



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

EMC-vaatimusten huomioiminen liikkuvan työko- neen sähköjärjestelmän suunnittelussa

Mika Maijala

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

MAIJALA MIKA:

EMC-vaatimusten huomioiminen liikkuvan työkoneen sähköjärjestelmän suunnittelussa

Opinnäytetyö 29 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2016

Opinnäytetyö tehtiin John Deere Forestry Oy:lle. Työn tarkoituksena oli perehtyä sähkömagneettisten kenttien ja säteilyn aiheuttamiin ongelmiin liikkuvassa työkoneessa sekä luoda John Deere Forestry Oy:n käyttöön johdatusohje, jonka avulla sähkömagneettisten häiriöiden kulkeutuminen eri laitekokonaisuuksien välillä saataisiin minimoitua.

Työssä perehdyttiin sähkömagnetismin teoriaan, sekä tutkittiin sähkömagneettisten ilmiöiden vaikutusta ympäröiviin laitteisiin ja keinoja suojata laitteita sähkömagneettisilta häiriöiltä. Olennainen osa työtä oli myös EMC-mittalaitteeseen tutustuminen ja sen käytön opettelu.

Työn lopputuloksena syntynyt johdatusohje sekä ymmärrys EMC:stä ilmiönä ovat avuksi tulevaisuudessa liikkuvan työkoneen sähköisessä suunnittelussa. Tämän opinnäytetyön myötä kertynyt tietotaito saadaan säilymään yrityksessä, ja se luo pohjaa tuleville aiheeseen liittyville projekteille ja tutkimuksille aiheen ympärillä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

MAIJALA MIKA:

Observing the EMC Requirements on Engineering of Electrical Systems of Agricultural and Forestry Machinery

Bachelor's thesis 29 pages, appendices 0 pages
May 2016

The purpose of this thesis was to get acquainted with electromagnetic fields and problems of electromagnetic radiation on agricultural and forestry machinery. The thesis was conducted for John Deere Forestry Oy by producing a wiring guideline.

The aims were to get acquainted with the theory of electromagnetism and investigate the impact of electromagnetics on surrounding machines and techniques to shield from electromagnetic radiation. The essential part of the thesis was to explore EMC-measuring equipment and training to use it.

The result of the thesis is a wiring guideline and comprehension about electromagnetism. Owing to this thesis and wiring guideline the knowledge about electromagnetism would stay into John Deere Forestry and create a basis to upcoming projects and study about electromagnetism.

Key words: EMC, John Deere Forestry, JDF, electromagnetic compatibility

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SÄHKÖMAGNETISMIN TEORIAA	7
	2.1 Sähkökenttä.....	7
	2.2 Magneettikenttä	9
	2.3 Sähkömagneettinen aalto	12
3	SÄHKÖMAGNEETTINEN KYTKEYTYMINEN.....	13
	3.1 Johtuminen.....	13
	3.2 Kapasitiivinen kytketyminen	14
	3.3 Induktiivinen kytketyminen	15
	3.4 Säteileminen.....	16
	3.5 Sähkömagneettisen säteilyn vaikutuksia	16
4	VIRANOMAISVAATIMUKSET.....	17
	4.1 Yleisiä vaatimuksia.....	18
	4.2 Vaatimuksia liikkuville työkoneille.....	18
	4.3 CE -hyväksyntä.....	19
5	MITTAAMINEN	20
	5.1 Aaronia Spectran HF10600 lähi- ja kaukokenttä-analysointilaite	21
	5.2 Kaukokenttämittaukset koulun laboratoriossa.....	23
	5.3 Mittaukset lähikenttä-analysointilaite.....	27
6	POHDINTA.....	28
	LÄHTEET.....	29

LYHENTEET JA TERMIT

EMC	Electromagnetic compatibility (suom. sähkömagneettinen yhteensopivuus) tarkoittaa laitteen kykyä toimia häiritsemättä, tai olla itse häiriintymättä, ympärillä olevista laitteista
EMI	Electromagnetic interference (suom. sähkömagneettinen häiriö) on tilanne, jossa laitteen sähkömagneettiset kentät aiheuttavat häiriötä jollekin toiselle laitteelle
Kapasitiivinen kytkeytyminen	Kytkeytyminen sähkökentän avulla
Induktiivinen kytkeytyminen	Kytkeytyminen magneettikentän avulla
Sähkömagneettinen kytkeytyminen	Kytkeytymiseen vaikuttavat molemmat kentät
Emissio	Laitteen tai komponentin häiritsevyys
Immuneetti	Laitteen tai komponentin häiriökestoisuus
CFR	Code of Federal Regulations (suom. Liittovaltion säännöstö) on Yhdysvaltojen käyttämä standardikirjasto. Vastaa eurooppalaista EN-standardikirjastoa
IEC	International Electrotechnical Commission on kansainvälinen sähköalan standardoimisjärjestö
ISO	International Organization for Standardization on kansainvälinen standardoimisjärjestö.
EN	Eurooppalaisen CEN:n tai sähköalalla CENELEC:n hyväksymä standardi
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques on kansainvälinen IEC:n alainen radiohäiriöihin keskittynyt komitea
JDF	John Deere Forestry Oy

1 JOHDANTO

Sähkölaitteiden lisääntyminen ympärillämme on aiheuttanut myös niihin liittyvien haitallisten lieveilmiöiden lisääntymisen. Emme normaalissa arkielämässä tule ajatelleeksi, kuinka paljon käsittelemme erilaisia sähkömagneettisesti säteileviä laitteita. Esimerkiksi elektroniikassa hyvin yleisiä suuritaajuisia hakkuriteholähteitä on nykyään lähes kaikissa kodin elektroniikkalaitteissa. Nämä aiheuttavat häiriöitä paitsi toisten sähkölaitteiden toimintaan, myös radioliikenteeseen ja pahimmillaan jopa ihmiselle.

Tässä työssä tutkitaan millaisilla ratkaisuilla voi parantaa liikkuvan työkoneen johtosarjojen EMC-suojauksia. Ensin tutustutaan sähkömagneettiseen säteilyyn ilmiönä, jonka jälkeen tutkitaan, millaisia ongelmia se voi aiheuttaa työkoneessa, sekä sen ympäristössä. Tämän jälkeen mietitään, mitä työkaluja säteilyä vastaan on käytettävissä.

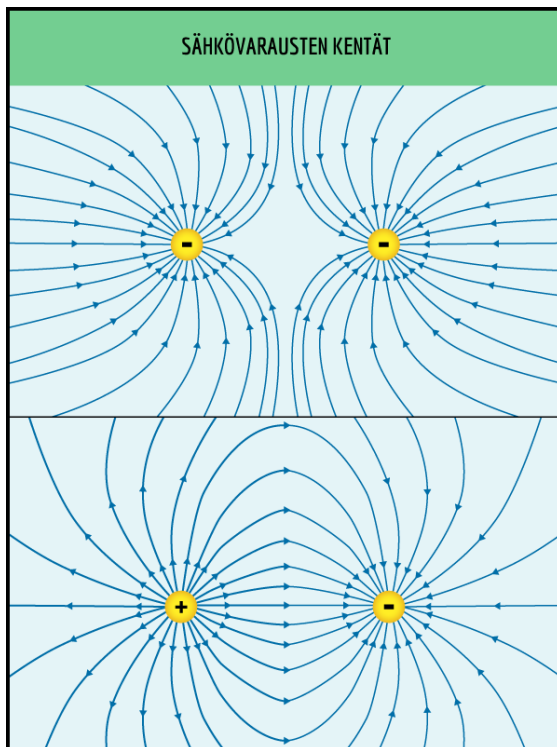
Työssä keskitytään eräiden testinäyttöjen, sekä niiden johdotuksen tutkimiseen. Osassa näytöistä oli havaittu kohonneita sähkömagneettisia säteilyarvoja, joten niiden aiheuttajaan haluttiin perehtyä tarkemmin.

