

Juhani Leino
LED-LAMPPUJEN AIHEUTTAMAT SÄHKÖMAGNEETTISET
HÄIRIÖT

Sähkötekniikan koulutusohjelma
2015

LED-LAMPPUJEN AIHEUTTAMAT SÄHKÖMAGNEETTISET HÄIRIÖT

Leino, Juhani
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2015
Ohjaaja: Perkiö Tauno
Sivumäärä: 33
Liitteitä: -

Asiasanat: led, EMC, häiriöt

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tavanomaiseen valaistuskäyttöön tarkoitettuja E27-kantaisia led-lamppuja ja niiden aiheuttamia sähkömagneettisia häiriöitä sekä niiden häiriöiden sietokykyä. Lampuille tehtiin säteilevien ja johtuvien häiriöiden mittauksia, sekä lamppujen häiriöiden sietokykyä testattiin transsienttipurskeen ja syöksyaallon sietotesteillä. Mittaukset tehtiin Satakunnan ammattikorkeakoulun Rauman yksikön EMC-laboratoriossa.

Mittauksista voitiin todeta, että vaikka CE-hyväksytyt led-lamput tuottavat häiriöitä, pysyvät ne EMC-standardin asettamien raja-arvojen alapuolella. Ainoastaan mittauksissa käytetty tuntemattoman kiinalaisvalmistajan led-lamppu ylitti sallitut raja-arvot.

ELECTROMAGNETIC INTERFERENCES CAUSED BY LED LAMPS

Leino, Juhani

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in electrical engineering

April 2015

Supervisor: Perkiö Tauno

Number of pages: 33

Appendices: -

Keywords: led, EMC, disturbances

The purpose of this thesis was to study electromagnetic disturbances caused by the use of led lamps and how led lamps react when they are exposed to disturbances. The tested devices were ordinary lamps with an E27 socket. Radiative and conductive emission tests were made to discover these disturbances. Lamps were exposed to fast transient burst and surge tests to see how lamps react when exposed to disturbances. Measurements were carried out in EMC laboratory of Rauma that is a part of Satakunta University of Applied sciences.

It was learnt that, although CE certified led lamps produce electromagnetic disturbances, they stay below the limit values of EMC directives. Unknown Chinese-made led lamp was the only lamp to exceed the limit values.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	LED VALONLÄHTEENÄ.....	6
2.1	LED ja LED-lamppu.....	6
2.2	Led-lampun hyödyt ja haitat.....	7
2.3	Ledien kehitys.....	8
2.4	Led-lamppujen kehitys.....	8
2.5	Markkinat.....	9
3	SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS.....	9
3.1	Yleistä.....	
3.2	EMC-Direktiivi.....	10
3.3	EMC – valvonta.....	11
3.4	Häiriösäteily.....	11
3.4.1	Häiriösäteilyn vaikutukset.....	11
3.4.2	Häiriösäteilyn mittaaminen.....	12
3.4.3	Häiriösäteilyn estäminen.....	13
3.5	Johtuvat häiriöpäästöt.....	13
3.5.1	Johtuvien häiriöiden mittaaminen.....	14
3.5.2	Johtuvien häiriöiden estäminen.....	14
3.6	Häiriöiden sietokyky.....	14
4	MITTAUKSET.....	15
4.1	EMC-laboratorio.....	15
4.2	Mittalaitteet.....	16
4.2.1	Mittavastaanotin.....	16
4.2.2	Keinoverkko.....	16
4.2.3	EFT 500-M ja VCS 500.....	17
4.3	Mittauksissa käytetyt lamput.....	17
4.4	EMC-mittaukset.....	18
4.4.1	Häiriösäteilyn mittaukset.....	18
4.4.2	Häiriösäteilyn mittaukset himmentimillä.....	25
4.4.3	Johtuvien häiriöiden mittaukset.....	27
4.4.4	Johtuvien häiriöiden mittaukset himmentimillä.....	29
4.4.5	Transienttipurskeen sietotesti.....	31
4.4.6	Syöksyaallon sietotesti.....	31
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	32
	LÄHTEET.....	33

1 JOHDANTO

Led-lamput ovat uusi vaihtoehto valaistusmarkkinoilla energiansäästö- ja halogeenilamppujen rinnalle korvaamaan vanhat hehkulamput. Led-lamput ovat pitkäikäisiä ja energiatehokkaita, joten syystäkin niiden kysyntä ja tarjonta on kasvanut lähivuosina huomattavasti. Led-lamppujen markkinoiden kasvaessa haluttiin selvittää, kuinka paljon markkinoilta löytyvät led-lamput tuottavat häiriöitä. Markkinoilla on useita eri valmistajia ja teknisiltä tiedoiltaan erilaisia lamppuja. Lamppuiksi valittiin kuluttajalle saatavilla olevia lamppuja kuudelta eri valmistajalta. Lisäksi mitattiin kolmen eri himmentimen toimintaa led-lamppujen kanssa ja näiden samanaikaisesta käytöstä aiheutuvia häiriöitä. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin sähkömagneettisiin häiriöihin. Tutkittiin lamppujen säteileviä ja johtuvia häiriöitä, sekä häiriöinsietokykyä.

Toisin kuin hehkulamput, led-lamput vaativat toimiakseen oman elektroniikkansa. Elektroniikka aiheuttaa ympäristöönsä sähkömagneettisia häiriöitä ja valmistajien on huomioitava tämä oman tuotteen valmistuksessa ja suunnittelussa. EMC-valvonta on tärkeä osa-alue valmistajille, sillä ilman EMC-kriteerien täyttymistä ei valmistaja voi asettaa laitteeseensa CE-merkintää.

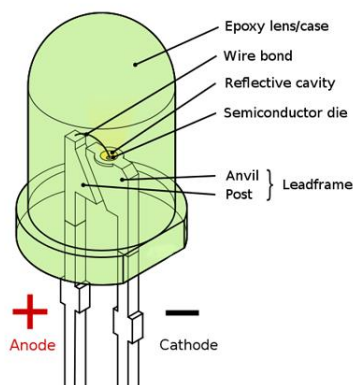
2 LED VALONLÄHTEENÄ

2.1 LED ja LED-lamppu

LED on puolijohdekomponentti, johon johdettu sähkövirta saa aikaan näkyvää valoa. Ledissä elektronit siirtyvät negatiiviselta puolelta positiiviselle puolelle. Liituskohdassa elektroniaukot ja elektronit yhdistyvät, jolloin elektroni siirtyy alemmalle energiatasolle ja energia vapautuu valoksi ja lämpöenergiaksi.

(Jokinen 2011, 10)

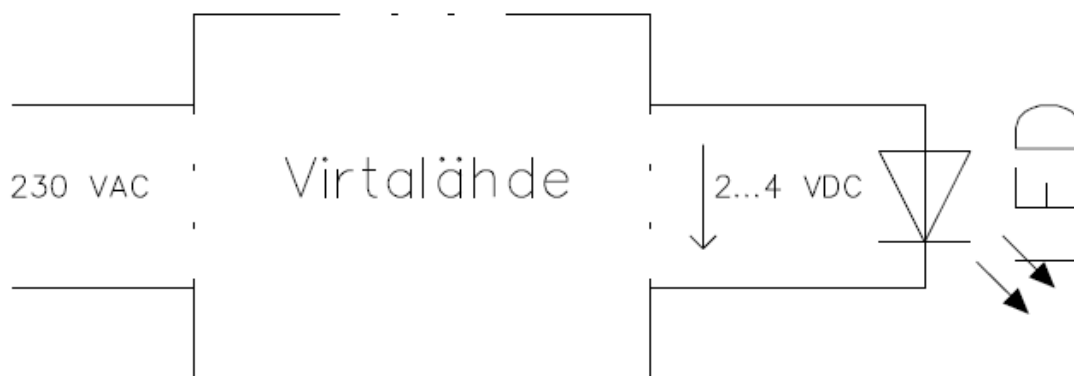
Ledeistä syntyvä valo on lähes monokromaattista ja sen aallonpituus riippuu puolijohdemateriaalien energiatasojen erotuksesta. Valitsemalla sopivia puolijohteiden seosaineita voidaan tuottaa punaisia, keltaisia, vihreitä ja sinisiä ledejä. Tällaiset ledit sopivat laitteiden merkkivaloiksi, mutta ne eivät sovellu valaistuskäyttöön. Valaistuskäyttöön tarvitaan valkoisia ledejä, joita tehdään lisäämällä sinisen tai UV-ledin pinnalle loisteainetta tai yhdistämällä eriväristen ledien valoa.



Kuva 1. Ledin rakenne (Technic www-sivut)

Ledit toimivat tasajännitteellä ja niiden kynnysjännite on ledin väristä riippuen noin 1,7 - 4,4 V. Näin ollen 230 V:n verkkokäytössä ledille tuleva jännite on alennettava ja tasasuunnattava. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää vastakkain kytkettyjä ledejä, joista toinen johtaa positiivisella puolijaksolla ja toinen negatiivisella puolijaksolla.

Tässä työssä tutkitaan kuluttajakäyttöön tarkoitettuja, E27-kantaisia, 230 voltin sähköverkkoon kytkettäviä led-lamppuja. Led-lamppu koostuu varsinaisesta edellä kuvatusta led-komponentista ja elektronisesta virtalähteestä, joka sovittaa ledin 230 V:n vaihtojännitteeseen (Kuva 2).



Kuva 2. Led-lamppu koostuu virtalähteestä ja led-sirusta

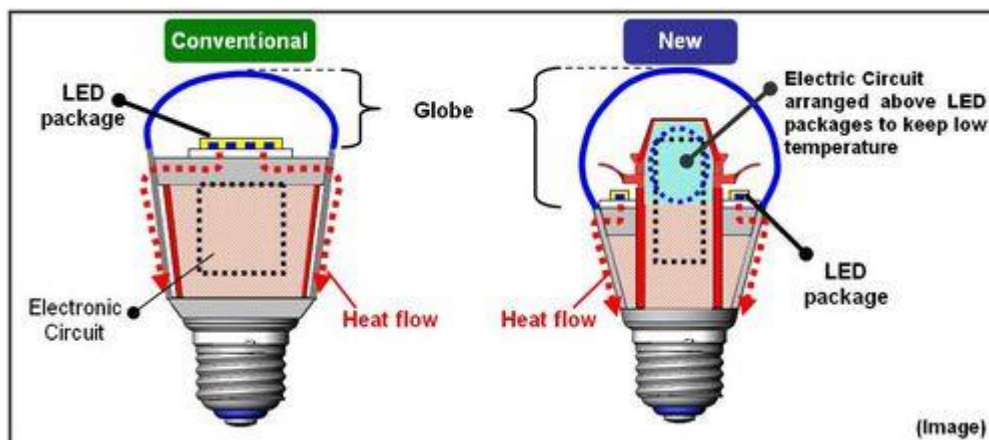
Led-lampun virtalähde voidaan toteuttaa monella tavalla. Vaikka työssä ei perehdytä tarkemmin lamppujen virtalähteiden tekniikkaan, on selvää, että nimenomaan led-lampun virtalähde vaikuttaa ratkaisevasti lampun hintaan, sen elinikään, sen aiheuttamiin häiriöihin ja energiatehokkuuteen.

