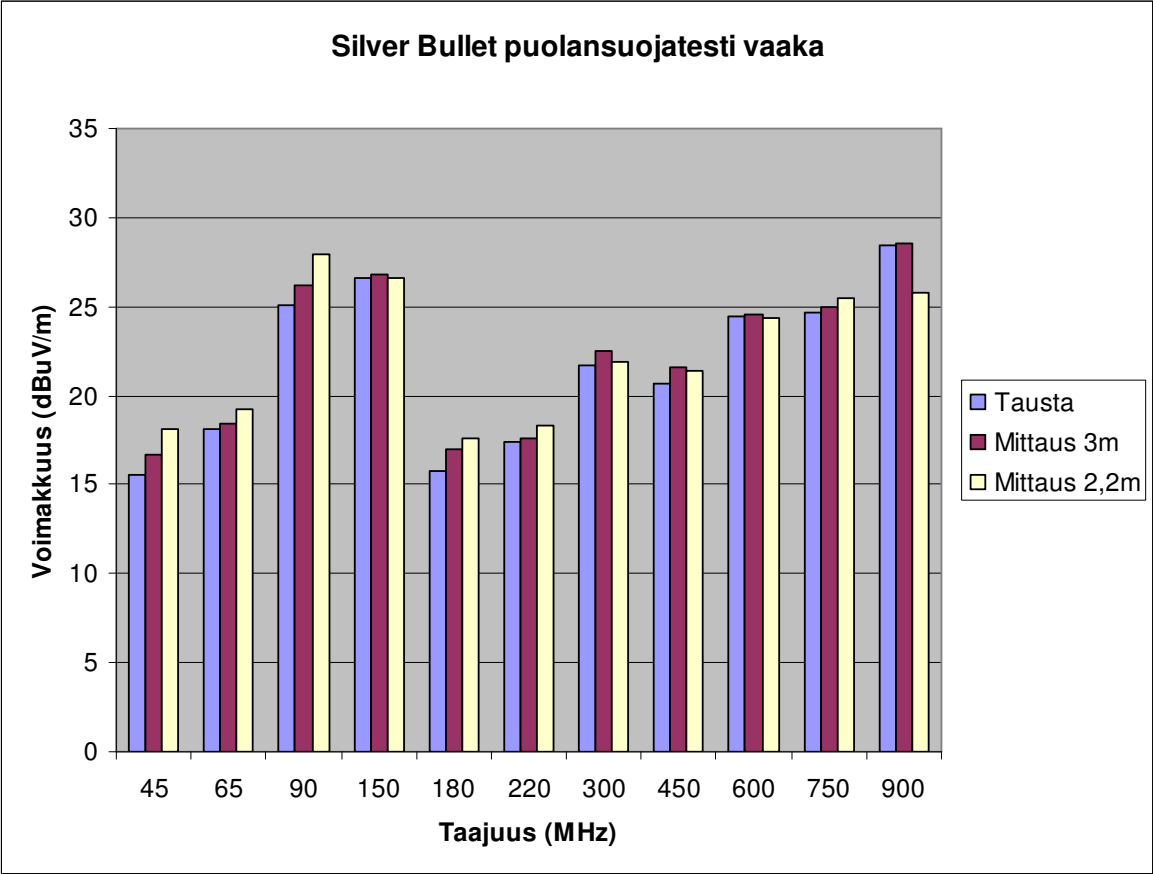
MITTAUSTULOKSET

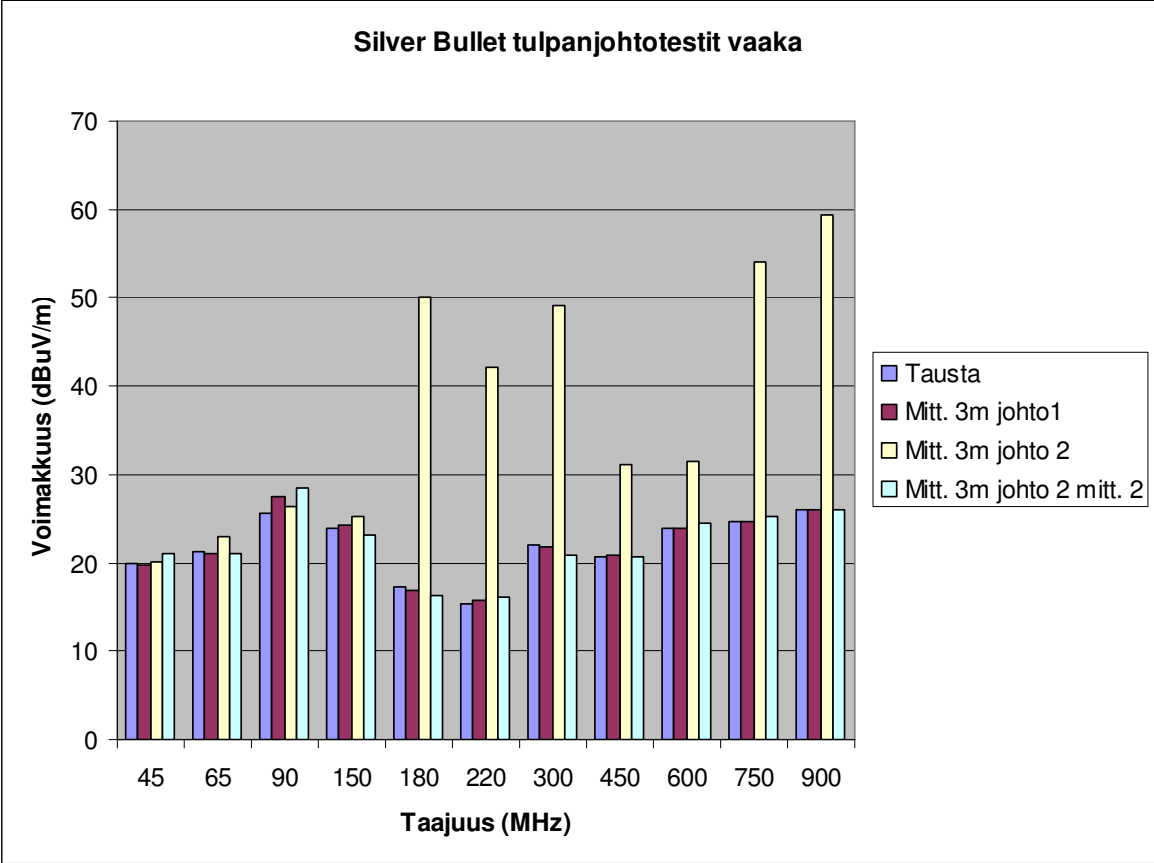