2 SÄHKÖMAGNETISMIN TEORIAA

Sähkömagnetismi on Maxwellin yhtälöiden ympärille rakentuva teoria, johon pohjautuu koko sähkötekniikka. Sähkömagneettisen energian kaksi ilmenemismuotoa ovat sähkökenttä ja magneettikenttä, joiden yhteisvaikutuksesta muodostuu energiaa välittävä sähkömagneettinen aalto (Heikkinen, P. 2009). Tässä luvussa pureudumme tarkemmin näiden käsitteiden olemukseen.

2.1 Sähkökenttä

Sähköisesti varautuneen hiukkasen ympärille muodostuu sähkökenttä, joka heikkenee, mitä kauemmaksi hiukkasesta kuljetaan. Kentän voimakkuuteen vaikuttaa myös varauksen voimakkuus, sekä väliaineen materiaalin ominainen permittiivisyys. Sähkökentän voimakkuutta E kuvataan yksiköllä voltia per metri (V/m) tai newtonia per coulombi (N/C). Jälkimmäinen (N/C) on SI-järjestelmän mukainen yksikkö, mutta voltia metrille (V/m) on huomattavasti helpommin ymmärrettävä, joten sen käyttö on varsin yleistä (Inkinen, Manninen, Tuohi. 2002. s.16). Sähkökenttää kuvataan yleisesti kenttäviivoilla, jotka ilmaisevat sähkökentän suunnan positiivisesta negatiiviseen.



KUVA 1. Sähkökentän kenttäviivat saman- sekä erimerkkisillä varauksilla. (<https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkkokauppa/e9k1/3ssjv>)

Sähkökenttää kuvatessa käytetään usein mallia, jossa on kaksi sähköisesti varautunutta hiukkasta. Nämä hiukkaset voivat olla joko positiivisesti tai negatiivisesti varautuneita. Hiukkaset reagoivat toisiinsa niin, että samanmerkkiset hylkivät toisiaan ja erimerkkiset vetävät toisiaan puoleensa. Näiden hiukkasten potentiaalieron avulla voidaan määrittellä sähkökentän voimakkuus. Ensin mitataan kahden hiukkasen välinen potentiaaliero U_{AB}

$$U_{AB} = V_B - V_A = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}, \quad (1.)$$

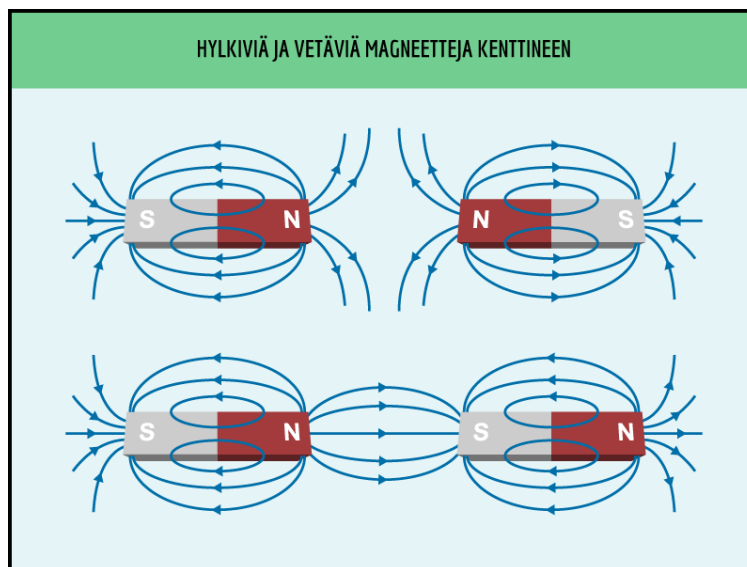
jossa V_A ja V_B ovat hiukkasten sähköiset potentiaalit ja \vec{E} on sähkökentän voimakkuus vektorina $d\vec{l}$ suuntaan (Inkinen, Manninen, Tuohi. 2002. s.40). Sähkökentän voi esittää myös tasopotentiaalimallina, silloin kun varautunut pinta on tasaisesti varautunut levy, tai viivamainen kappale, kuten sähköjohto. Tällöin integrointia ei tarvita ja laskukaavan voi yksinkertaistaa muotoon

$$E = \frac{V_A - V_B}{d} \quad (2.)$$

(Inkinen, Manninen, Tuohi. 2002. s.43).

2.2 Magneettikenttä

Liikkuva varaus synnyttää aina ympärilleen magneettikentän. Kun sähköisesti varautunut hiukkanen kulkee sähköjohteessa, muodostuu sen ympärille magneettikenttä. Tämä varattujen hiukkasten liike aiheuttaa sähkövirran, joka määritellään siirtyvänä varauksena aikayksikköä kohden. Magneettikenttää kuvataan vuoviivoilla, jotka muodostavat aina suljettuja silmukoita. Silmukan suunta on määritelty siten, että se lähtee magneettikentän pohjoisnavasta ja palaa takaisin magneettikentän etelänapaan.

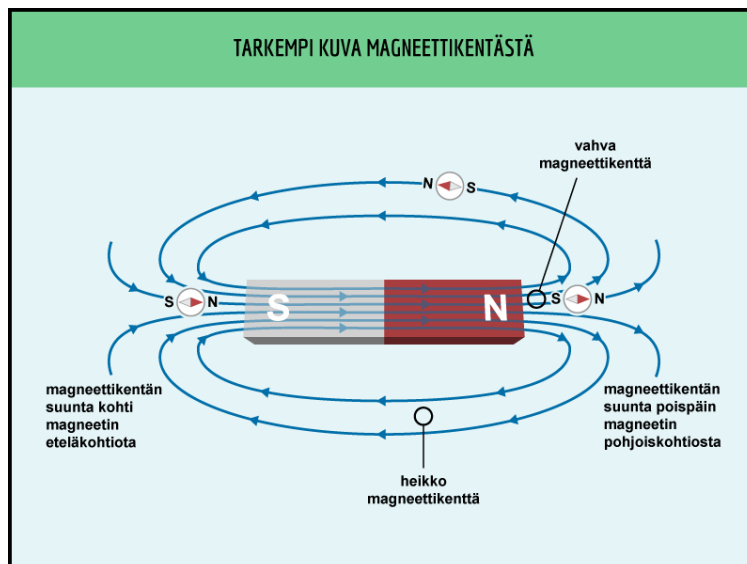


Kuva 2. Magneettikenttiä vuoviivoineen. (<https://peda.net/sastamala/sylvaan-koulu/e-opin-oppikirjat/e9k2/33-magnetismi>)

Magneettikenttää tutkitaan kahden suureen avulla, jotka ovat magneettikentän voimakkuus H ja magneettivuon tiheys B . Magneettikentän voimakkuuden yksikkö on Ampeeria metrille (A/m) ja magneettivuon tiheyden yksikkö on tesla (T), joka muodostuu SI-yksiköistä weberia tai volttsikuntia neliömetrille (Wb/m^2 tai Vs/m^2). Magneettikentän voimakkuuden ja magneettivuon tiheyden välillä on riippuvuus

$$B = \mu H = \mu_r \mu_0 H, \quad (3.)$$

jossa μ on aineen permeabiliteetti joka määritellään suhteellisen permeabiliteetin μ_r ja magneettivakion eli tyhjiön permeabiliteetin μ_0 tulona. Tyhjiön permeabiliteetin arvo on $4\pi \times 10^{-7}$ H/m eli noin $1,2566371 \mu\text{H}/\text{m}$. Tätä käytetään vertailuarvona, niin että tyhjiön suhteellinen permeabiliteetti on yksi ja monen muun aineen permeabiliteetti on hieman sitä suurempi. Tosin ferromagneettisten aineiden permeabiliteetti on huomattavasti suurempi (Inkinen, Manninen, Tuohi. 2002. s.138).