2.2 Led-lampun hyödyt ja haitat

Led-lampulla on kilpailijoihinsa nähden etu lähes joka osa-alueella. Led on pitkäkestoinen, energiatehokas ja ympäristöystävällinen valaistusvaihtoehto. Lamput kestävät keskimääräisessä kulutuksessa noin 7-15 vuotta. Led-lampun elinikään vaikuttaa enimmäkseen sen sisältä löytyvä elektroniikka ja jäähdytyksen tehokkuus. (Tolonen 2013)

Led-lamput ovat vielä yksi hinnaltaan kalleimmista valaistusvaihtoehtoista kotitalouskäytössä, mutta markkinoiden kehittyessä hinnat tulevat laskemaan. Kantaan integroitu elektroniikka aiheuttaa sähkömagneettisten häiriöiden lisäksi yliaaltoja jakeluverkkoon. Jäähdytyslevyistä ja elektroniikasta johtuen led-lamppu on hehkulamppua huomattavasti painavampi. Led-lampun käyttöympäristön lämpötila

vaikuttaa myös lampun toimintaan. Kuumassa ympäristössä ledin polttoikä ja valontuotto heikkenevät. (Tetri 2010)



Kuva 3. Led-lampun rakenne (Panasonic 2011).

Vain jotkut led-lamput ovat himmennettävissä ja vaativat toimiakseen led-lampuille tarkoitetun himmentimen. Ennen led-lampun ostamista on hyvä miettiä, minkälaista lamppua itse tarvitsee. Lamppujen tekniset tiedot, himmentimien yhteensopivuudet ja paljon muuta löytyy jo nyt hyvin valmistajien kotisivuilta.

2.3 Ledien kehitys

Led on ollut käytössä jo vuosikymmenien ajan elektroniikassa. Ledien tehokkuus ja valovoima ovat kehittyneet nopeasti puolijohteiden ja muiden sovellusten kehittyessä. Aluksi ledejä käytettiin kaupallisissa tuotteissa erilaisina merkkivaloina. Ledejä on käytetty kotielektroniikassa jo useiden vuosien ajan, kuten televisiossa, radioissa ja puhelimissa.

2.4 Led-lamppujen kehitys

Led-lamppujen kehitys lähivuosina on ollut nopeaa ja niiden laatu ja turvallisuus on noussut uudelle tasolle. Kuluttajien kiinnostus ledejä kohtaan on painostanut valmistajia kehittämään tuotteitaan, eikä kehitys osoita hiipumisen merkkejä.

Vuonna 2006 uudet 100 lumenia per watti tuottavat ledit mahdollistivat ledien käytön valaistuksessa. EU:n asettamat uudet vaatimukset lamppujen energiatehokkuudesta siirsivät yrityksiä panostamaan led-lamppujen kehittämiseen. Tällä hetkellä suurimpana esteenä kehittymiselle on tarvittava jäähdytys, sekä lämpimän valkoisen valon ledin energiatehokkuus, joka on pienempi kuin kylmän valkoisen valon. Lisäksi uhkana pidetään valmistajien antamia lupauksia ledien pitkistä käyttöajoista ja kuluttajien suhtautumista, jos lupaukset eivät toteudu. (Suihkonen 2012)

2.5 Markkinat

Hehkulamppujen poistuessa markkinoilta on korvaavien tuotteiden määrä lisääntynyt merkittävästi. Kuluttajien kiinnostus led-lamppuihin on huomattu vähittäismyyjien keskuudessa ja valikoimat ovat kasvaneet. Valmistajat kilpailevat toistensa kanssa ledien kehityksessä ja yrittävät saada tuotteitaan uusille kasvavilla markkinoilla.

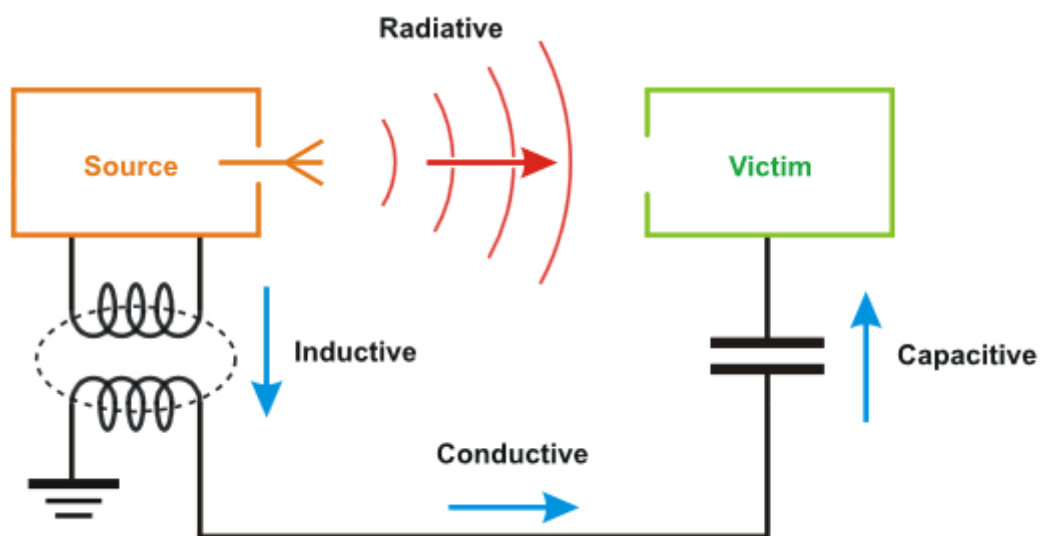
Maailmanlaajuisesti ledien osuudeksi valaistuksessa vuonna 2016 arvioidaan olevan 30-45 prosentin luokkaa. Vuosikymmenen vaihteessa se tulee nousemaan jopa 70 prosenttiin. Japanilaisia pidetään led-lamppujen käytön edelläkävijänä, sillä heillä on tavoitteena nostaa led-lamppujen käyttö 50 prosenttiin vuoteen 2016 mennessä. (Talouselämä –lehden www-sivut 2013)

3 SÄHKÖMAGNEETTINEN YHTEENSOPIVUUS

3.1 Yleistä

Sähkölaitteen tulee toimia sille tarkoitettussa ympäristössä lähettämättä muille laitteille niitä haittaavia häiriöitä. Lisäksi laitteen tulee sietää muiden laitteiden lähettämiä häiriöitä riittävästi. Laitteen tuottamiksi häiriöiksi luetaan kaikki sen hyötykäyttöön kuulumattomat ympäristöön lähettämät sähkömagneettiset ilmiöt. (Tukes 2014)

Sähkömagneettisia häiriöitä voi kulkeutua laitteelta toiselle monella eri tavalla (Kuva 4). Säteilevässä kytkeytymisessä häiriöt kulkeutuvat häiriöinaiheuttajalta radioaaltojen välityksellä. Induktiivinen kytkeytyminen tapahtuu magneettikentän ja kapasitiivinen kytkeytyminen sähkökentän välityksellä. Johtuvassa kytkeytymisessä häiriöt siirtyvät laitteelta toiselle kaapeloinnin välityksellä.



Kuva 4. Sähkömagneettisten häiriöiden kytkeytymistyyppit (Linja-Aho 2012).

3.2 EMC-Direktiivi

EMC-direktiivin avulla voidaan taata sähkölaitteiden toiminta niiden käyttöympäristöissä. Tämän avulla varmistetaan radio-, sähkö- ja tietoverkkojen oikea toiminta sähkölaitteiden lähellä. Direktiiviä ei sovelleta radio- ja telepäätelaitteiden, ilmailualan laitteiden, eikä joidenkin radiolaitteiden kanssa. (Tukes 2014)

EMC-direktiivi asettaa säädökset laitteille ja kiinteille asennuksille, jotka voivat aiheuttavat sähkömagneettisia häiriöitä tai altistuvat muiden laitteiden lähettämille häiriöille. EMC-direktiivi on uuden lähestymistavan direktiivi, jonka avulla saadaan nopeutettua EU:n sisällä tapahtuvaa standardisointia. Direktiiviä laadittaessa tuotteesta kirjataan vain sille tarkoitetut olennaiset vaatimukset, joiden pohjalta laitteelle luodaan standardi. (Suomen standardisoimisliitto)

3.3 EMC – valvonta

Täysin uusille laitteille ei ole vielä asetettu standardeja, joten valmistajan on vakuutettava laitteiden olevan direktiivien mukaisia. Valmistaja teettää laitteen arvioinnin laitoksella, joka on siihen kykenevä. Arvioinnin suorittajalta saatava lausunta lisätään laitteen teknisiin tietoihin. Kun kaikki asiakirjat ovat kunnossa laitteeseen lisätään CE-merkintä sekä muut EU-alueella vaadittavat merkinnät. Laitteen mukana on toimitettava tarvittavat ohjeet ja tiedot. Asiakirjoista käy ilmi laitteen yhteensopivuus muiden laitteiden kanssa ja laitteen häiriöttömyys ympäristöönsä. (Tukes 2014)

Vaatimustenmukaisuuden valvonnasta vastaavat viestintävirasto ja turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes. Tuotteiden myyntikielto ja –rajoitukset voi löytää Tukesin rekisteristä, sekä EU-komission vaarallisten tuotteiden listalta. Tukes on jo nyt asettanut useille led-tuotteille myyntikieltoja, kun ne eivät ole olleet sähkömagneettisesti yhteensopivia. Suurin syy led-tuotteiden myyntikieltoon tai markkinoilta poistoon on kuitenkin sähköiskun tai palon mahdollisuus. (Tukes 2014)

3.4 Häiriösäteily

Häiriösäteily on ilmassa kulkevaa sähkömagneettista säteilyä, joka koostuu sähkö- ja magneettikentästä. Jokainen sähkölaite aiheuttaa jännitteisenä sähkökentän ja virrallisena myös magneettikentän. Sähkökentän suuruuteen vaikuttaa laitteen jännitteen suuruus ja magneettikentän suuruuteen laitteen läpi kulkevan virran suuruus. (STUK 2014)

3.4.1 Häiriösäteilyn vaikutukset

Laitteen lähettävät tekniikastaan riippuen eri taajuisia häiriöitä ja tästä johtuen vaikuttaa ympäristöönsä eri tavoilla. Sähkö- ja magneettikentät voivat aiheuttaa häiriöitä samaa taajuutta käyttävässä radioliikenteessä tai kotitalouksissa käytettävissä laitteissa.

Suuret magneettikentät voivat aiheuttaa ihmisessä ärtymystä hermo- ja lihakudoksissa. Lisäksi voimakkaissa tapauksissa voi esiintyä kehon lämpenemistä ja näköaistimuksia. Voimakkaimmat vaikutukset johtuvat kuitenkin yleisesti ammattikäyttöön tarkoitettujen laitteiden kanssa, eikä niinkään kotitalouksissa. (Energiateollisuus 2013)

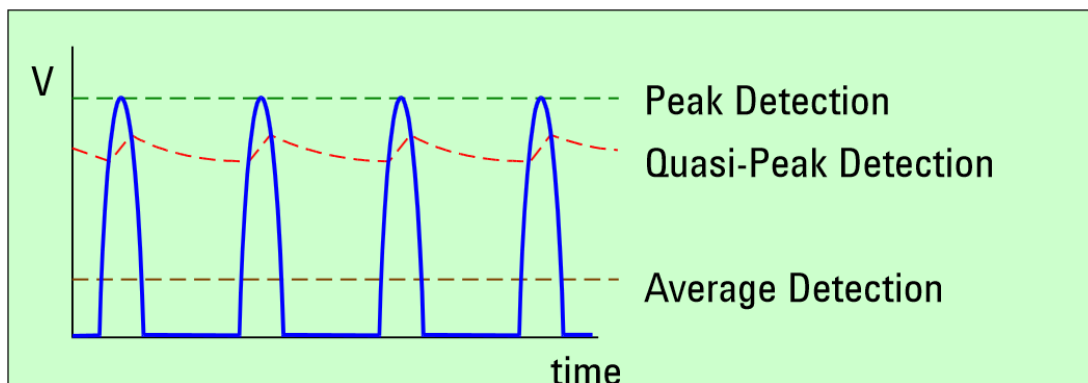
3.4.2 Häiriösäteilyn mittaaminen

Helpoin tapa häiriöiden tarkastelemiseen on niiden mittaaminen, mutta yksinkertaisimmissa tapauksissa kenttien suuruudet voidaan myös laskea. Mittausten aikana on tärkeää suodattaa ympäristön muiden häiriöiden vaikutukset, sekä todeta muut mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät.