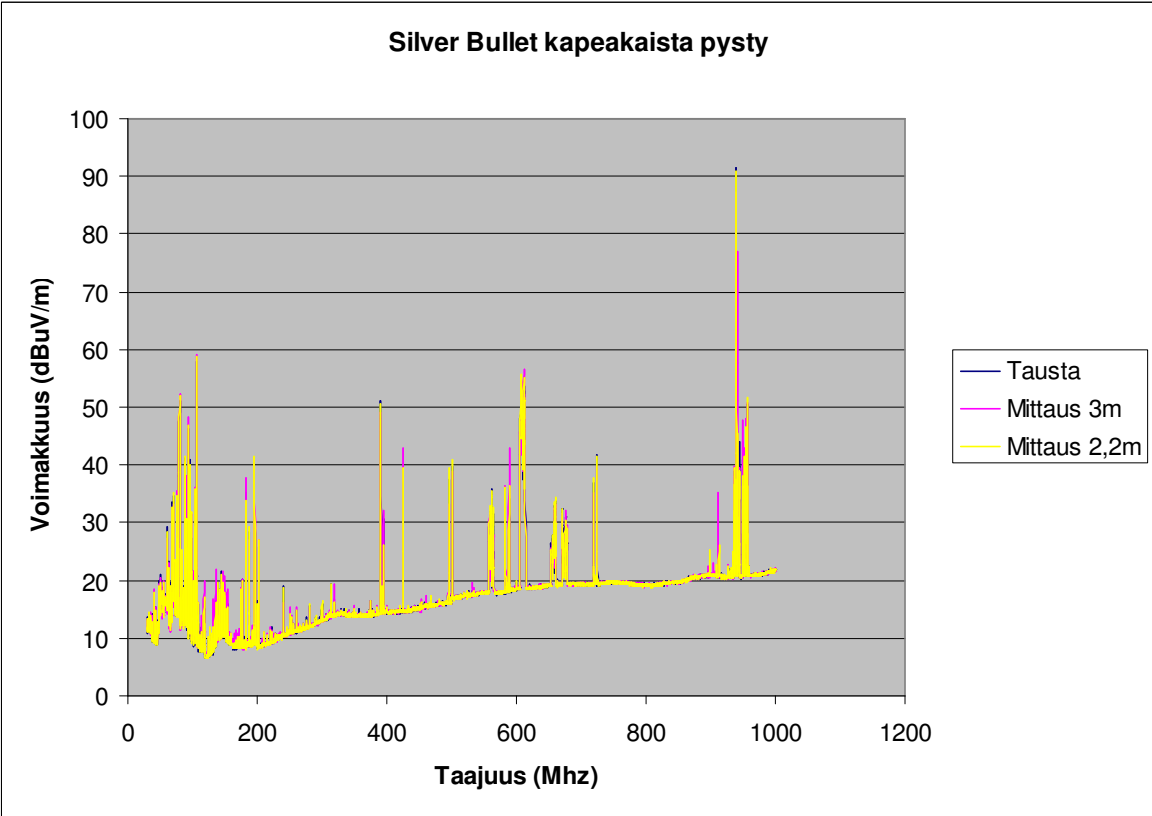
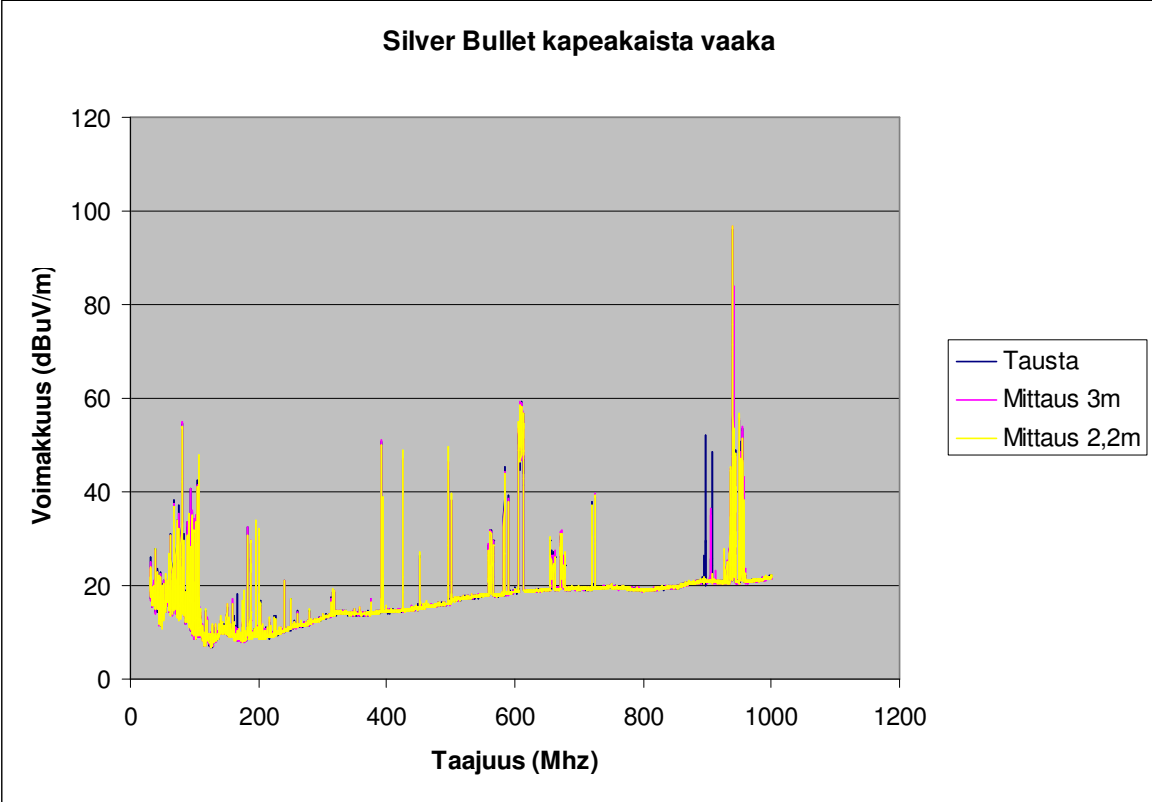