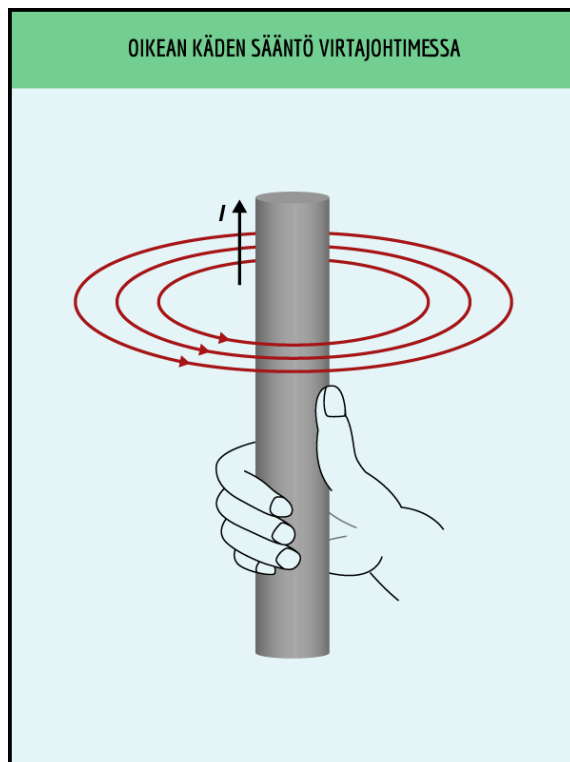


Kuva 3. Magneettikentän vuoviivat. (<https://peda.net/sastamala/sylvaan-koulu/e-opin-oppikirjat/e9k2/33-magnetismi>)

Mikäli sähkövirran suuruus I on tiedossa, voidaan magneettikentän voimakkuus laskea kaavalla

$$I = \oint_s H \cdot dc, \quad (4.)$$

jossa I on virta, H magneettikentän voimakkuus ja s on magneettikentän vuoviivan pituus.



Kuva 4. Magneettikentän muodostuminen virtajohtimessa, sekä havainnekuva oikean käden säännöstä. Peukalo näyttää virran suunnan ja muut sormet magneettikentän suunnan. (<https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkkokauppa/e9k1/3vms>)

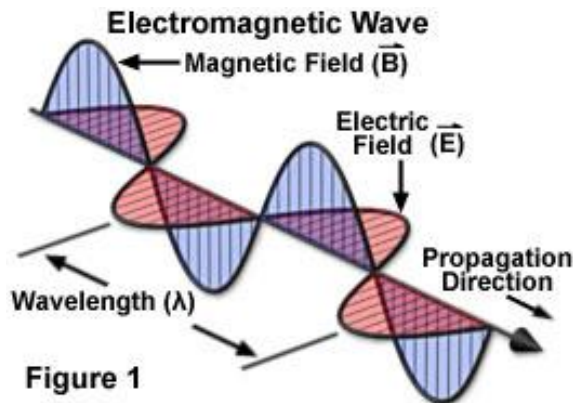
Jos tarkastellaan vain yhtä yksittäistä johdinta ja sen ympärillä olevaa magneettikenttää, voidaan lauseke yksinkertaistaa muotoon

$$H = \frac{I}{2\pi r}, \quad (5.)$$

koska magneettikentän kenttäviiva muodostaa johtimen ympärille ympyrän (Antti Haarto 2013).

2.3 Sähkömagneettinen aalto

Kuten edellä sanottiin, varautunut hiukkanen luo ympärilleen sähkökentän ja liikkuessaan se luo ympärilleen myös magneettikentän. Sähkökenttä ja magneettikenttä ovat toisistaan riippuvaisia niin, että sähkökentän muuttuessa, se luo ympärilleen muuttuvan magneettikentän. Ja tämä toimii luonnollisesti myös toisinpäin. Kenttien luodessa toisensa syntyy valon nopeudella etenevä sähkömagneettinen aalto. Lähellä säteilylähdettä ei ole vielä havaittavia aaltoja, vaan pelkästään sähkö- ja magneettikenttiä, mutta kun ylitetään aallonpituuden kuudesosa, aaltomuodon voi havaita ja ilmiötä voidaan käsitellä yhtenä kokonaisuutena kahden sijaan. (Honkanen, H)



Kuva 5. Kuva sähkömagneettisesta aallosta. (<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/electromagnetic/index.html>)

Sähkö- ja magneettikentän suhdetta nimitetään aaltoimpedanssiksi Z_0

$$Z_0 = \frac{E}{H} \quad (6.)$$

ja sen yksikkö on ohmi (Ω). Sähkömagneettinen aalto kuljettaa mukanaan energiaa, jonka suuruus on riippuvainen sähkökentän ja magneettikentän suuruudesta. Sitä kutsutaan tehon tiheydeksi S ja sen voimakkuus määritellään kaavalla

$$S = E \cdot H \quad (7.)$$

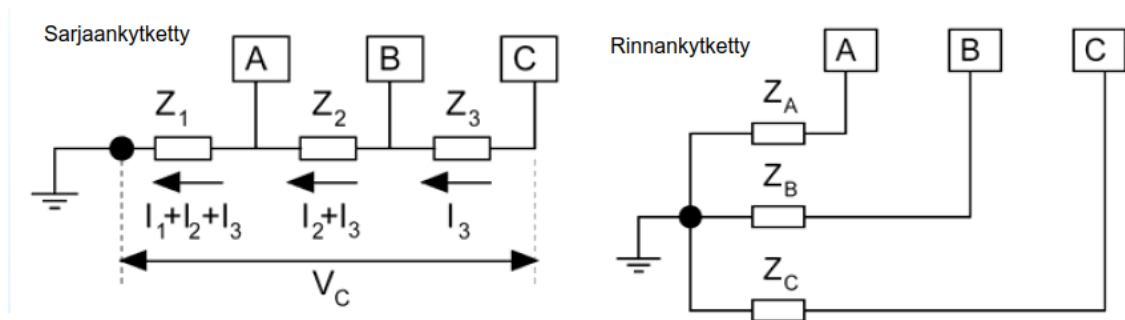
ja sen yksikkö on wattia neliölle (W/m^2). (Inkinen, Manninen, Tuohi. 2002. s.337)

3 SÄHKÖMAGNEETTINEN KYTKEYTYMINEN

Sähkömagneettisten häiriöiden siirtymistä häiriölähteestä häiriintyvään komponenttiin kutsutaan kytkeytymiseksi. Sähkömagneettista kytkeytymistä tapahtuu pääasiassa neljällä eri tavalla. Nämä ovat johtuminen, kapasitiivinen- ja induktiivinen kytkeytyminen sekä säteileminen. Monessa tapauksessa kytkeytymisiä tapahtuu useammalla tavalla. Esimerkiksi häiriö voi ensin kytkeytyä johtimeen induktiivisesti ja siitä johtumalla eteenpäin, josta se säteilee ympäristöönsä. Tässä luvussa käymme läpi erilaiset kytkeytymistavat, sekä keinot suojautua niiltä.