Häiriösäteilyn mittaukset, kuten muutkin EMC-mittaukset, on hyvä suorittaa EMC-mittauksiin erikoistuneessa laboratoriossa ja asiantuntevan henkilön suorittamana. Näin voidaan varmistua siitä, että mittausympäristö ja laitteisto ovat standardien vaatimusten mukaisia

Häiriösäteilyn mittaukset tehdään puoli- tai täysinkaiuttomassa mittatilassa. Mittatilan ulkorakenne on metallia, joten se estää hyvin ulkopuolisen säteilevän häiriön pääsemisen mittatilaan. Mitattavan laitteen aiheuttamia häiriöitä estetään heijastumasta sisäpinnoilta lisäämällä mittatilaan vaimennusmateriaalia esimerkiksi ferriittilevyjä. Mitattavan laitteen lähettämä suora säteily vastaanotetaan antennilla, johon on kytketty mittavastaanotin. Mittavastaanottimen esittämiä PK-, QPK- ja AV-arvoja verrataan CISPR 15-standardissa esitettyihin raja-arvoihin.

PK-arvo (peak) on antennin mittaama sähkökentän maksimivoimakkuus tietyllä taajuudella. QPK-arvo (quasi-peak) seuraa PK-arvon jatkuvuutta: mitä useammin PK-arvo toistuu ja mitä suurempi se on kyseisellä taajuudella, sitä suurempi on QPK-arvo tällä taajuudella. AV- arvo (average) on PK-arvon keskiarvo mitta-alueelta. PK-arvo on aina QPK- ja AV-arvoja suurempi, joten jos PK-arvo ei ylitä vaadittuja raja-arvoja, ei QPK- tai AV-arvoja tarvitse huomioida. Kuvassa 5 on havainnollistettu, kuinka nämä arvot käyttäytyvät yhdellä kapealla taajuusvälillä.



Kuva 5. Mitattavat arvot havainnollistettuna. (Sacchi 2011)

3.4.3 Häiriösäteilyn estäminen

Sähkökenttien tehokas vaimentaminen tapahtuu laitteen koteloinnin avulla. Metallinen tai muu sähköä johtava kotelointi estää sähkökentän leviämistä ympäristöön, mutta ei vaimenna magneettikenttää. Magneettikentän vaimennukseen on kehitelty esimerkiksi MCL61-magneettikentän vaimennusmateriaali.

Laitteen täydellinen kotelointi on harvoin mahdollista esimerkiksi jäähdytyksen tai kytkentäkaapeleiden takia. Säteily ei kuitenkaan pääse juurikaan etenemään kotelon ulkopuolelle, jos reiän suuruus on aallonpituuden kymmenesosa tai pienempi. Led-lamppuja purettaessa huomattiin, että yleensä lamppujen kannassa oleva elektroniikka oli ympäröity metallisella kuorella. Metallisen kuoren ulkopuolelle jäivät ainoastaan ledit ja niiden syöttöjohtimet.

3.5 Johtuvat häiriöpäästöt

Johtuvalla häiriöllä tarkoitetaan häiriön siirtymistä galvaanisen yhteyden vuoksi häiriön aiheuttajalta laitteelle. Laitteiden sähkönsyöttökaapelit voivat lähettää ja vastaanottaa säteileviä häiriöitä, mutta ne voivat vielä galvaanisesti siirtää häiriöitä laitteilta toiselle. Johtuvat häiriöt voivat rikkoa laitteesta elektroniikkaa tai aiheuttaa laitteelle ei-toivottua toimintaa.

3.5.1 Johtuvien häiriöiden mittaus

Johtuvien häiriöiden mittauksissa mitataan laitteen tuottamia häiriöitä sen syöttökaapelista. Mittaukset suoritetaan 9 kHz - 30 MHz taajuusalueelta. Mittauksissa käytetään keinoverkkoa, jonka avulla verkon impedanssi saadaan stabilisoitua. Keinoverkkoon kytketään mitattava laite, sekä mitattavaa signaalia keinoverkolta mittalaitteelle siirtävä antennijohto. Kaistanleveytenä käytetään 200 Hz:n kaistanleveyttä pienemmille taajuuksille ja suuremmille enintään 9 kHz:n kaistanleveyttä. (Lehtio)

3.5.2 Johtuvien häiriöiden estäminen

Johtuvia häiriöitä voidaan vähentää esimerkiksi johtojen tarkalla mitoituksella, sillä pidemmät johdot vastaanottavat häiriöitä herkemmin. Lisäksi häiriöitä voidaan vähentää suodattimilla, mikäli suodatettavan häiriön taajuus on eri kuin käytettävä taajuus.

3.6 Häiriöiden sietokyky

Häiriöiden sietokyvyn testauksessa on tarkoituksena seurata laitteen reagoimista erilaisiin siihen kohdistuviin häiriöihin. Toisin sanoen tutkitaan, toimiiko laite, vaikka siihen kohdistuu häiriöitä.

Sähköstaattisen purkauksen sietotestissä on tarkoitus tutkia, miten laite reagoi, kun siihen osuu eri potentiaalissa oleva pinta, esimerkiksi ihmisen kosketuksesta aiheutuva staattisen sähkön purkaus. Laitteille tehdään kosketus- tai ilmapurkauksia, joissa testataan miten laite reagoi testilaitteen koskettaessa ja millä välimatkalla purkaus tapahtuu. (Lehtio)

Sähkömagneettisen kentän sietotestissä laitetta häiritään häiriögeneraattorilla, joka lähettää eri taajuisia sähkökenttiä laitetta kohti antennin välityksellä. Mittaukset suoritetaan täysin- tai puolikaiuttomassa mittatilassa, joten ulkopuoliset häiriöt eivät

häiritse mittatilannetta. Tutkittavaa laitetta voidaan kuvata videokameralla, jolloin voidaan reaaliaikaisesti seurata laitteen reagointia eri taajuisille häiriöille.

Transienttipurskeen sietotestissä on tarkoituksena lähettää laitteelle nopeita transienttipurskeita, sähkönsyötön tai signaalinapojen kautta. Transienttipurskeita voi syntyä esimerkiksi kytkinlaitteen käytöstä. Testauslaite vaihtaa napaisuutta standardin mukaisin väliajoin ja lähettää purskeita määrätyllä jännitteellä. Mittaukset suoritetaan standardin IEC 6100-4-4 mukaisesti.

Syöksyaallon sietotestissä testataan, kuinka laite reagoi suuriin jännitepiikkeihin. Sähkönsyötössä syöksyaaltoja aiheuttavat esimerkiksi salamaniskut lähellä sähkölinjaa, jolloin jännitepiikit johtuvat kaapelointeja pitkin laitteille. Syöksyaallot saattavat aiheuttaa laitteen rikkoontumisen. Testauslaite lähettää laitteelle standardissa IEC 6100-4-5 määritellyn jännitepiikin normaalisti 50 Hz:n syötetyn siniaallon eri hetkillä.

4 MITTAUKSET

Mittausten tarkoituksena oli tarkastella eri led-lamppujen aiheuttamia sähkömagneettisia häiriöitä, sekä lamppujen sietokykyä eri häiriöille. Mittauksilla haluttiin nähdä, onko eri valmistajien lampuilla eroavaisuuksia ja pysyvätkö mittaustulokset raja-arvojen alapuolella.

4.1 EMC-laboratorio

Mittaukset tehtiin Satakunnan ammattikorkeakoulun Rauman yksikön EMC-laboratoriossa täysin kaiuttomassa mittatilassa. Rauman EMC-laboratoriossa voidaan todeta tuotteen EMC-kelpoisuus sekä auttaa laitteen kehittämisessä.

Mittaustila oli vuorattu materiaalilla, joka ehkäisee laitteen lähettämien häiriöiden heijastumista. Näin voidaan olla varmoja siitä, että mittalaite havaitsee vain laitteen suoraan lähettämät häiriöt. Mittatilassa oli myös pyörityspöytä, jota voitiin ohjata

mittatilan ulkopuolella sijaitsevalla tietokoneella. Pöydän kulmaa voitiin muuttaa haluttuun asentoon tai pyörittää sitä automaattisesti 360 astetta vaakatasossa. Tilan toisessa päässä oli antenni, jonka avulla voidaan mittaustilanteesta riippuen lähettää tai vastaanottaa häiriötä. Mittatasoa voidaan seurata tilaan sijoitetulla kameralla ja mittaustuloksia tilan ulkopuolelta olevalta mittalaitteelta.

4.2 Mittalaitteet

4.2.1 Mittavastaanotin

Suoritetuissa mittauksissa käytettiin Rohde & Schwarz ESPI 7 -mittavastaanotinta. Mittavastaanotin vastaanottaa mittalaitteilta saadun sähkökentän ja esittää ne mittaajalle näytöllä desibelimikrovoltteina taajuuden funktiona. Vastaanottimelle on mahdollista asettaa standardien esittämät raja-arvot, jolloin mittaushetkellä on helposti havaittavissa, ylittääkö mitattu laite raja-arvot. Laitteella voitiin myös siirtää tarkempia tuloksia suoraan Excel-taulukkoon, josta nähtiin mittauservojen etäisyys raja-arvosta.

4.2.2 Keinoverkko

Johtuvien häiriöiden mittausten toistettavuus voidaan varmistaa käyttämällä verkon impedanssin vakioivaa laitetta. Mittauksissa käytettiin keinoverkkona AFJ LS 16-laitetta (Kuva 6). Keinoverkon syötössä käytettiin CDN-M3-suodatinta ehkäisemään sähköverkosta johtuvia häiriöitä.



Kuva 6. Mittauksissa käytetty keinoverkko.

4.2.3 EFT 500-M ja VCS 500

Transienttipurskeen sietotesteissä käytettiin EFT 500-M -testilaitetta ja syöksyaallon sietotestissä VCS 500 -testilaitetta. Testejä ohjattiin ISMIEC -ohjelmiston avulla.

4.3 Mittauksissa käytetyt lamput

Mittauksissa käytettiin kuluttajalle saatavilla olevia led-lamppuja. Käytössä oli kuuden eri valmistajan lamppuja. Lamppuina käytettiin CE-hyväksytyjä Osram, Megaman, GE, Duracell, LED Energie ja Star Trading lamppuja, sekä tuntematonta kiinalaisvalmisteista led-lamppua. Lisäksi suoritettiin vertailumittauksia energiansäästö- ja hehkulamputilla

Taulukko 1. Led-lamppujen valmistajien ilmoittamat tiedot.