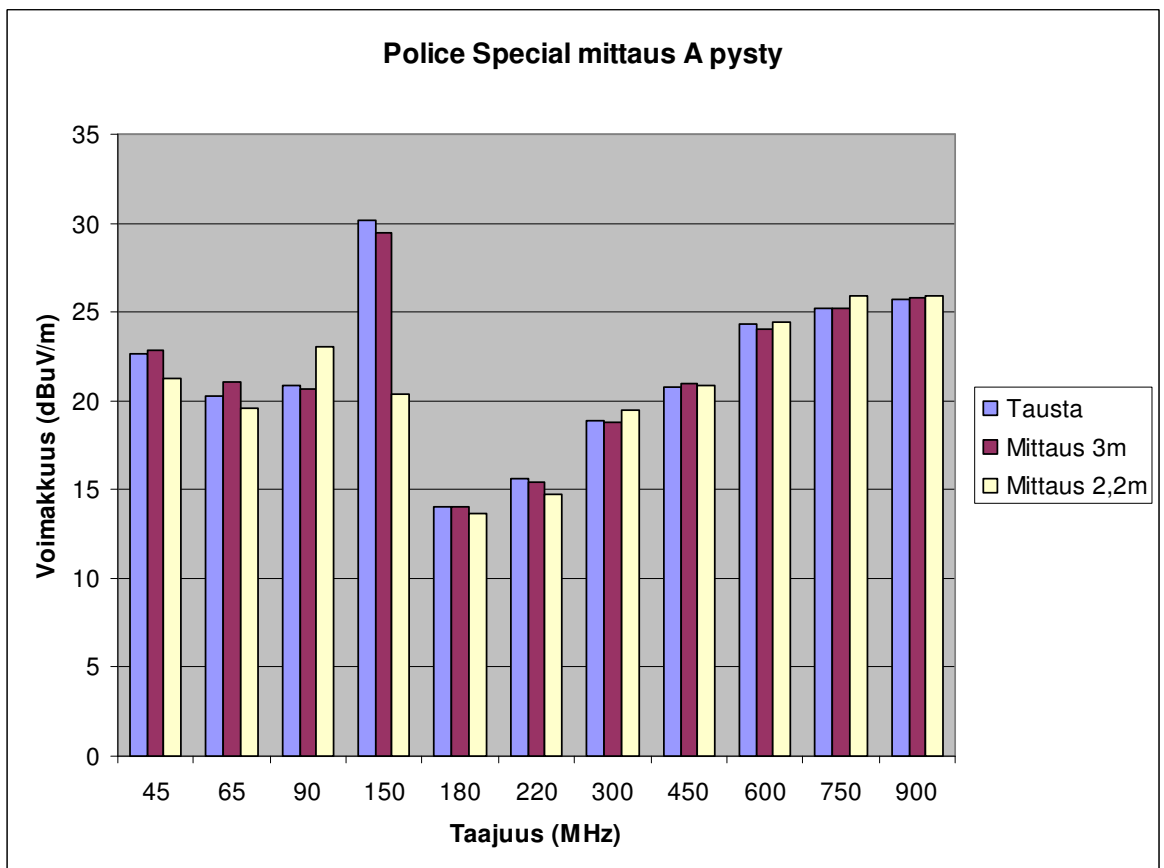
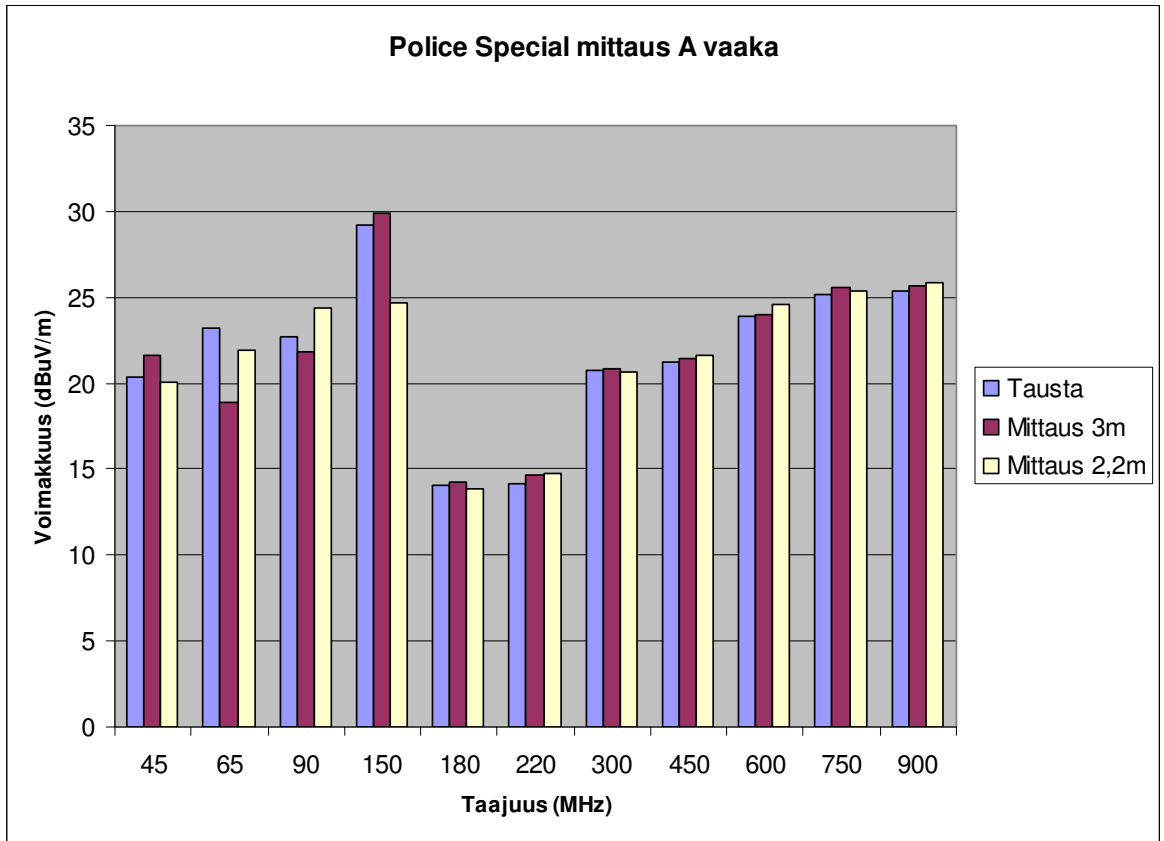