3.1 Johtuminen

Johtumalla kytkeytyminen tapahtuu yleensä kahden laitteen välillä kulkevia johtimia pitkin. Tällöin häiriö saattaa kytkeytyä suoraan laitteesta johtimeen tai indusoitua johtimeen sen kulkureitiltä. Johtumalla kytkeytyvissä häiriöissä on monesti kyse maatason heitteilystä. Mikäli kaksi laitetta on maadoitettu yhteisen impedanssin kautta, eli niille on vedetty yhteinen maadoitusjohdin, josta haarautuu oma lyhyt haaransa molemmille, toisen laitteen maavirrat aiheuttavat toiselle laitteelle epävakaa maajännitteen. Tästä johtuen jokaisella laitteella tulisikin olla oma maadoituksensa.

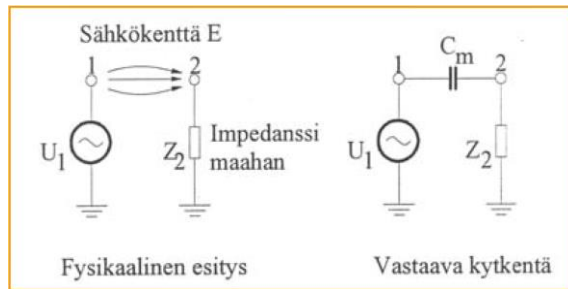


Kuva 6. Kaksi tapaa tehdä laitteiden maadoitus. Mahdollisuuksien mukaan tulisi aina käyttää rinnan kytkettyä, jolloin kaikilla olisi oma maadoituksensa. (http://electronics.physics.helsinki.fi/wp-content/uploads/2011/02/Luento9_2007_snr.pdf)

Mikäli kyseessä on matalataajuinen signaali ($<1\text{MHz}$), voidaan miettiä maadoituksen jättämistä irralleen toisesta päästä. Tämä tosin altistaa johtimen muille häiriön kytkeytymistavoille. Myös erilaiset suodattimet ja pieni-impedanssiset johtimet auttavat tähän ongelmaan (ABB 2000, Mustonen Hanna 2006).

3.2 Kapasitiivinen kytkeytyminen

Kapasitiivinen kytkeytyminen tapahtuu kahden tai useamman johtimen tai muun jännitteisen osan välillä. Kuten luvussa 2.1 todettiin, on varautuneen hiukkasen ympärillä sähkökenttä. Tämä tarkoittaa, että jännitteisellä johtimella on koko pituudeltaan ympärillään sähkökenttä. Kun tämän sähkökentän vaikutusalueelle tuodaan toinen johdin, alkaa siihen kapasitiivisen kytkeytymisen johdosta muodostua virtaa.



Kuva 7. Kapasitiivisen kytkeytymisen periaatekuva (http://electronics.physics.helsinki.fi/wp-content/uploads/2011/02/Luento9_2007_snr.pdf)

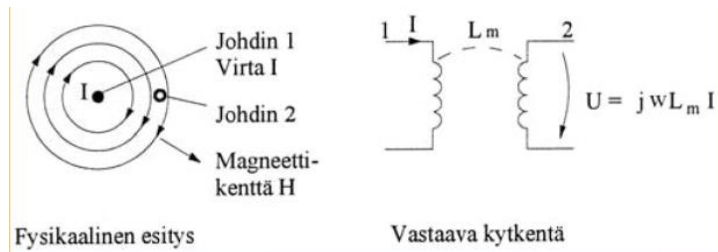
Kytkeytyvän jännitteen U_H suuruus voidaan laskea kaavalla

$$U_H = \frac{R}{\frac{1}{f2\pi f C_m} + R} U_v \quad (8.)$$

jossa R kuvaa häiriintyvän kaapelin resistanssia, f on häiriöjännitteen taajuus, C_m on johtojen välinen keskinäiskapasitanssi ja U_v häiriösignaalin jännite. Kapasitiivista kytkeytymistä ei pysty mitenkään täysin estämään, mutta sitä pystyy hillitsemään pitämällä keskinäiskapasitanssi mahdollisimman pienenä. Tämä onnistuu helpoiten käyttämällä metallivaipalla suojattua kaapelia, sekä maadoittamalla se. Lisäksi johdinten sijoittelu on tärkeää, suuritaajuiset ja -jännitteiset johtimet on pidettävä erillään herkistä signaalijohtimista. Erilaiset metalliset väliseinät, sekä läheinen maataso myös ehkäisevät kapasitiivista kytkeytymistä (ABB 2000, Mustonen Hanna 2006).

3.3 Induktiivinen kytkeytyminen

Siinä missä kapasitiivinen kytkeytyminen tapahtuu sähkökentän välityksellä, tapahtuu induktiivinen kytkeytyminen magneettikentän välityksellä. Kuten luvussa 2.2 todettiin, liikkuvan varautuneen hiukkasen ympärille muodostuu magneettikenttä. Kun tämän magneettikentän vaikutusalueelle tuodaan toinen johdin, indusoituu siihen jännite.



Kuva 8. Induktiivisen kytkeytymisen periaatekuva (http://electronics.physics.helsinki.fi/wp-content/uploads/2011/02/Luento9_2007_snr.pdf)

Indusoituvan jännitteen u suuruus voidaan laskea kaavalla

$$u = \omega L_m \cdot I \quad (8.)$$

jossa ω on häiriösignaalin kulmataajuus, L_m on keskinäisinduktanssi ja I on häiriösignaalissa kulkeva virta. Kuten kapasitiivista, ei myöskään induktiivista kytkeytymistä pystytäysin välttämään, mutta sitä voi hillitä. Myös induktiivista kytkeytymistä voi hillitä metallivaipalla suojatulla molemmista päistä maadoitetulla kaapelilla. Johdinten sijoittelussa tärkeintä on välttää silmukoiden muodostumista, sekä pitkiä yhdensuuntaisia vetoja mahdollisen häiriölähteen, sekä vastaanottavan johtimen kesken. Etäisyydellä ei suurta merkitystä induktion kanssa ole, mutta mahdollisimman lähellä olevasta maadoitusjohdosta on apua. Parikierrätys toimii hyvin induktiivista kytkeytymistä ehkäisevänä, mutta pitää muistaa, että se altistaa johtimen kapasitiiviselle kytkeytymiselle (ABB 2000, Mustonen Hanna 2006).

3.4 Säteileminen

Sähkömagneettinen aalto etenee ilmassa tasoaaltona pitkiäkin matkoja ja se voi kytkeytyä joko laitteen sisällä suoraan komponentteihin tai ulkoisen johtimen välityksellä. Kuten luvussa 2.3 todettiin, sähkömagneettisessa aallossa magneettikenttä ja sähkökenttä luovat toisensa, jolloin aalto luo oman liikkeensä ja etenee tyhjiössä vaimenematta äärettömän matkan. Ilmakehässä aalto kuitenkin vaimenee kohdatessaan esteitä, joista heijastuessaan aalto vaimenee, sekä erilaisia varauksia, joiden kanssa syntynyt vuorovaikutus kuluttaa aallon energiaa. Paras tapa suojautua sähkömagneettiselta aallolta on laitteiden hyvä kotelointi, sekä suojattujen kaapeleiden käyttäminen. Kaapeleiden läpiviennit ja liittimet on myös tehtävä huolella, jotta vaippa on yhteydessä runkoon täydet 360° (ABB 2000, Mustonen Hanna 2006).