Lamppu	Valo- virta [lm]	Teho [W]	Käynnistys- kerrat	Käyttöikä [h]	Väriämpö- tila [K]	Värintoisto- indeksi Ra [CRI]	Kanta	Himmen- nettävä
Duracell	806	9,5	40000	15000	2700	>80	E27	Ei
GE	810	12	25000	25000	2700	>80	E27	Kyllä
Led Energie	806	10	>=20000	30000	3000	80	E27	Ei
Megaman	810	9,5	1000000	15000	2800	80	E27	Ei
Osram	806	10	100000	25000	2700	80	E27	Kyllä
Star Trading	806	10,5	12500	25000	2700	80	E27	Ei

Lampuista Osram ja GE olivat himmennettävissä. Mittauksissa käytettiin Schneider Electricin Exxact- ja Artic -transistorihimmentimiä ja Elkon RS16/315 GLE -himmennintä. Lamppujen elektroniikkaa tutkittaessa huomattiin, että himmennettävät lamput vaativat enemmän komponentteja, mikä nostaa tuotteiden hintaa ja vikaherkkyyttä.

Monet lamput lämpenivät mittausten aikana huomattavan paljon. GE-lampun suojakupu irtosi liimauksistaan viimeisten mittausten aikana. Muuten lamput kestivät testit hyvin, eikä yksikään muista lamputa rikkoontunut mittausten tai testien aikana.

4.4 EMC-mittaukset

Kaikki mittaukset suoritettiin EN- ja IEC-standardien mukaan tai niitä soveltaen. Taulukoissa 2 ja 3 on säteilevien ja johtuvien häiriöiden raja-arvot valaisinlaitteille CISPR 15-standardista, joita käytettiin myös näissä mittauksissa. Tiedot tehdyistä mittauksista listattiin mittauspöytäkirjaan, sekä mittaustulokset mittalaitteilta kuvina tietokoneelle.

Taulukko 2. Säteilevien häiriöiden raja-arvot valaisinlaitteille. (CISPR 15:2005)

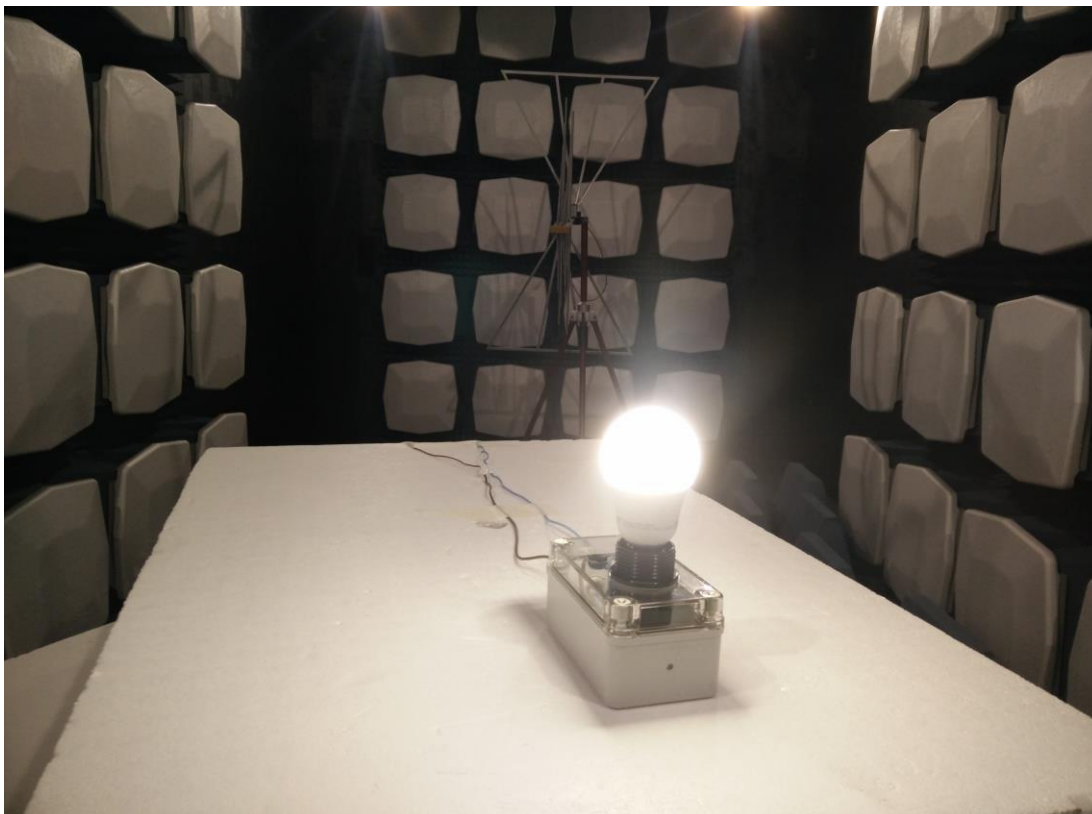
Säteilevien häiriöiden raja-arvot	
Taajuusalue [MHz]	QPK [dBμV/m]
30 - 230	30
230 - 300	37
Rajakohdissa käytetään pienempää arvoa	

Taulukko 3. Johtuvien häiriöiden raja-arvot valaisinlaitteille. (CISPR 15:2005)

Johtuvien häiriöiden raja-arvot		
Taajuusalue	Rajat [dBμV]	
	QPK	Average
9 kHz - 50 kHz	110	-
50 kHz - 150 kHz	90 - 80*	-
150 kHz - 0,5 MHz	66 - 56*	56 - 46*
0,5 MHz - 5 MHz	56	46
5 MHz - 30 MHz	60	50
* Raja laskee lineaarisesti		

4.4.1 Häiriösäteilyn mittaukset

Häiriösäteilyn mittaukset suoritettiin täysin vaimennetussa tilassa, jossa on tilan ulkopuolelta käännettävissä oleva pyörityspöytä. Laite asetettiin pöydälle niin, ettei se päässyt liikkumaan pöytää pyöritettäessä. Huoneen toisessa päässä oleva mittavastaanotin mittaa laitteen suoraan lähettämiä häiriöitä.



Kuva 7. Lamppu mittatilanteessa pyörityspöydällä.

Mittatilan ulkopuolelle sijoitetuilta tietokoneilta voitiin lukea häiriön voimakkuus eri taajuusalueilla, sekä muuttaa laitteen kulmaa pöytää pyörittämällä 360 astetta vaakatasossa. Näin pystyttiin etsimään kulma, jossa laitteen lähettämät häiriöt olivat suurimmillaan. Tässä tapauksessa havaittiin mittalaitteiston antavan suurimman lukeman pöydän ollessa 250 asteen kohdalla antennin pystypolariteetilla (Kuva 8) ja nollla astetta antennin vaakapolariteetilla (Kuva 9). Näitä pöydän kulmia käytettiin jokaisen lampun säteilevien häiriöiden mittauksissa. Pöydän kulma ja antennin polariteetti vaikuttivat kuitenkin vain vähän mittauservoihin, sillä enimmillään ero oli noin 2 dB μ V/m. Mittaukset suoritettiin CISPR 15 standardin mukaisesti 30 - 300 MHz:n taajuusalueelta.



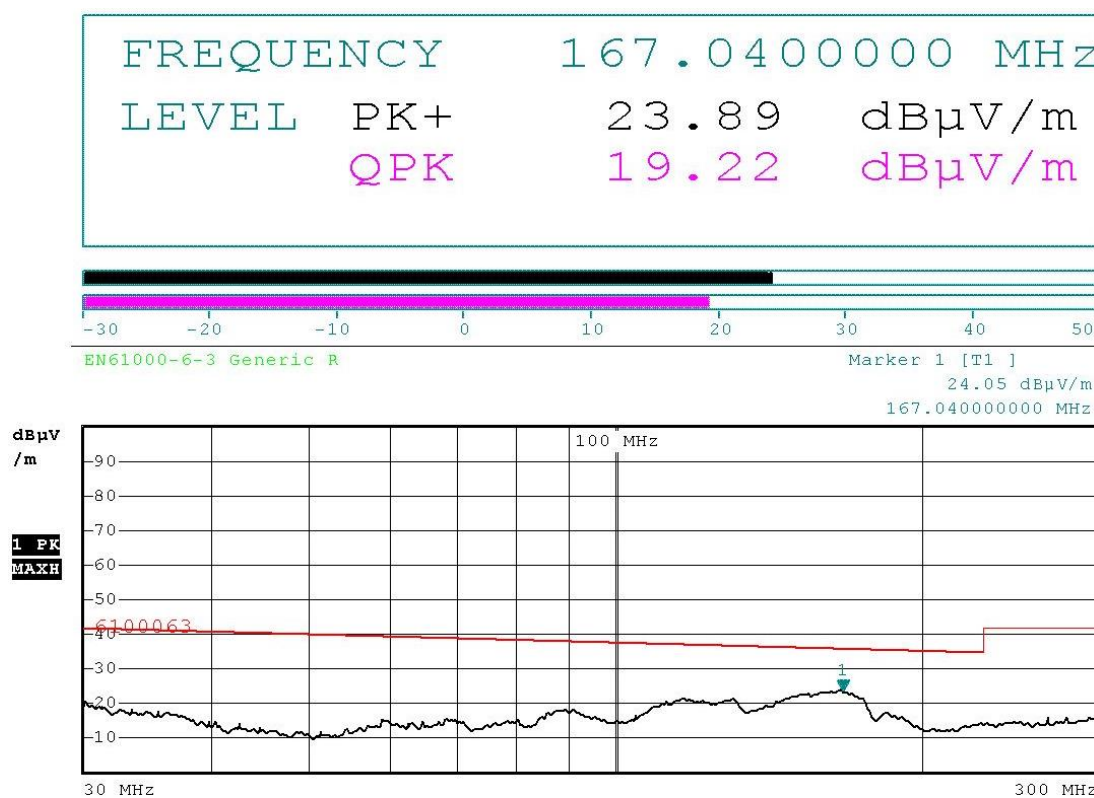
Kuva 8. Antenni pystypolariteetissä.