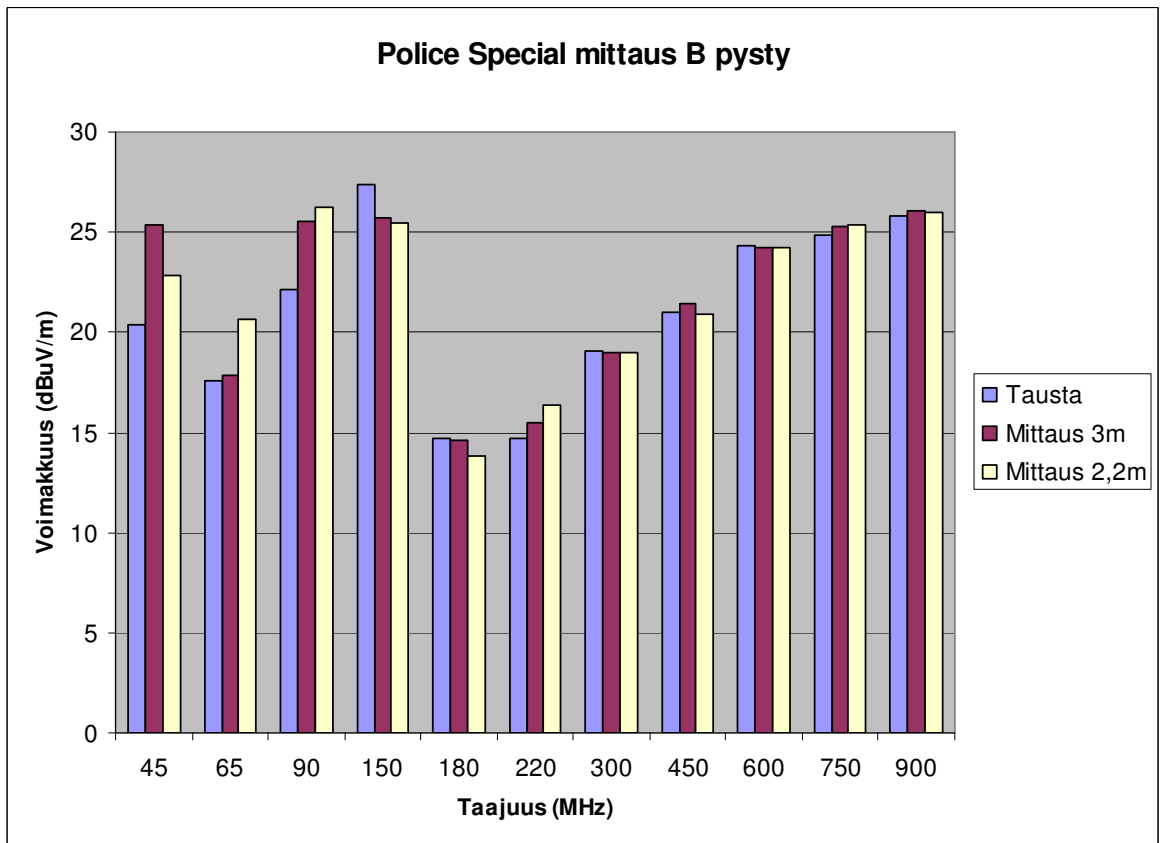
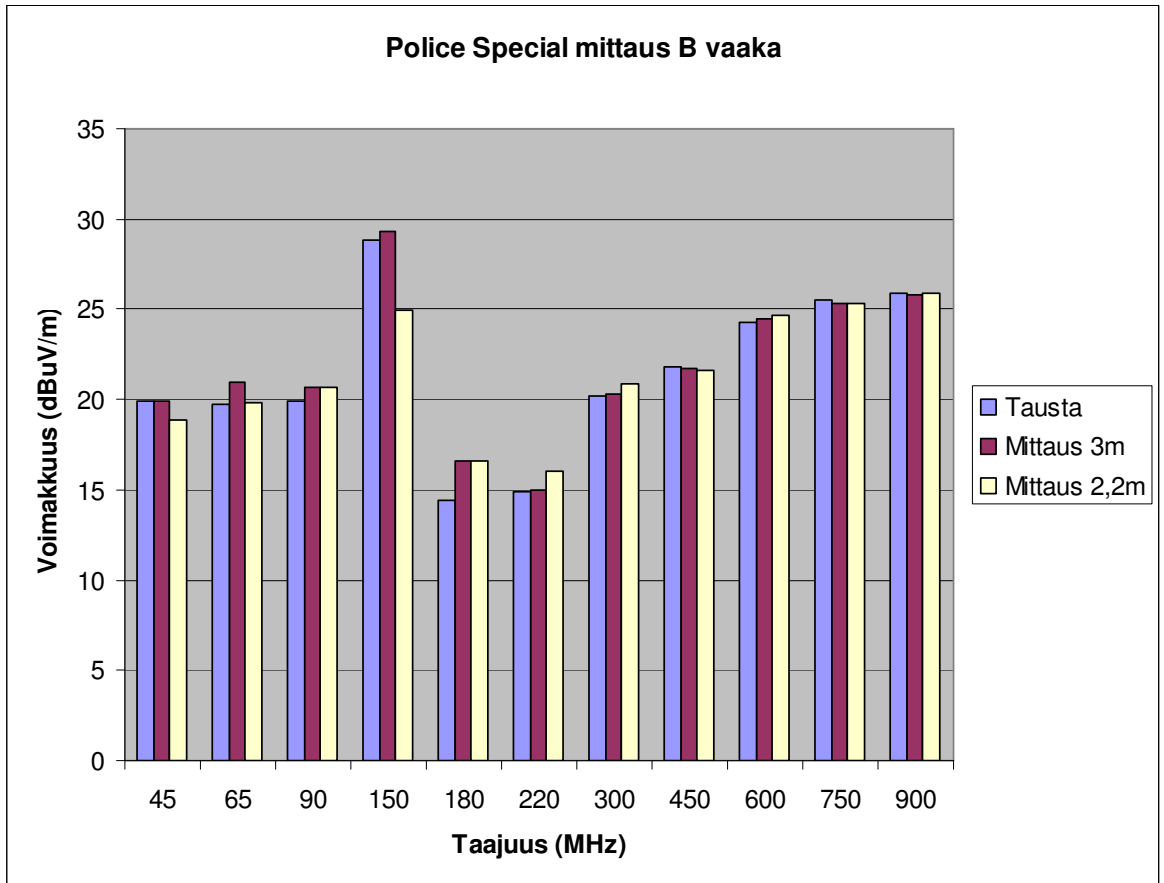