3.5 Sähkömagneettisen säteilyn vaikutuksia

Sähkömagneettisella säteilyllä on havaittu olevan paljon haitallisia vaikutuksia niin koneisiin kuin eläviin olentoihinkin. Vaikka EMC-säteily onkin ionisoimattoman säteilyn, eli alle 3 PHz tai 12 elektronivoltin alueella, voi se silti aiheuttaa pitkäkestoisena vaaraa ihmisen terveydelle. Tästä syystä säteilyn voimakkuudelle ja määrälle onkin määritelty rajoja, joilla suojellaan ihmisen terveyttä esimerkiksi työpaikoilla. Tutkimuksissa ei kuitenkaan ole havaittu säteilyn varmuudella kasvattaneen esimerkiksi syöpäriskiä. Suurin ihmiselle aiheutuva vaara onkin tilanne, jossa säteily estää esimerkiksi sydämentahdistimen oikeanlaisen toiminnan tai häiritsee jotain laitetta niin että, se saa virheellisen toimintasihtaalini. Tästä syystä lentokoneissa ei saa nousun ja laskun aikana käyttää säteileviä laitteita, kuten matkapuhelimia. (Kupari, Vili, 2015)

4 VIRANOMAISVAATIMUKSET

Siitä lähtien, kun sähkömagneettisten aaltojen häiritsevyys ja haitallisuus on ymmärretty, on niiden muodostumista ja leviämistä pyritty kaitsemaan erilaisilla standardeihin ja tutkimuksiin perustuvilla direktiiveillä. Tässä on kuitenkin ollut ongelmana erilaisista tulkinnoista ja tutkimustuloksista johtuen hienoinen sekavuus ja ristiriitaiset käytännöt standardien välillä. Viime vuosina on kuitenkin alalle muotoutunut yhteiset pelisäännöt ja käytännöt, mikä on helpottanut eri maiden välisten standardien yhteensovittamista. Tähän muodostaa poikkeuksen Yhdysvaltojen, joka käyttää omia CFR-standardejaan (Code of Federal Regulations). Sekaannusta aiheuttavien päällekkäisyyksien välttämiseksi, jätän niiden tarkastelun pois ja keskityn ISO-, EN- ja CISPR-standardeihin.

Koska jo pelkästään standardien kirjainyhdistelmät aiheuttavat asiaan perehtymättömille päänsärkyä on, syytä käydä läpi, mistä ne tulevat. ISO -standardit ovat kansainvälisen standardoimisjärjestön International Organization for Standardization laatimia suosituksia. Näiden suositusten pohjalta valtiot ovat luoneet omat standardinsa, ottaen huomioon omat erityisvaatimuksensa. Suomessa standardit laatii Suomen standardoimisliitto SFS. Kansallisten standardien pohjalta on luotu yleiseurooppalaiset EN -standardit. Näitä standardeja ylläpitää CEN eli European Committee for Standardization, paitsi sähkötekniikan osalta CENELEC. CIPR puolestaan on ISO:n alainen radiohäiriöihin keskittynyt komitea. Näin ollen standardi, jonka tunnuksen edestä löytyy kirjaimet SFS-EN ISO, on hyväksytty kaikilla kolmella portaalla. Tämä olisi ihanteellinen tilanne, mutta valitettavasti ei kovinkaan yleinen. Monet, varsinkin tekniikan, standardeista ovat kansallisesti niin eroavaisia, ettei yhteistä tulkintaa ole löytynyt. Tämä aiheuttaa kansainvälisille markkinoille suunniteltavissa koneissa päänvaivaa, jotta löydetään kaikki vaaditut direktiivit täyttävä ratkaisu. Pahimmassa tapauksessa eri maihin joudutaan tekemään erilaisia ratkaisuja myyntiluvan saamiseksi. Tämä aiheuttaa tietysti ylimääräistä työtä ja joissain tapauksissa jopa vetäytymistä markkina-alueelta, jos työ koetaan liian suureksi saatuun hyötyyn nähden.

4.1 Yleisiä vaatimuksia

Euroopassa on tämän kirjoitushetkellä voimassa Euroopan parlamentin ja neuvoston laati-
tina EMC-direktiivi (2004/108/EY), mutta se on korvautumassa kevään 2016 aikana di-
rektiivillä (2014/30/EU). Direktiivi säätelee Euroopassa valmistettujen sähkölaitteiden
sähkömagneettista yhteensopivuutta. Direktiivi on ns. uuden lähestymistavan mukainen,
eli se määrittää vain raamit, joihin laitteen tulee ominaisuuksiltaan sopia. Se, miten nämä
kohdat täytetään ja ennen kaikkea, miten direktiivinmukaisuus osoitetaan, on kiinni val-
mistajasta itsestään. Direktiivinmukaisuuden voi osoittaa joko toimimalla standardien
mukaisesti tai osoittamalla muulla tapaa tuotteen täyttävän direktiivin vaatimukset. Tämä
antaa laitevalmistajalle pelivaraa ja tilaa uusille innovaatioille, mutta samalla myös lisää
laitevalmistajan vastuuta ja saattaa aiheuttaa vääriä tulkintoja.

Uusi direktiivi (2014/30/EU) ei eroa teknisiltä osiltaan vanhasta, mutta siinä on muutok-
sia direktiivin alaisista laitteista, sekä laitevalmistajille lisävelvoitteita koskien laitteiden
teknisiä asiakirjoja.

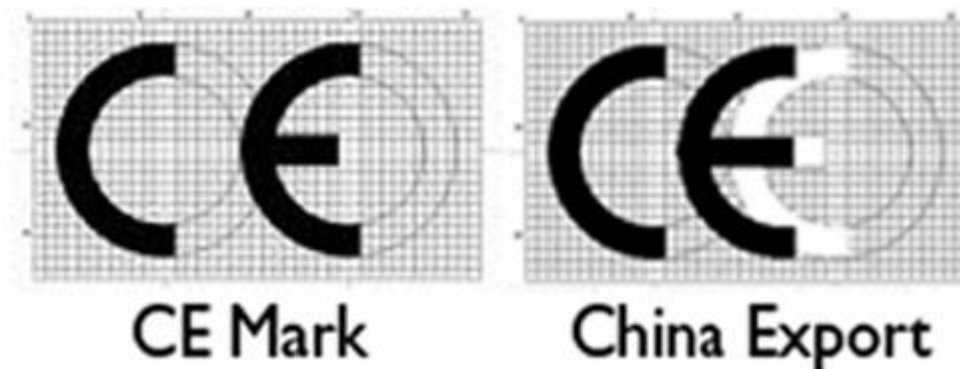
4.2 Vaatimuksia liikkuville työkoneille

Liikkuville työkoneille on olemassa omat standardinsa niiden erityisten käyttötapojen ja
käyttöolosuhteiden takia. Niitä olisi hankala rinnastaa kiinteisiin laitteisiin, ja lisäksi sekä
vaatimuksista, että mittaustavoista tulisi niin hankalasti määritettävät ja tulkinnanvarai-
set, että liikkuville työkoneille on räätälöity oma EMC-standardinsa EN ISO 14982.
Tämä standardi määrittelee liikkuvalla työkoneella sallitut sähkömagneettisen säteilyn
rajat, sekä mittausmenetelmät. Lisäksi kannattaa huomioida, että jotkin työkoneen laitteet
kuuluvat erillisen radio- ja telelaitteille määritellyn CISPR-standardin piiriin.

4.3 CE -hyväksyntä

Kun laite on todettu kaikkien standardien mukaiseksi ja tarvittavat asiakirjat on olemassa, ja toimitettu oikeille viranomaisille, tulee siihen kiinnittää merkintä CE-hyväksynnästä. CE -merkintä, kuten moni muukin standardointiin ja direktiiveihin liittyvä lyhenne, tulee Ranskan -kielisistä sanoista Conformité Européenne, joka tarkoittaa vapaasti suomennettuna: määräysten mukainen Euroopassa. CE -hyväksynnän hankkiminen on välttämätöntä, mikäli haluaa myydä laitettaan Euroopan talousalueella. Tällöin laitteen valmistaja ottaa vastuun siitä, että laite on oikein käytettynä turvallinen.