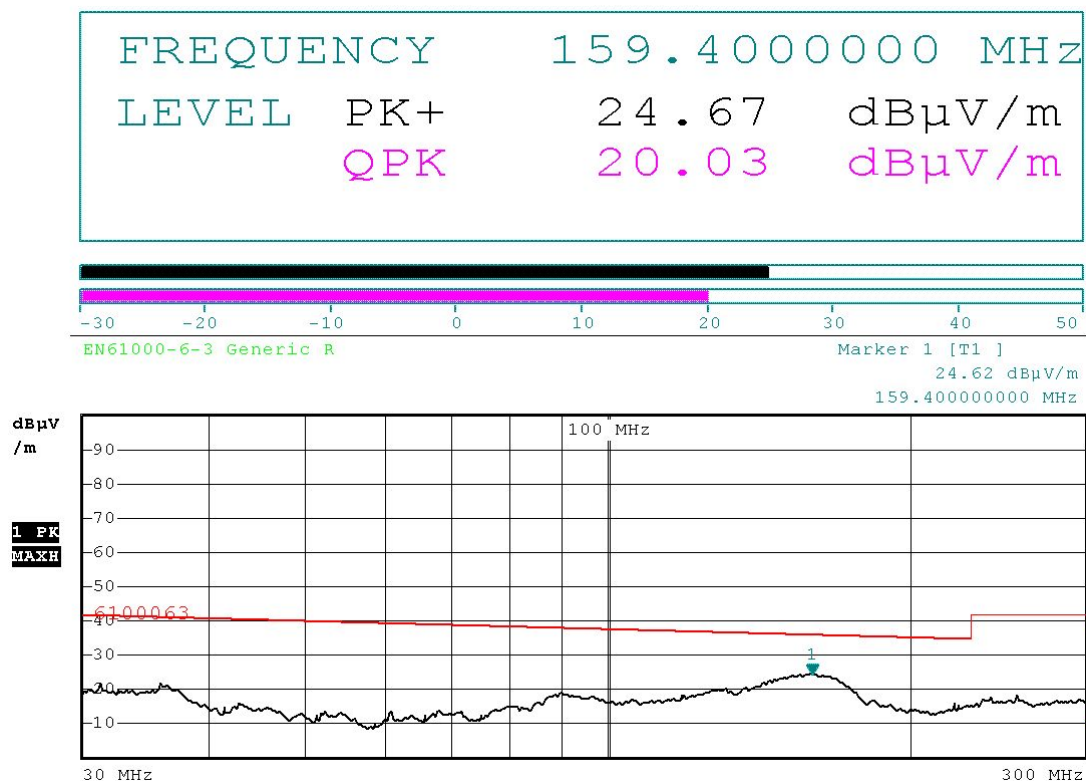
Kuva 9. Antenni vaakapolariteetissä.

Mittavastaanotin esitti laitteen häiriöt PK-, QPK- ja AV-arvoilla halutulla taajuudella. Näytölle piirtyi kuvaaja PK-arvosta. Arvoja verrattiin CISPR 15-standardin QPK-raja-arvoihin. Jos mittausarvot olivat lähellä standardin asettamia arvoja, tehtiin tarkempi mittaus mahdolliselta ylitysalueelta.

Kuvassa 10 ovat GE-merkkisen led-lampun lähettämät häiriöt 30 – 300 MHz:n taajuusalueella antennin ollessa vaakapolariteetissa ja kuvassa 11 pystypolariteetissa. Mittalaite on merkinnyt kuviin punaisella viivalla standardin asettaman raja-arvon kyseiselle mittaukselle, sekä PK-arvon eri taajuuksilla. PK-, QPK- ja AV-arvot esitetään valitulla taajuudella. Tässä tapauksessa nuolen osoittamissa kohdissa taajuuksilla (FREQUENCY) 167 ja 159 MHz:ä. Kuvista voidaan päätellä arvojen jäävän selvästi alle standardin vaatimien rajojen, joten tarkempia mittauksia ei vaadita.

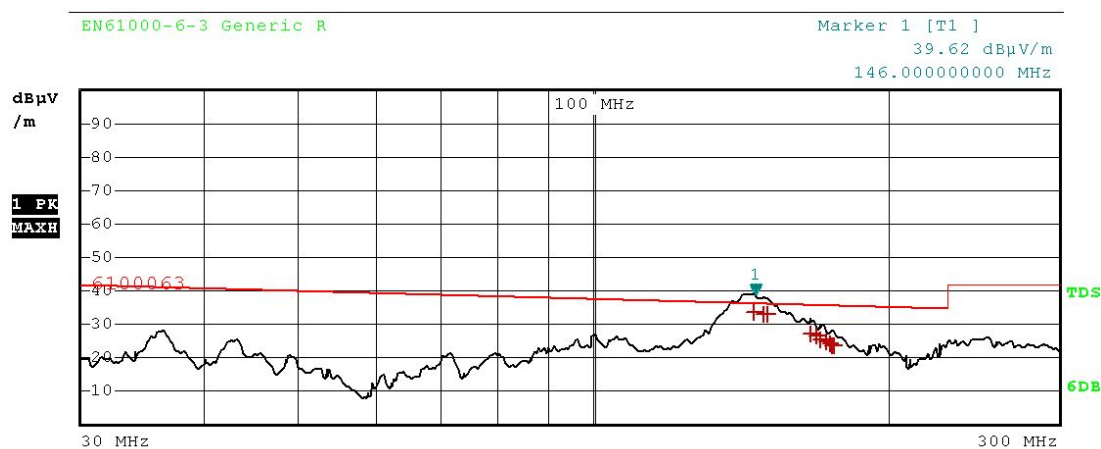


Kuva 10. GE-lampun säteilevien häiriöiden mittaus antennin ollessa vaakapolariteetissa.



Kuva 11. GE-lampun säteilevien häiriöiden mittausta antennin ollessa pystypolariteetissa.

Kuvassa 12 voidaan havaita Star Trading-lampun ylittävän raja-arvon, joten tältä alueelta tehtiin tarkemmat mittaukset. Punaiset ristit ovat mittalaitteen ottamia mittauspisteitä QPK-arvosta. Arvot saadaan mittalaitteelta Excel-dokumenttiin. Näistä arvoista nähdään tarkemmin, kuinka lähellä arvot ovat todellisuudessa asetettuja raja-arvoja. Taulukosta 4 havaitaan, että QPK-arvo jää vielä noin 2,7 dB μ V/m alle rajan, joten se on standardin vaatimusten mukainen.

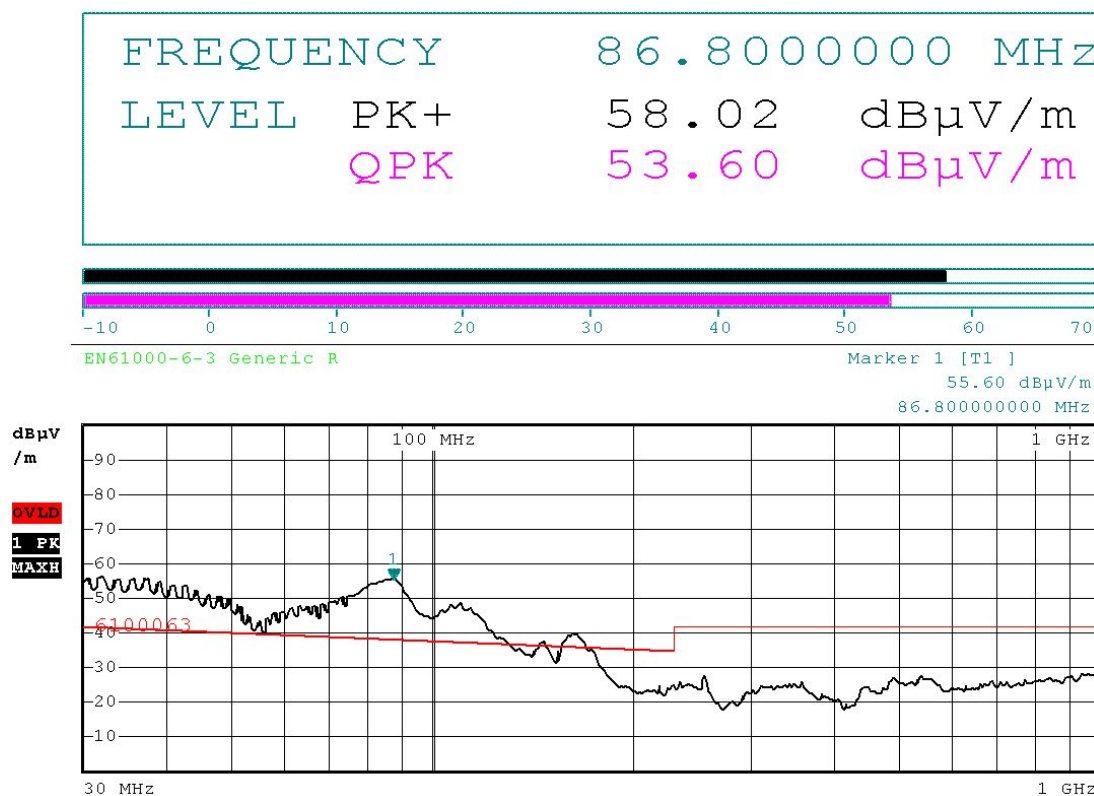


Kuva 12. Star Trading-lampun säteilevien häiriöiden mittausta antennin ollessa pystypolariteetissa.

Taulukko 4. Star Trading-lampun säteilevien häiriöiden mittaussuunnitelma antennin ollessa pystypolariteetissa.

Taajuus [MHz]	Häiriötaso QPK [dB μ V/m]	Marginaali QPK [dB μ V/m]
146	33,9	-2,7
149,8	33,2	-3,3
150,8	32,8	-3,7
167,1	27	-9,1
168,9	26,9	-9,2
171,0	25,6	-10,4
172,8	24,7	-11,2
174,9	24,3	-11,6
176,2	23,4	-12,5
176,8	23,4	-12,5

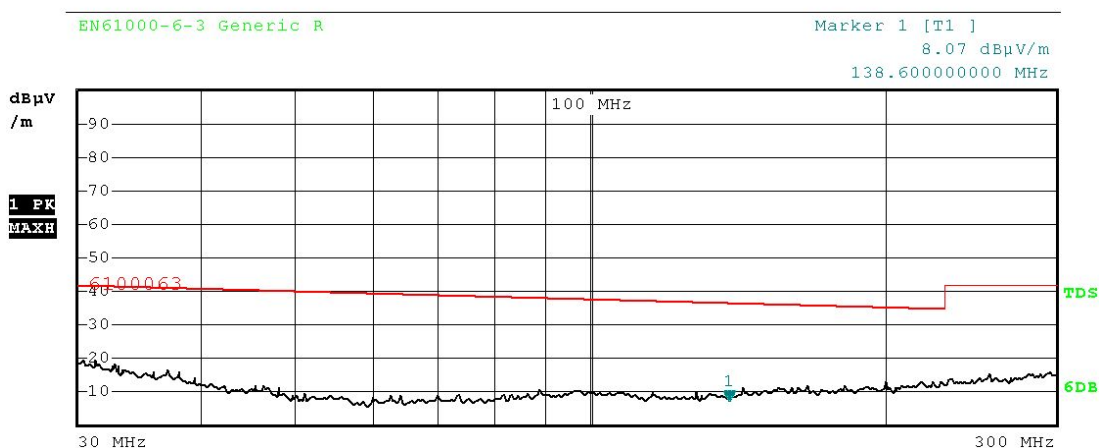
Myös tuntemattoman (ei tuotenimiä) kiinalaisvalmisteisen led-lampun säteilyhäiriöt mitattiin. Lampussa ei ollut merkintöjä sen tehosta tai mahdollisesta CE-hyväksynnästä. Lampun mitattu teho oli kuitenkin noin 5 wattia. Kuvassa 13 nähdään kyseisen lampun ylittävän standardin QPK-rajan pöydän ollessa nollassa asteessa ja antennin ollessa vaakapolariteetissa. Koska raja-arvon ylitys on näin selvä, tarkempia mittauksia ei tarvitse suorittaa.



Kuva 13. Kiinalaisvalmisteisen led-lampun säteilevien häiriöiden mittaussuunnitelma antennin ollessa vaakapolariteetissa.