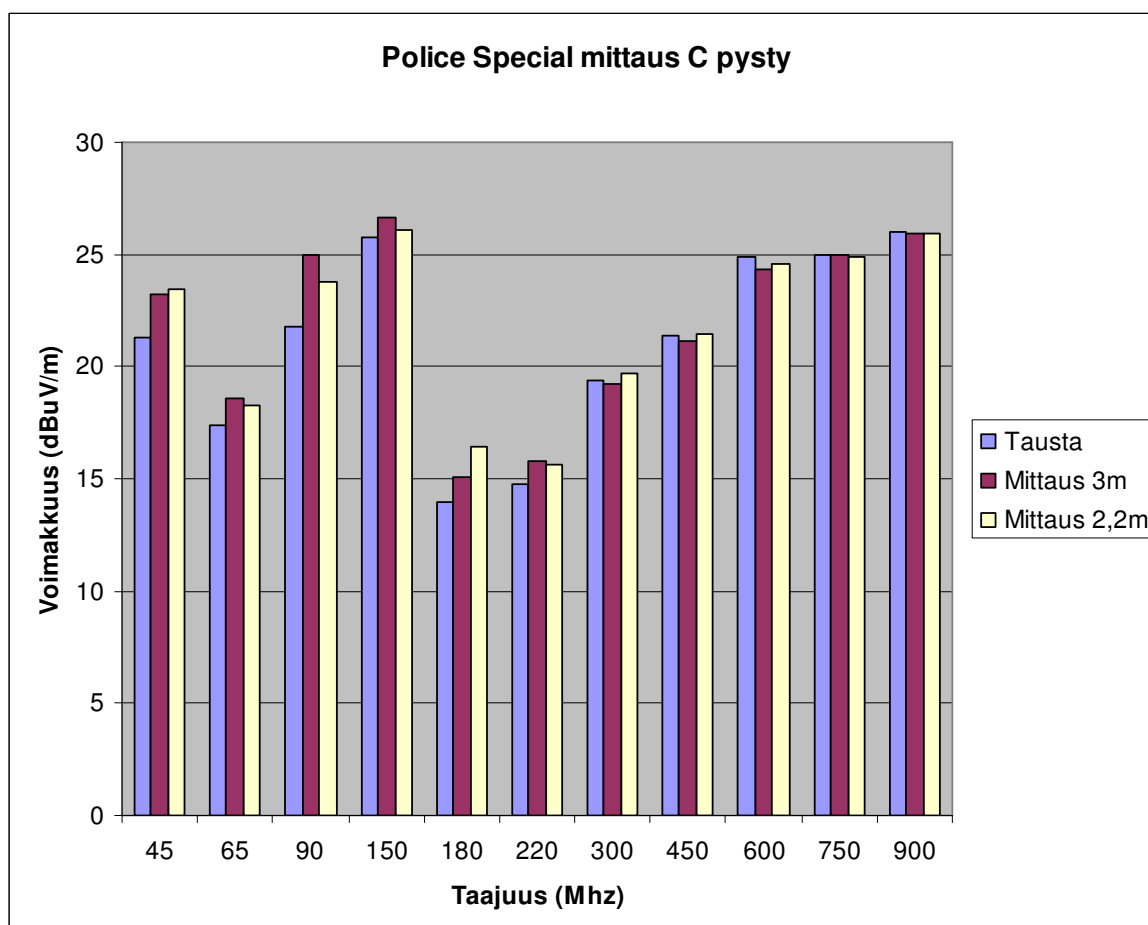
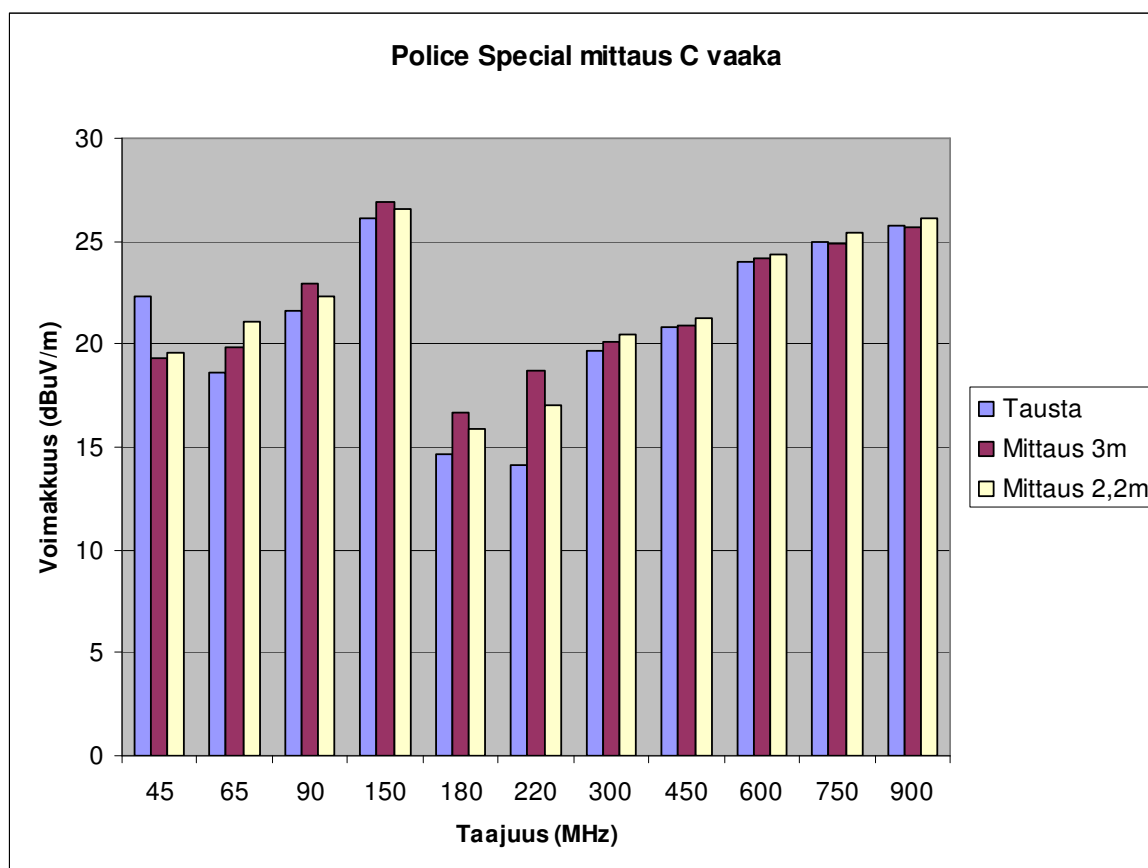