CE -merkintää ei tule sekoittaa sitä läheisesti muistuttavaan China Export (suom. Kiinan vienti) merkintään. Kiinan vienti -merkki on muuten samanlainen kuin CE merkintä, mutta siinä on kirjainten väli hiukan lyhempi, niin että ne ovat osittain sisäkkäin.



Kuva 9. Oikea CE -merkintä ja China Export -merkintä vierekkäin. Molempia samaan aikaan tarkasteltaessa merkit eroavat selvästi, mutta vertailukohdan puuttuessa menevät helposti sekaisin. (<http://siloscordoba.com/2013/07/09/china-export-is-not-ce-a-symbol-to-cause-confusion/>)

Tämä merkintä ei tarkoita mitään, se on vain kiinalaisten laitevalmistajien harhautusyritys, jolla tavoitellaan parempaa myyntiä. (Verhaugen, 2008)

5 MITTAAMINEN

Liikkuvien työkoneiden EMC-mittauksista on säädetty mittausohjeet standardissa EN ISO 14982. Se määrittää mm. olosuhteet ja etäisyydet, josta mittaukset tulee tehdä, sekä sähkömagneettisen säteilyn suurimmat sallitut voimakkuudet eri taajuusalueilla. Liikkuvan työkoneen EMC-mittaus tulisi tehdä 10 metrin etäisyydeltä 30-1000 MHz taajuusalueella, mutta tilan puutteen vuoksi tein omat mittaukseni 3 metrin etäisyydeltä, jolloin rajat ovat hieman väljemmät. Eri mittausetäisyyksien vaikutusta mittausarvoihin ei voida, tai ei ainakaan vielä nykytiedon valossa osata, suhteuttaa toisiinsa. Tätä on tutkittu jonkin verran, mutta mitään absoluuttista korjauskerrointa, tai muuta tapaa ei ole keksitty. Nyrkisääntönä voi kuitenkin pitää seuraava taulukkoa

TAULUKKO 1. Korjausarvot siirryttäessä 10m etäisyydeltä 3m etäisyydelle. (Ed Blankenship, David Arnett, and Sidney Chan,2009)

Taajuusalue	Mittautulokseen lisättävä arvo, kun siirrytään 10metristä 3m etäisyydelle
30-100 MHz	+6dB
100-300MHz	+3dB
300-600MHz	+6dB
600-900MHz	+7dB
900-1000MHz	+8dB

5.1 Aaronia Spectran HF10600 lähi- ja kaukokenttä-analysaattori

Sähkömagneettisen yhteensopivuuden syvimpään olemukseen perehtyäkseni, tein lukuisia mittauksia JDF:ltä lainaamallaani Aaronia Spectran HF10600 V4 mittalaitteella. En ollut aiemmin käyttänyt vastaavaa mittalaitetta, joten mittalaitteen käyttö oli aluksi hiukan takkuista, mutta kokeilemalla ja ohjekirjaa tutkimalla käyttö alkoi sujua koko ajan paremmin.



Kuva 10. Aaronia Spectran HF10600 V4 kokoonpano. Ylärivissä vasemmalla on kaukokenttäantenni HyperLOG 60100 jalustoineen, keskellä on spektrianalysaattori ja oikealla lähikenttämittauksiin tarkoitettut mittapäät. Alarivissä on ohjekirjat, vahvistin, laturi, usb-johto, analysaattorin tietokoneliityntää varten, sekä muutama sovitekappale. Oikealla on BicoLOG dipoliantenni, joka on kiinnitettynä kameran korkeussäädettävään jalustaan. Korkeussäätö on tärkeä ominaisuus, jotta antennin saa samalle korkeudelle mitattavan laitteen kanssa.

Mittalaitteeseen kuului kaksi analysaattoria, lähi- ja kaukokentälle omansa, sekä useita erilaisia mittapäitä ja lisävarusteita. Lähikentälle tarkoitettuja mittapäitä oli viisi, eritaajuisille magneetikentille neljä ja yksi sähkökentälle. Kaukokentälle oli kaksi antennia, joista toinen HyperLOG 60100, jolla pystyi mittaamaan 680 MHz-10 GHz alueella. Sen lisäksi oli toinen huomattavasti matalammille taajuuksille tarkoitettu dipoliantenni, BicoLOG 20100E X, jolla pystyi mittaamaan 20 MHz-1 GHz alueella.

Koska EMC-mittaukset tehdään 30 MHz-1 GHz alueella, käytin suurempaa BicoLOG antennia. Lisäksi varustukseen kuului kaksi laturia, vahvistimen ja analysaattorien la-
tausta varten, mittajohdot, usb-johto, sekä erilaisia työkaluja ja sovitepaloja vahvistimen kiinnittämistä varten.



Kuva 11. Tyypillinen mittauskoonpano. BicoLOG antennilta tulee raakadata koaksiaalikaapelia pitkin vahvistimen kautta analysaattorille, josta käsitelty data siirretään usb-johtolla tietokoneelle.

Mittalaitteen mukana tulevien tarvikkeiden lisäksi totesin heti alussa Aaronian nettisivuilta (<http://www.aaronia.com/downloads/>) ladattavan tietokoneohjelmiston tuiki tarpeelliseksi mittauksia tehdessä.



Kuva 12. Vasemmalla kuvakaappaus tietokoneen näytöltä MCS Spectrum Analyzer ohjelmistosta. Oikealla valokuva analysaattorin näytöltä, joka on otettu toisen mittauksen aikana. Luettavuus on aivan eri luokkaa.

Paitsi että, mittaasetusten tekeminen ja muuttaminen oli huomattavasti helpompaa tietokoneella, niin mittaustapahtuman seuraaminen ja tulosten tallentaminen pelkältä analysaattorin nestekidenäytöltä oli todella paljon vaikeampaa. Tietokoneen käyttö mittauksessa toi omat haasteensa tietokoneen synnyttämien häiriöiden vuoksi.

5.2 Kaukokenttämittaukset koulun laboratoriossa

Tein mittauksia Tampereen Ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa. Sain JDF:ltä mittaavaksi erinäisiä komponentteja, sekä tarvittavat virtalähteet yms. niiden käyttöön. Tampereen Ammattikorkeakoulun suurjännitelaboratoriota ei ole varsinaisesti tehty EMC-mittauksia varten, mutta sinne on tehty melko hyvä EMC-suojaus, jotteivat laboratoriossa syntyvät sähkö- ja magneettikentät leviä ympäristöön.



Kuva 13. Tyypillinen mittaustilanne. Vasemmassa reunassa on näytöt, jotka saavat virransa kahdesta akusta, jotta vältymme tehollähteen aiheuttamalta häiriöltä. Oikeassa reunassa oleva antenni on säädetty samalla korkeudelle näyttöjen kanssa ja niiden välinen etäisyys on 3 metriä. Antennille menevä mittajohto on viety seinässä olevan läpiviennin kautta valvomon, jossa on analysaattori ja tietokone. Kuvassa näkyvä ylimääräinen tavara aiheutti varmasti heijastumia ja osaltaan vääristivät mittausdataa.