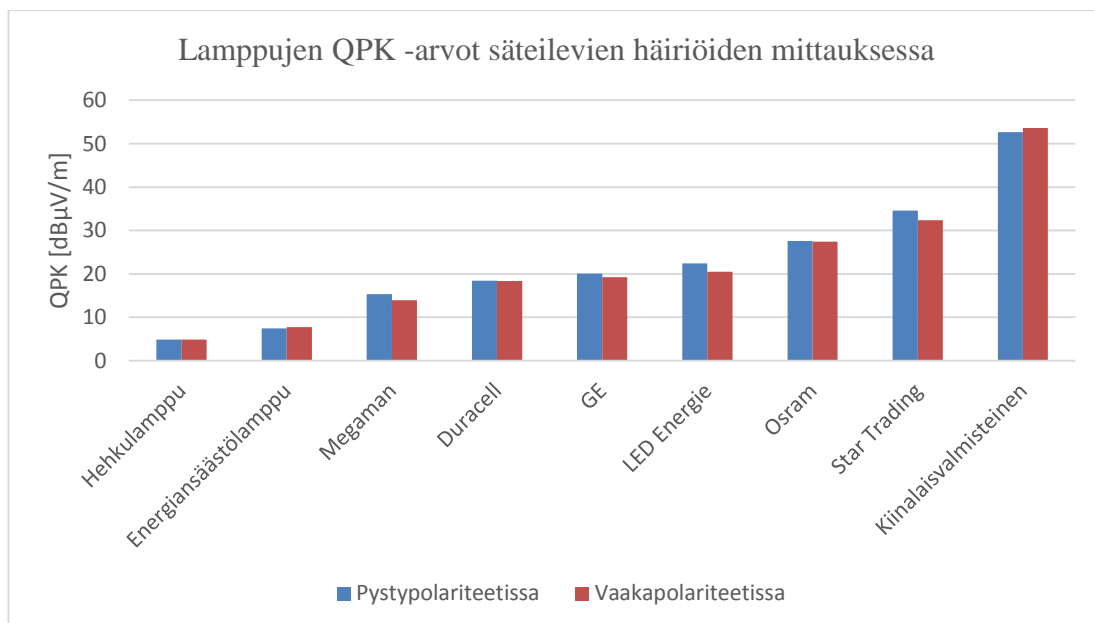
Häiriösäteilyn vaikutuksia havainnollistettiin kuuntelemalla FM-radiokanavaa 93,3 MHz:n taajuudella mittavastaanottimella mittauksissa käytetyn antennin kautta. Kiinalaisvalmisteisen led-lampun ollessa päällä mittatilassa, radiokanavan tuottamaa ääntä ei voinut enää erottaa kohinan seasta.

Hehkulampuilla ja energiansäästölamppuilla tehtiin vertailumittauksia. Hehkulamppua mitattaessa oletettiin häiriöiden pysyvän nollassa, sillä hehkulampun tekniikassa ei ole häiriöitä aiheuttavia komponentteja. Kuvasta 14 voidaan nähdä hehkulampun mittauksista saatu häiriötaso, joka oletettiin olevan jonkinlaista taustakohinaa. Näiden häiriöiden ei kuitenkaan uskottu vaikuttavan led-lampuille tehtyihin mittauksiin, sillä jokaisen lampun häiriötasot ylittivät kyseisen taustakohinan.



Kuva 14. Hehkulampun säteilevien häiriöiden mittaus antennin ollessa pystypolariteetissa.

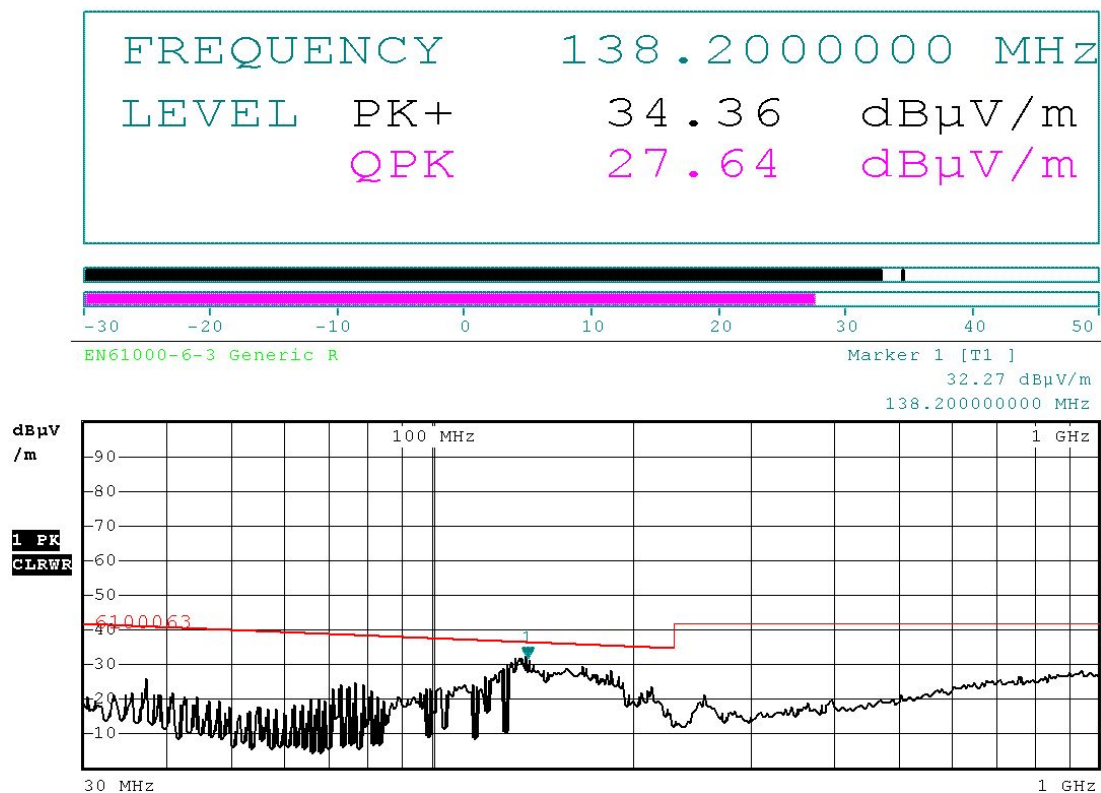
Kuvasta 15 voidaan vertailla lamppujen QPK-arvoja. Arvot ovat lamppujen suurin QPK-arvo mittausalueella. Parhaiten säteilevien häiriöiden mittauksista selviytyi Megaman led-lamppu, joka tuotti lähes 20 dBµV/m vähemmän häiriöitä, kuin huonoiten suoriutunut CE-hyväksytty lamppu Star Trading. Häiriöiden lähettäjänä kiinalaisvalmisteinen led-lamppu oli omassa luokassaan.



Kuva 15. Lamppujen QPK-arvot säteilevien häiriöiden mittauksessa.

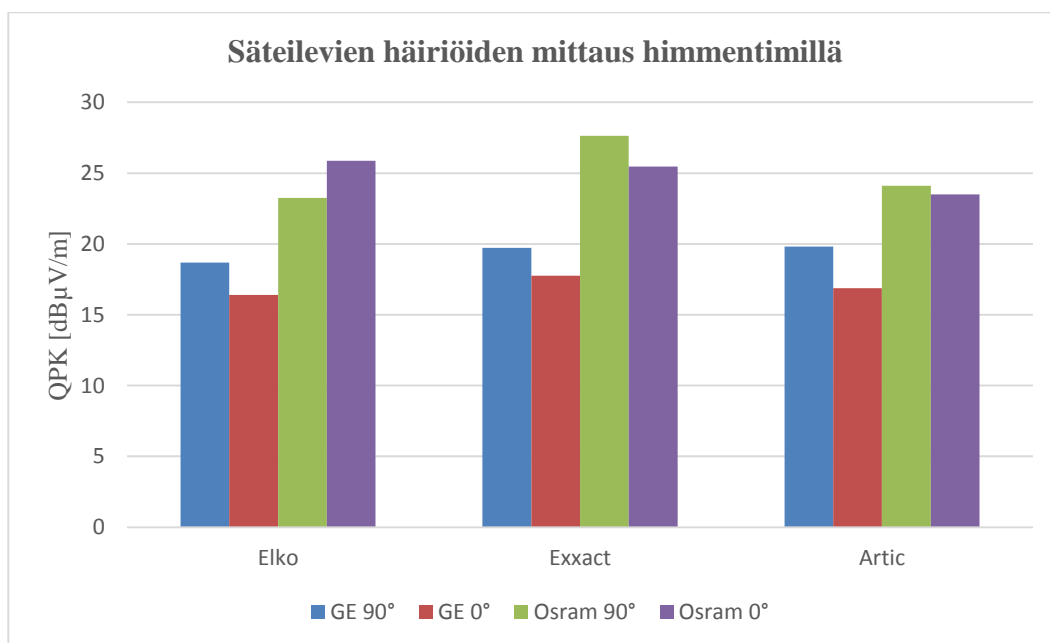
4.4.2 Häiriösäteilyn mittaukset himmentimillä

Häiriösäteilyn mittaukset tehtiin myös himmentimille. Mittauksissa käytettiin Osram- ja GE-lamppuja, sillä ne olivat ainoat himmenyskäyttöön soveltuvat lamput. Mittauksissa himmentimien säätö asetettiin viiteenkymmeneen prosenttiin. Mittaukset tehtiin pöydän kulmilla 90 astetta antennin ollessa pystypolariteetissa ja nolla astetta antennin ollessa vaakapolariteetissa. Mittauksissa lamppu ja himmentin -yhdistelmät pysyivät hyvin standardien vaatimissa rajoissa. Kuvassa 16 lähimmäksi standardin asettamaa rajaa ylittävä Osram-lampun ja Exxact-himmentimen yhdistelmä.



Kuva 16. Osram-lampun ja Exxact-himmentimen yhteisesti tuottama häiriösäteily.

Kuvasta 17 voidaan havaita Osram-Exxact yhdistelmän tuottavan eniten säteileviä häiriöitä. GE-lamppu tuottaa vähemmän häiriöitä kuin Osram-lamppu jokaisella himmentimellä, kuten myös ilman himmentimiä tehdyissä mittauksissa.

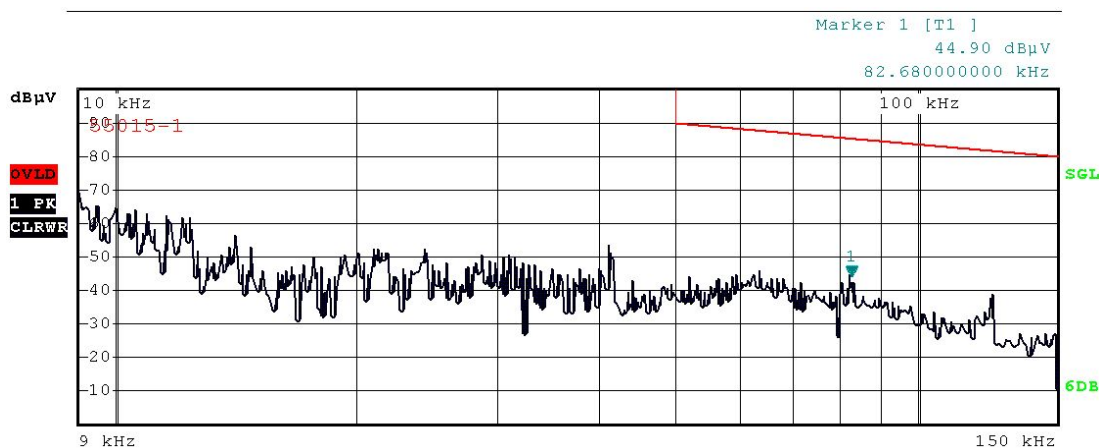


Kuva 17. Himmentimien säteilevien häiriöiden vertailu.