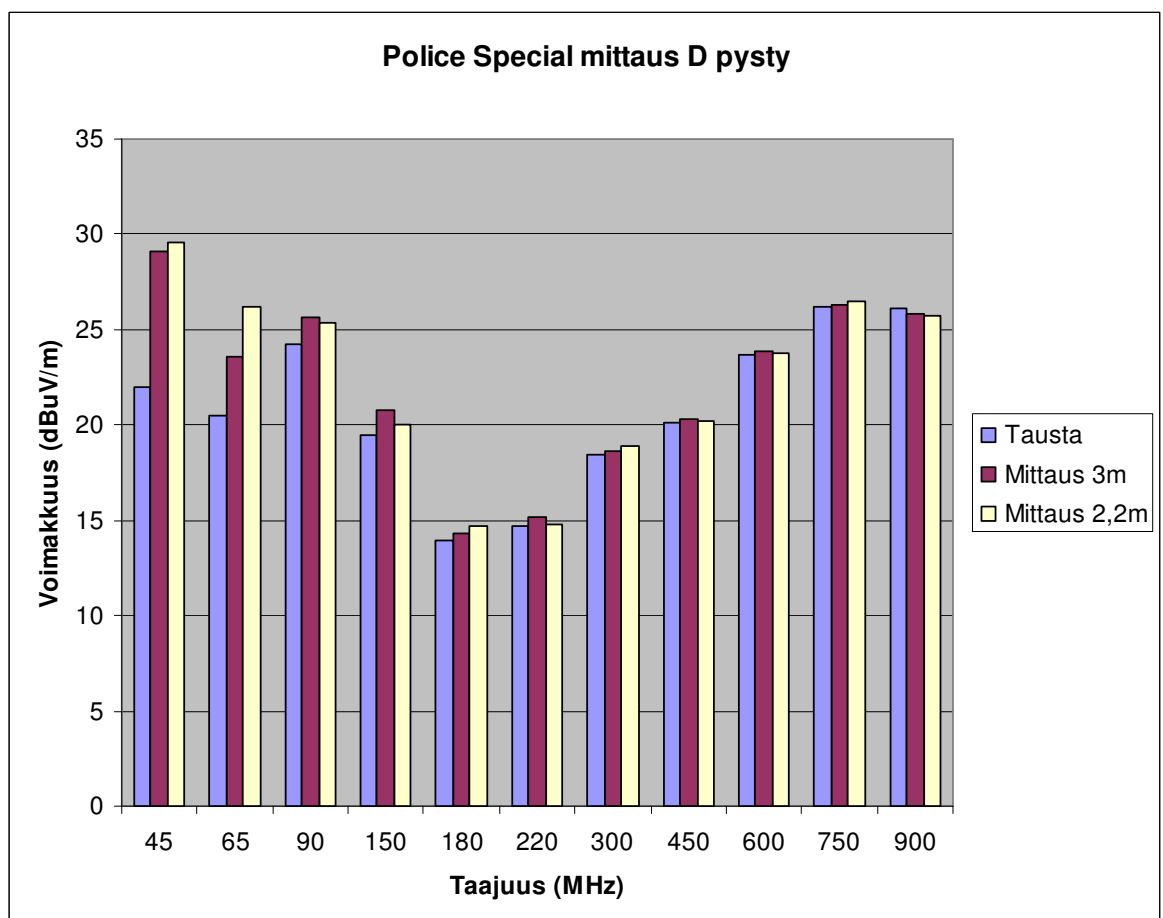
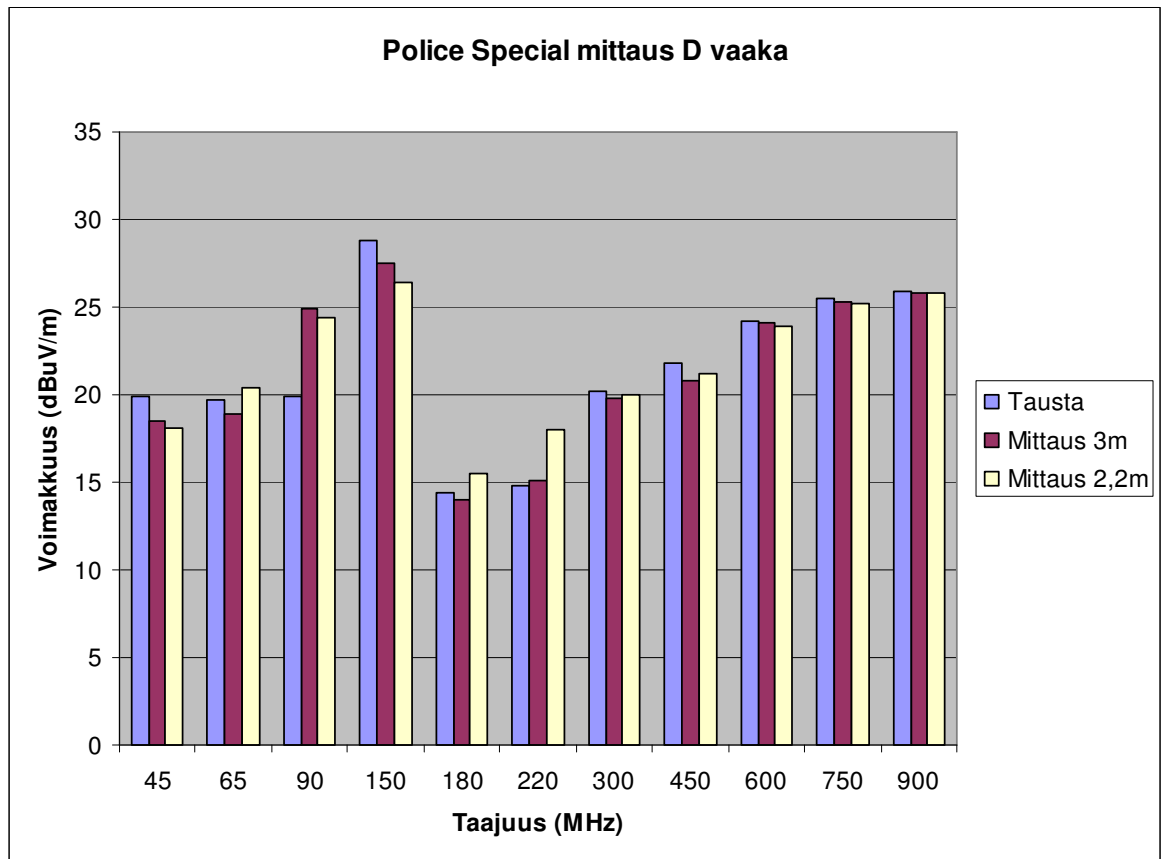


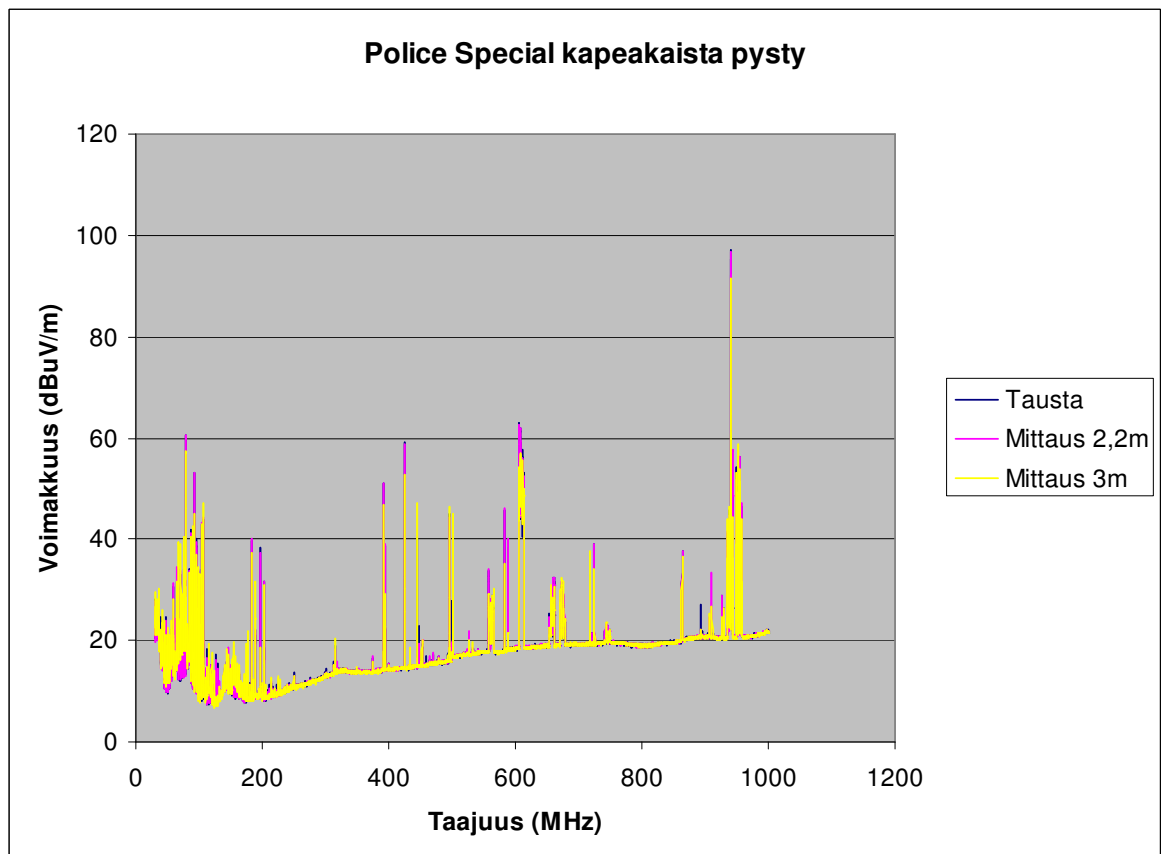