Ylimääräisten häiriöiden minimoimiseksi käytin näyttöjen virtalähteenä kahta sarjaan kytkettyä 12 voltin akkua, jotteivat tehollähteen aiheuttamat kentät häiritse mittausta. Myös kaikki mittaukseen käytettävät laitteet, antennia lukuun ottamatta olivat sijoitettu valvomon puolelle. Valitettavasti jokapäiväisessä opetuskäytössä olevaa tilaa ei voinut

tyhjentää ja mittausta häiritsemään jäikin paljon erilaisia heijastepintoja. Myöskään laboratorion sähkösyöttöä ei ollut mahdollista katkaista ilman valvomon sähköttömäksi tekemistä, joten oli vain tyytyminen valojen ja sähkölaitteiden sammuttamiseen. En myöskään saanut antennia, lyhyestä mittajohdosta johtuen, standardin määrittämälle 1 metrin korkeudelle, vaan korkeudeksi jäi noin 0,7 m. Katsoin kuitenkin lattiasta tulevan heijastuksen vaikutuksen olevan niin mitätön muihin nähden, etten nähnyt pidemmän mittajohdon hankintaa tarpeelliseksi.

Tein myös muutaman vertailumittauksen SGS Fimkon laboratoriollla, joita TAMK:lla tehtyihin mittauksiin vertaamalla sain vertailuarvon, jolla pystyin varmistamaan TAMK:n laboratorion toimivuuden.



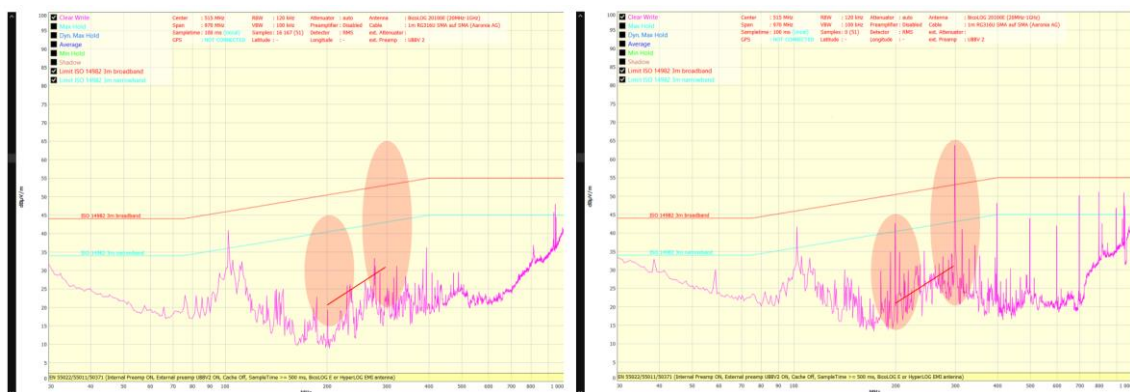
Kuva 14. Vasemmalla puolella on SGS Fimkon tiloissa tehty mittaus ja oikealla ylhäällä TAMK:n suurjännitelaboratoriossa tehty mittaus, sekä alempana normaalissa opetustilassa tehty mittaus. Erimuotoiset tulostusraamit hieman häiritsee lukemista, mutta kuvia vertaamalla voi todeta, että TAMK:n tiloissakin saa suuntaa antavia tuloksia, eivätkä häiriöt huku taustakohinaan.

Mittaustuloksiin ei pidä luottaa kuin kalliioon, mutta niillä pystytään määrittämään ongelmalliset komponentit ja -taajuudet menemättä kalliiseen mittaustalokseen.



Kuva 15. Vasemmalla puolella on mittaukset suurjännitelaboratoriossa ja oikealla luokahuoneessa. Ylärivissä on ainoastaan taustasäteily ja alarivissä on myös näytöt päällä. Laboratoriossa häiriötaajuuksien piikit tulevat selkeästi esille, kun taas luokahuoneessa ne häviävät taustakohinaan.

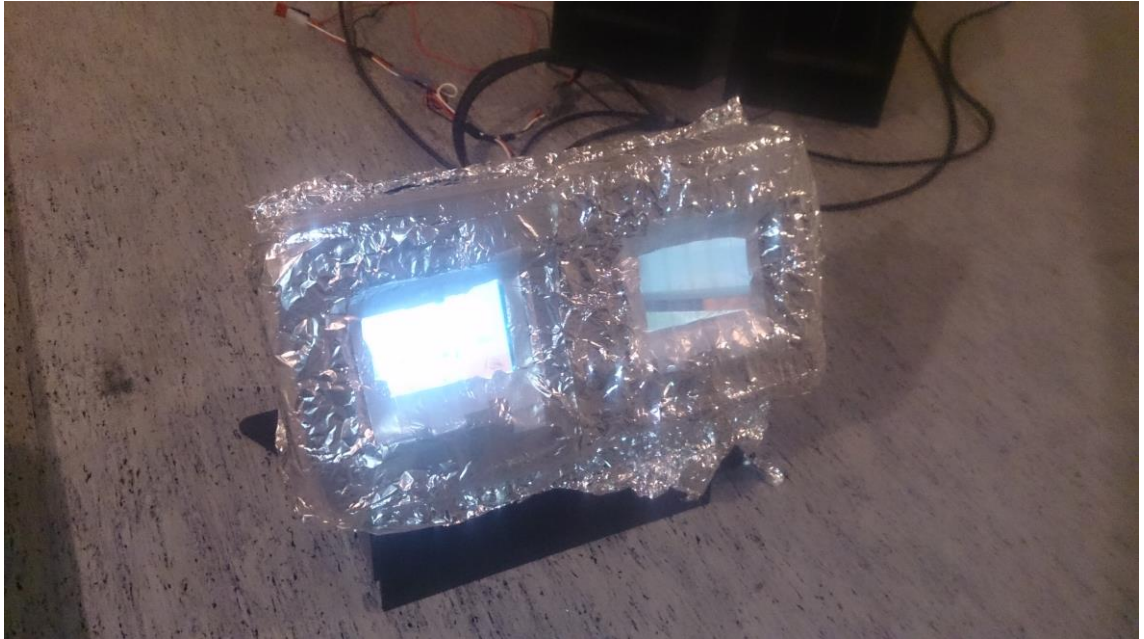
Aluksi tein mittauksi eri komponenteilla, mutta melko pian aloin keskittyä testinäytön tutkimiseen. Tiesin näytön aiheuttavan tietyillä taajuuksilla häiriöitä, joten keskityin todentamaan ne.



Kuva 16. Vasemmalla on kuvaaja taustasäteilystä ja oikealla näyttöjen ollessa päällä. Kuvaajaan on lisätty punaiset merkit kahden häiriötaajuuden kohdalle. Kuvaajassa on myös

kohinatason näyttävä viiva, josta huomamme näyttöjen aiheuttavan sähkömagneettista säteilyä koko taajuusskaalalla, eikä pelkkien häiriötaajuuksien kohdalla.

Kun opin käyttämään mittalaitetta, häiriöiden tunnistaminen oli täysin ongelmaton. Häiriöiden löytyttyä oli tietysti seuraavana tavoitteena etsiä keino niiden hävittämiseen. Rakensin näyttöjen ympärille lisäsuojaa alumiinifoliosta, siinä toivossa, että se estäisi säteilyn leviämisen.