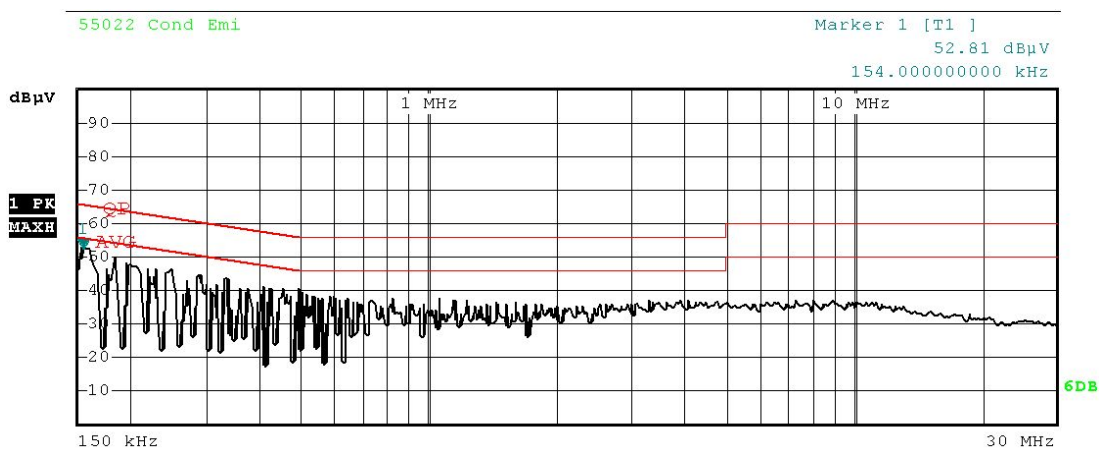
4.4.3 Johtuvien häiriöiden mittaukset

Johtuvien häiriöiden mittauksissa käytettiin jokaisen valmistajan lamppuja, sekä vertailumittauksissa hehku- ja energiansäästölamppuja, kuten edellä säteilevien häiriöiden mittauksissa. Mitattava led-lamppu ja mittalaite kytkettiin keinoverkkoon. Mittaukset suoritettiin 9 kHz:n ja 30 MHz:n välillä. Mittauksia seurattiin mittavastaanottimelta ja tulokset tallennettiin tietokoneelle kuvina, sekä mittauksien tiedot ja kommentit lisättiin pöytäkirjaan. Mittalaitteistolle asetetut valmiit standardin mukaiset rajat ja niiden mahdolliset ylitykset näkyivät näytöltä.

Kuvasta 18 ja kuvasta 19 voidaan huomata Megaman-lampun johtuvien häiriöiden pysyvän huomattavasti CISPR 15-standardin vaatimaa tasoa alempana 9 – 150 kHz:n alueella, sekä 150kHz:n ja 30 MHz:n välillä hyvin tason alapuolella, jolloin tarkempia mittauksia ei tarvita standardin mukaisuuden toteamiseksi.

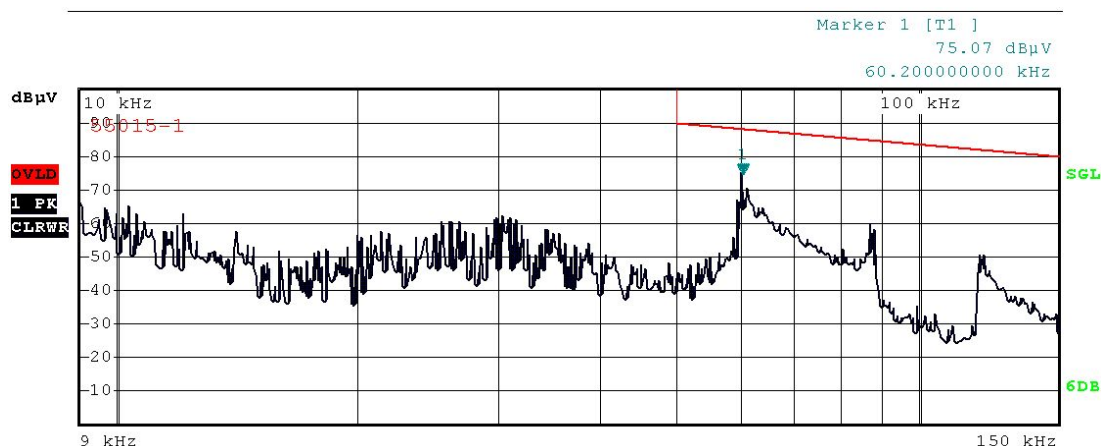


Kuva 18. Megaman-lampun johtuvien häiriöiden mittaus 9 – 150 kHz:n väliltä.



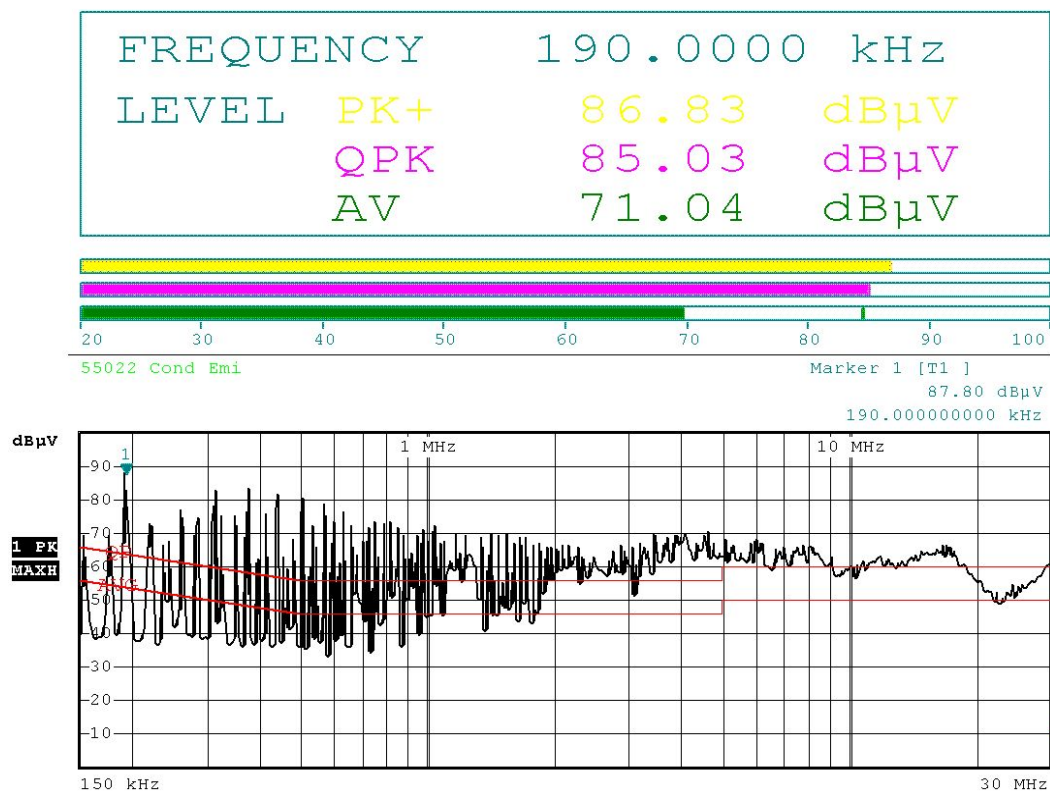
Kuva 19. Megaman-lampun johtuvien häiriöiden mittaus 150 kHz:n ja 30 MHz:n väliltä

Kuvasta 20 voidaan havaita Osram-lampun mittauksissa esiintyvän äkillisen nousun noin 60, 90 ja yli 100 kHz:n kohdalla. Nämä piikit syntyvät ilmeisesti tällä taajuudella toimivasta hakkuritehonlähteestä, jota käytetään led-lamppujen elektroniikassa.



Kuva 20. Osram-lampun johtuvien häiriöiden mittaus 9 – 150 kHz:n väliltä.

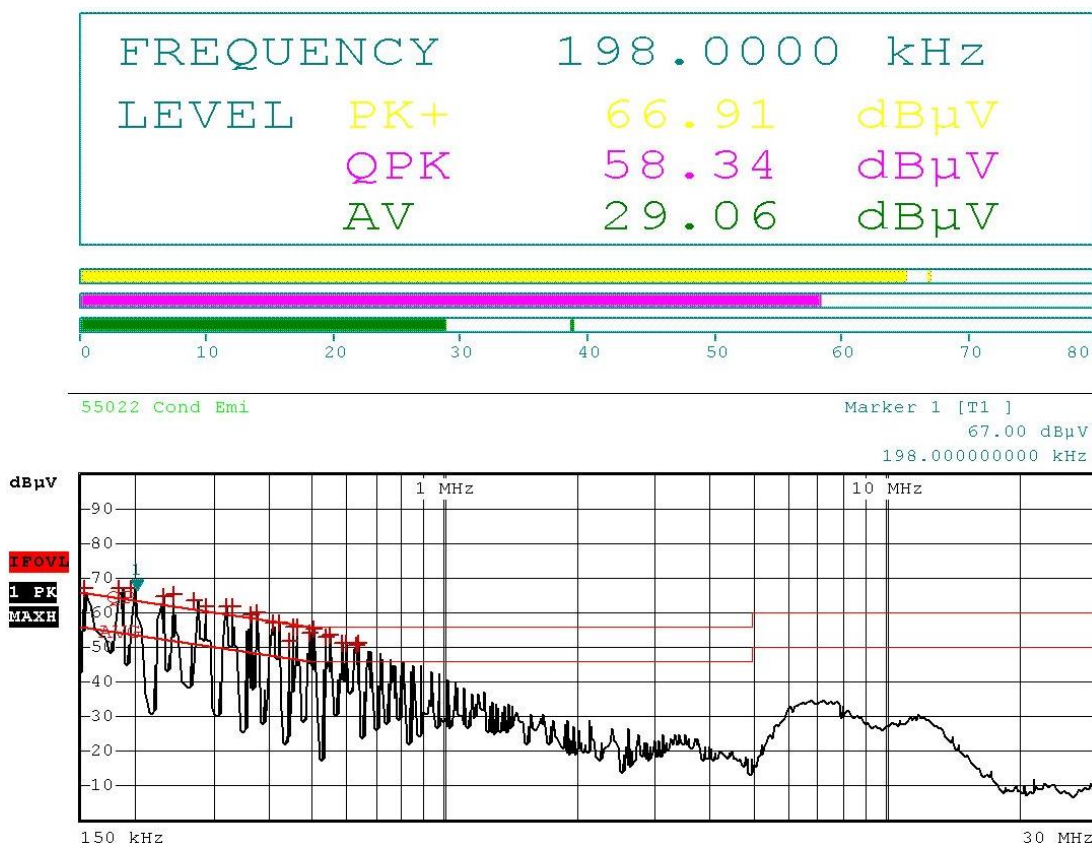
Kuvasta 21 voidaan havaita kiinalaisvalmisteisen led-lampun ylittävän asetetut raja-arvot selvästi. Voidaan siis todeta ilman tarkempia mittauksia, että se ei ole standardien mukainen.



Kuva 21. Kiinalaisvalmisteisen led-lampun johtuvien häiriöiden mittaus 150 kHz:n ja 30 MHz:n väliltä.