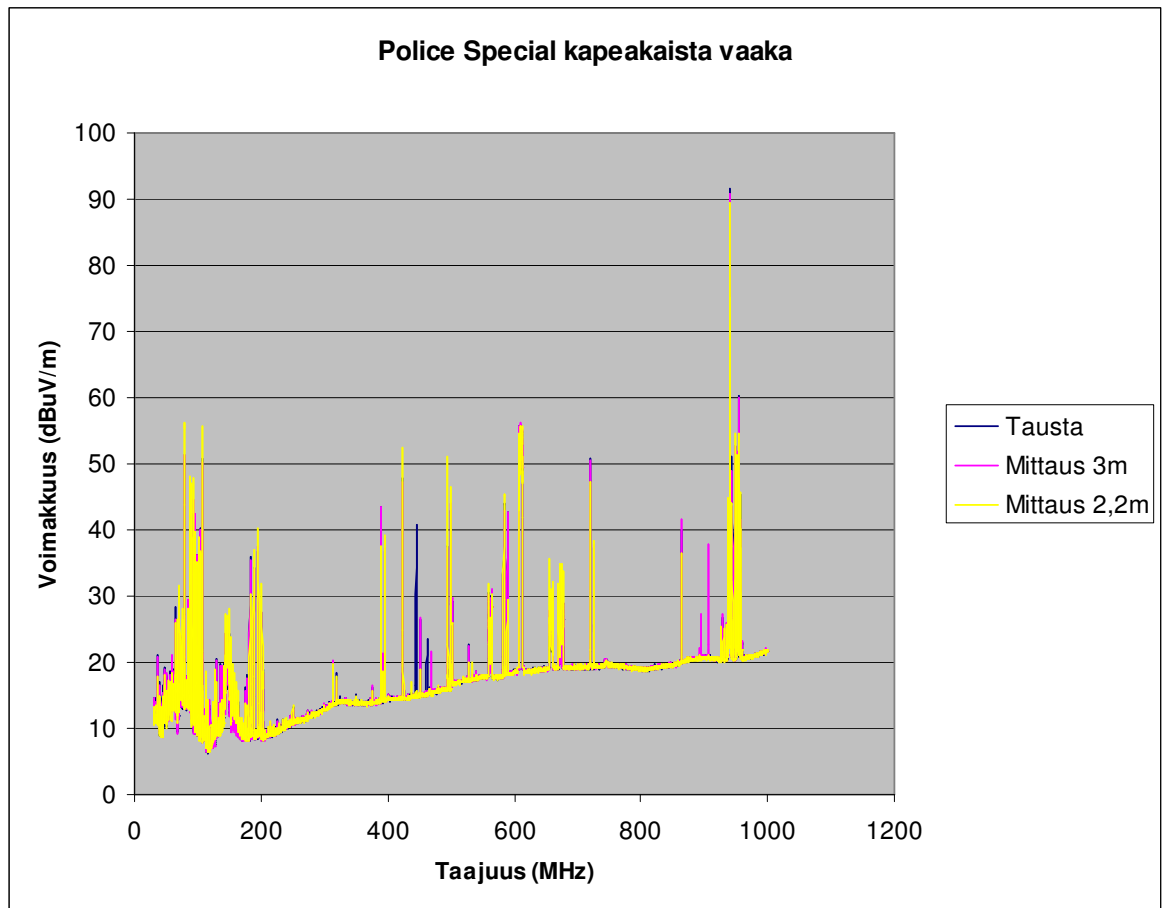




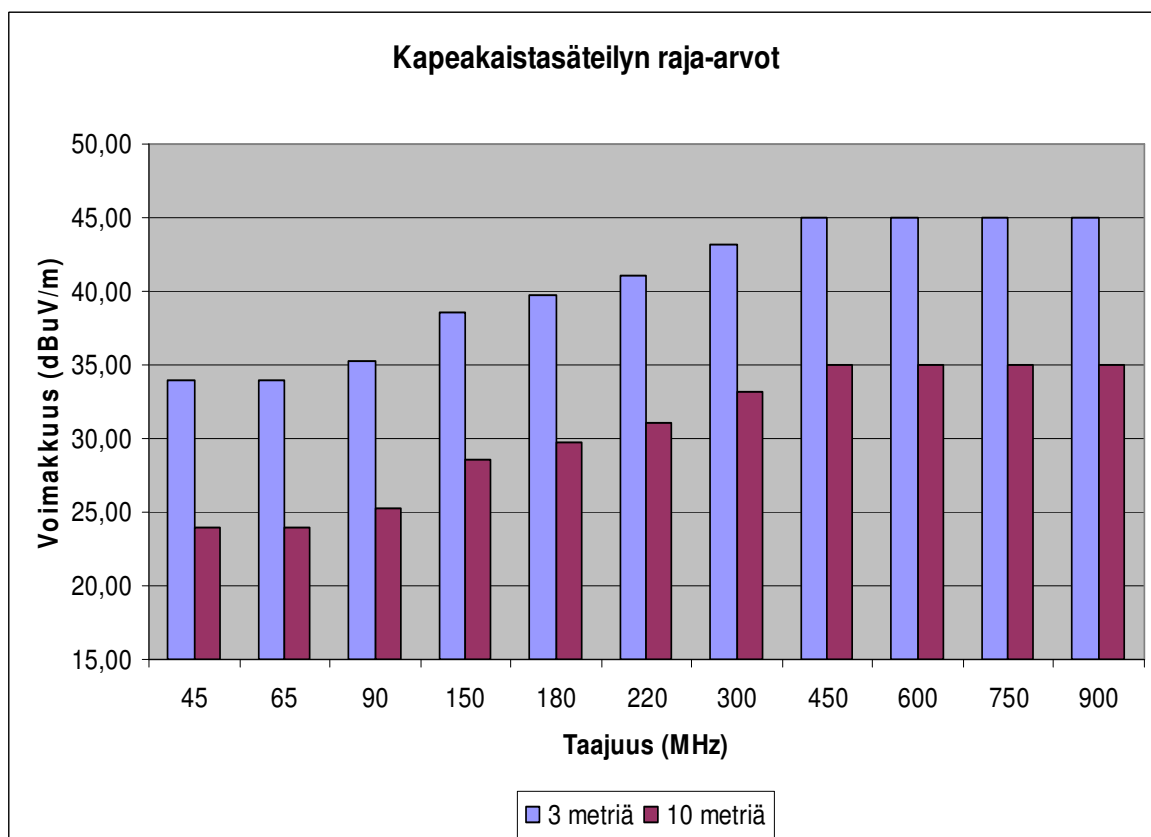