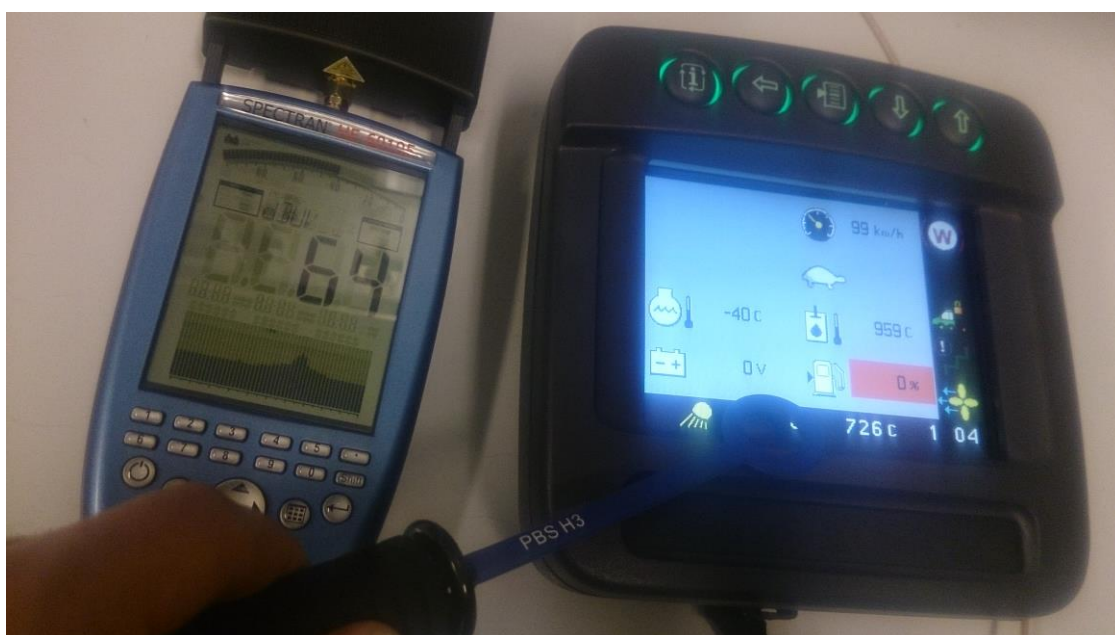


Kuva 17. Alumiinifolio hillitsi hieman säteilyä, mutta riittävä kerros tekisi siitä epäkäytännöllisen.

Vaikutusta oli jonkin verran, mutta samalla näytön käytettävyys kärsi. Tällä, hieman humoristisellakin kokeella, pystyin kuitenkin toteamaan, että säteily ei tullut niinkään läpi näytöstä vaan näyttöä ympäröivästä kotelosta.

5.3 Mittaukset lähikenttä-analysaattorilla

Aloin tutkia näyttöä tarkemmin lähikenttäanalysaattorilla ja huomasin, että magneettikentät olivat voimakkaimpia kotelon saumojen kohdalla, sekä näytön reunoilla. Lähikenttäanalysaattorilla mitatessa käytetään, joko magneettikentille, tai sähkökentille tarkoitettuja mittapäitä. Analysaattoriin säädetään haluttu taajuuskaista, joka kannattaa valita melko kapeaksi, koska taajuusalueen läpi pyyhkäisy kestää melko kauan. Lähikenttä-analysaattorilla mitatessa tietokoneohjelman käyttö ei ole järkevää, vaan riittävän tiedon saa suoraan näytöltä.



Kuva 18. Lähikenttäanalysaattorin näytöllä näkyy piikki häiriötaajuuden kohdalla, sekä huippuarvo numeroilla.

Aloin tutkia testinäyttöä tarkemmin avaamalla näytön ja tutkin piirilevyn pinnassa olevia magneettikenttiä. Onnistuin paikantamaan häiriön tiettyihin piirilevyn komponentteihin.

Tässä kohtaa totesin päässeeni tutkimuksissani maaliin, koska olin paikantanut häiriölähteen. Mittaukset tekivät sähkömagneettisten häiriöiden ymmärtämisestä huomattavasti helpompaa. Kun mittauksen avulla sai käsityksen, mitä sähkömagneettinen häiriö on luonnossa, pystyi pikkuhiljaa myös miettimään, miten siihen pystyy vaikuttamaan.

6 POHDINTA

Sähkömagneettiset häiriöt ovat vaikeita havaita ilman kunnollisia mittalaitteita ja osaavaa käyttäjää. Se tekee niiden korjaamisesta jälkikäteen äärimmäisen vaikeaa, joten niiden syntyminen pitäisikin ottaa huomioon jo suunnittelun alkuvaiheessa, niin että mahdolliset riskitekijät tulisi joko korvata muilla ratkaisuilla, tai pyrkiä eristämään kaikista muista laitteista ja ympäristöstä niin hyvin, että säteilyt jäisivät vain paikalliseksi. Tähän pitää pyrkiä vaikuttamaan jo pientenkin osakokonaisuuksien komponenttivalinnoilla, koska yksikin säteilevä komponentti jossain toiminnan kannalta vähäpätöisessä laitteessa voi aiheuttaa virheellistä, jopa turvallisuutta vaarantavaa, toimintaa muissa laitteissa. Lievimilläänkin säteily voi hankaloittaa vaatimuksenmukaisuusmittausten läpäisyä.

Opinnäytetyön ohessa syntyi johdotusohje, joka on kokoelma erilaisia nyrkkisääntöjä, joita huomioimalla johdotuksesta saa hiukan häiriövarmemman. Mutta kuten tätä työtä tehdessäni olen huomannut, ei johtosarjalla pysty tekemään ihmeitä. Mikäli johdotusta muuttamalla pyrkii EMC-ongelmia ratkomaan, löytyy ratkaisu todennäköisimmin erilaisista maadoitusratkaisuista. Niin tässä työssä, kuin johdotusohjeessakin sivutaan tätä ai-
hetta, mutta käyttökelpoisen ratkaisun löytäminen vaatii tarkempaa tutustumista kysei-
seen järjestelmään.

LÄHTEET

Heikkinen, P. Jyväskylän yliopisto, Kurssimateriaali: Sähkö-oppi FYSA220 (kevät 2009). Luettu 7.5.2016. <http://users.jyu.fi/~pheikkin/fysa220/sms2.pdf>

Inkinen, Manninen, Tuohi. 2002. Momentti 2 Insinöörifysiikka. Keuruu Kustannusosa-
keyhtiö Otava

Antti Haarto 2013. Turun ammattikorkeakoulu, Kurssimateriaali: Sähköstatiikka ja
magnetismi. Luettu 7.5.2016 [http://fysiikka.turkuamk.fi/fysiikka/Sah-
Mag/2_3_3_SM_magnetismi.pdf](http://fysiikka.turkuamk.fi/fysiikka/Sah-Mag/2_3_3_SM_magnetismi.pdf)

ABB 2000. TTT-käsikirja Luku 6: Ylijännite- ja häiriösuojaus. Luettu 7.5.2016.

Mustonen Hanna, NATLABS Oy, 2006, EMC:n perusteet, Luettu 7.5.2016
https://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-5250/Muuta/EMC_perusteet.pdf

Honkanen, H. Kajaanin ammattikorkeakoulu, Kurssimateriaali: KAPASITIIVINEN JA
INDUKTIIVINEN KYTKEYTYMINEN Luettu 7.5.2016 [http://gallia.kajak.fi/opmate-
riaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_Kapasitiivinen_ja%20Induktiivinen.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_Kapasitiivinen_ja%20Induktiivinen.pdf)

Kupari, Vili, 2015. SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU, Opinnäytetyö: SÄHKÖ-
JA MAGNEETTIKENTTIEN MITTAAMINEN HÄIRIÖISESSÄ YMPÄRISTÖSSÄ
Luettu 7.5.2016

Verheugen, 2008, European Parliament, Vastaus komissiolle esitettyyn kysymykseen
Luettu 7.5.2016 [http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=P-
2007-5938&language=EN](http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=P-2007-5938&language=EN)

Hoolihan Daniel, Hoolihan EMC Consulting 2010, Radiated Emission Measurements at
1/3/5/10/30 Meters [http://www.interferencetechnology.com/radiated-emission-measure-
ments-at-1351030-meters/](http://www.interferencetechnology.com/radiated-emission-measurements-at-1351030-meters/)