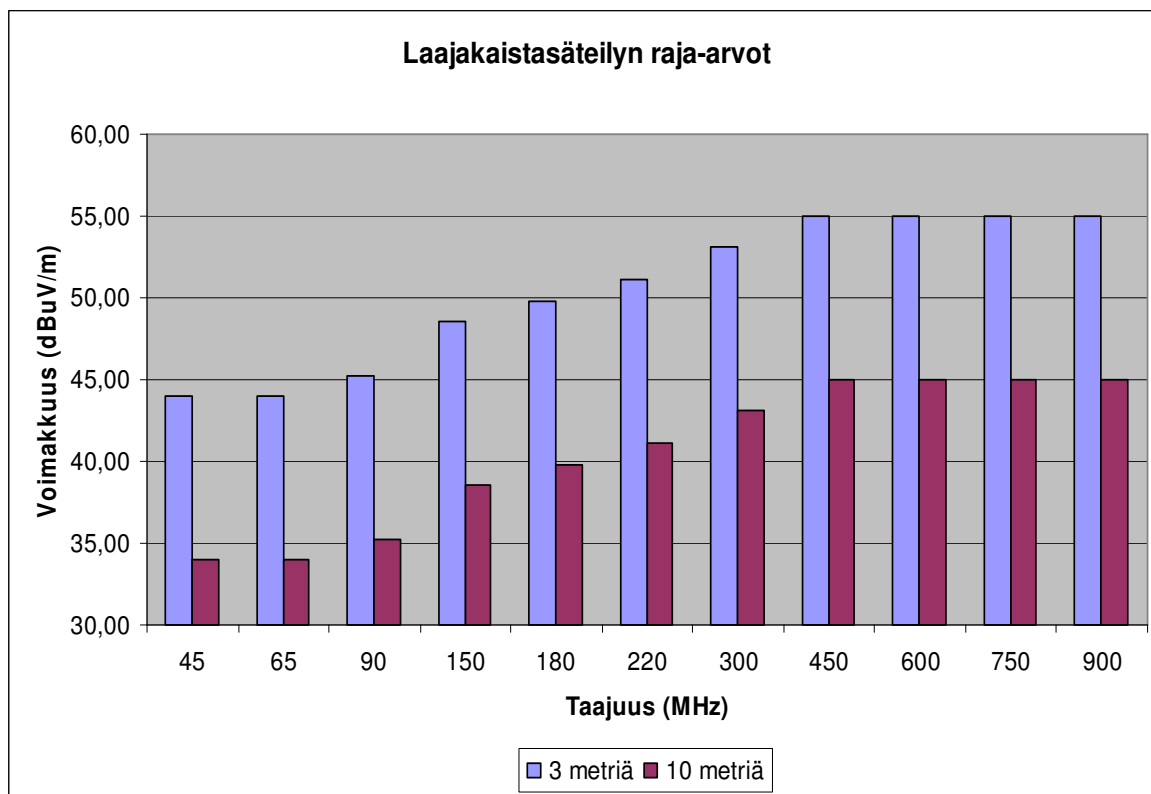








RAJA – ARVOT



KYTKENTÄKAAVIOT