4.4.4 Johtuvien häiriöiden mittaukset himmentimillä

Himmentimille suoritettiin myös johtuvien häiriöiden mittauksia. Mittauksissa käytettiin viidenkymmenen prosentin säätöä himmentimessä. Mittaukset suoritettiin taajuuksien 150 kHz:n ja 30 MHz:n välillä. Kuvassa 22 GE-lampun ja Artic-himmentimen yhdistelmä näyttävät ylittävän QPK-rajan, joten yhdistelmälle tehtiin myös tarkempi mittaus. Taulukosta 5 havaitaan näiden häiriöiden kuitenkin jäävän vielä alle annettujen rajojen.

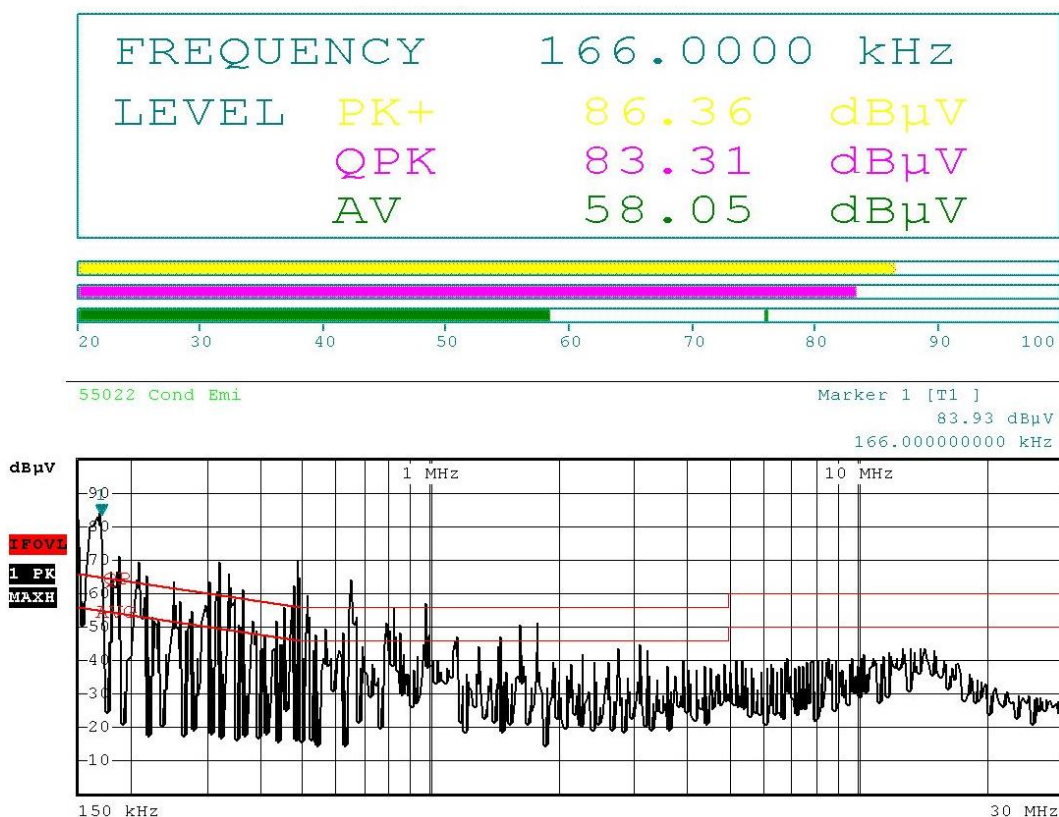


Kuva 22. GE-lampun ja Artic-himmentimen yhteisesti tuottama johtuva häiriö.

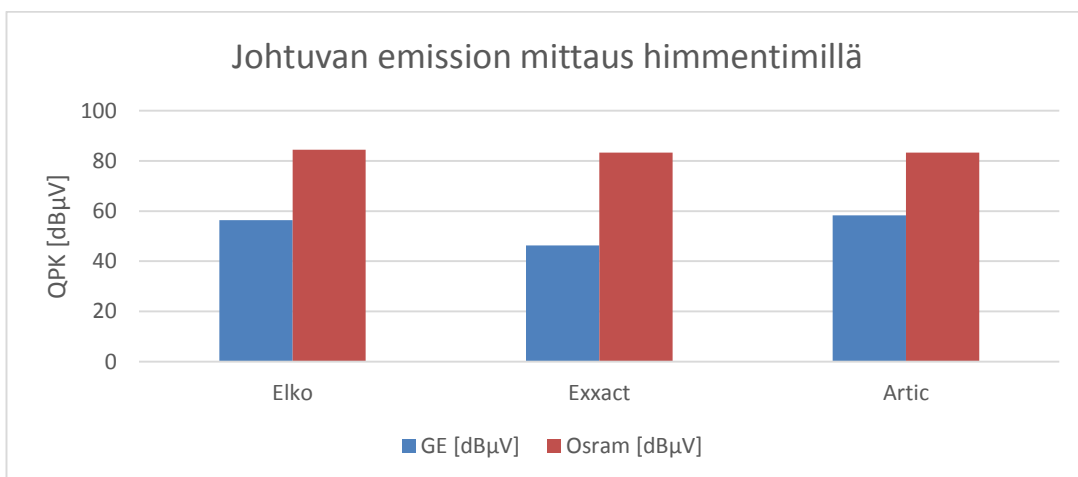
Taulukko 5. GE-lampun ja Artic-himmentimen yhteisesti tuottama johtuva häiriö.

Taajuus [KHz]	Häiriötaso [dBµV]	Marginaali [dBµV]
154	59,8	-5,9
186	57,4	-6,8
198	58,2	-5,5
230	55,8	-6,6
242	56,4	-5,6
274	54,3	-6,7
286	54,7	-6
318	51,9	-7,9

Kuvasta 23 huomataan kuinka Osram-Artic yhdistelmä ylittää johtuvien häiriöiden raja-arvot huomattavasti. Kuvassa 24 on johtuvien häiriöiden mittauksista tehty vertailu, josta voidaan havaita GE-lampun tuottavan vähemmän johtuvia häiriöitä himmentimien kanssa kuin Osram-lamppu. Eroa on kuitenkin huomattavasti enemmän kuin säteilevien häiriöiden mittauksissa. Osram-lamppu ylitti standardien vaatiman rajan jokaisella himmentimellä.



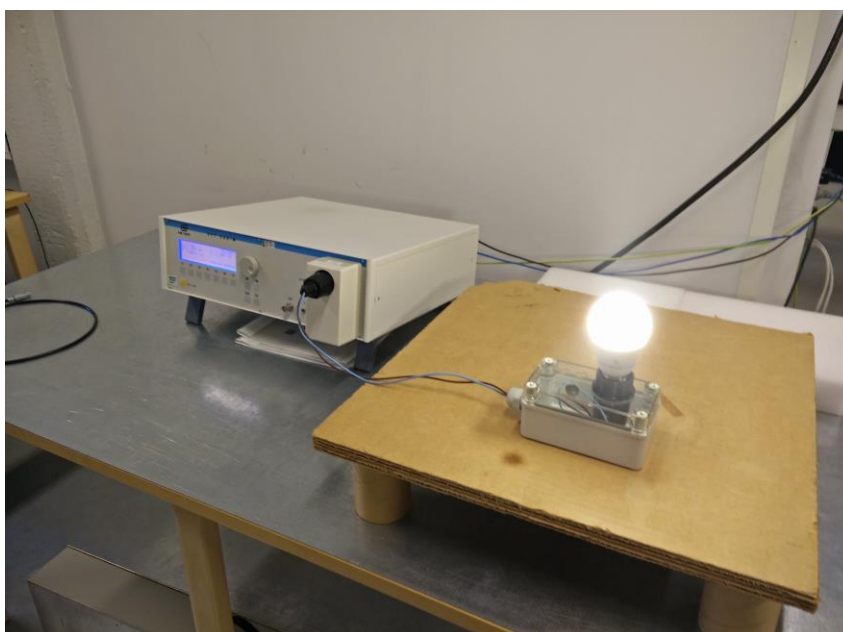
Kuva 23. Osram-lampun ja Artic-himmentimen yhteisesti tuottama johtuva häiriö.



Kuva 24. Johtuvien häiriöiden mittaus himmentimillä

4.4.5 Transienttipurskeen sietotesti

Transienttipurskeen sietotesti tehtiin jokaiselle lampulle. Testauksia ohjattiin ISMIEC-ohjelmistolla, IEC 6100-4-4-standardia mukaillen. Testit suoritettiin standardin asettamalla tasolla yksi, joka määrittelee lähetettävien transienttipurskeiden suuruuden ja keston. Tässä tapauksessa testi suoritettiin 1kV:n testijännitteellä. Testit suoritettiin L1 ja N navoilla, sekä näiden yhdistelmällä L1+N. Testien aikana lamppuja seurattiin ulkoisesti, eikä yksikään testatuista lamputa reagoinut nopeisiin transientteihin.



Kuva 25. GE-lamppu transienttipurskeen sietotestissä.

4.4.6 Syöksyaallon sietotesti

Syöksyaallon sietotestissä lamput lähetettiin jännitepulsseja eri jaksonajoilla, tässä tapauksessa standardin asettamalla 500 voltin jännitteellä. Standardista poiketen lähetettiin jännitepulsseja lamputa vain jaksojen epäedullisimmissä kohdissa, eli syöttävän jännitteen ollessa huippuarvossaan positiivisella ja negatiivisella puolijaksolla. Kaikki lamput suoriutuivat testistä rikkoontumatta ja toimivat testin jälkeen vielä normaalisti. Testissä huomattiin, että ainoastaan Star Trading oli suojattu 500 voltin jännitepiikeiltä. Ylijännitesuojaus voidaan toteuttaa esimerkiksi varistorilla.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ammattimaisella opastuksella, hyvillä laitteilla ja hyvässä ympäristössä mittaukset suoritettiin nopeasti ja hyvällä tarkkuudella. Led-lamput tuottavat sähkömagneettisia häiriöitä ympäristöönsä, mutta pysyvät sallittujen rajojen alapuolella. CE-hyväksytyistä lamputa ei yksikään ylittänyt asetettuja rajoja, mutta koska häiriöiden määrä oli lähellä raja-arvoja, saattaa ongelmia syntyä esimerkiksi lamppujen ja himmentimien yhdistelmästä. Tämä tulisi ottaa huomioon, kun lamppua valitaan himmennyskäyttöön. Led-lamput säästävät lamputa eniten energiaa, mutta ovat myös kalliimpia. Sähkömagneettisten häiriöiden vaimentaminen lamputa nostavat varmasti niiden hintaa, joten vaimennustekniikankin kehittyminen olisi apu hintojen laskuun.

Lamputa itse ledit varmasti kestänevät valmistajien kuluttajille kertomat ajat, mutta on mahdollista, että lamppujen toimintaan vaadittu elektroniikka ei. Transienttipurskeen ja syöksyaallon sietotestit kuitenkin lupaavat hyvää myös tälle osa-alueelle, sillä yksikään lamputa ei vioittunut kyseisissä testeissä.

Kuluttajan tulee olla tarkkana korvatessaan vanhoja lamppujaan led-lamputa, mutta hän voi mielestäni luottaa, etteivät CE-hyväksytyt lamput aiheuta haittaa niille tarkoitettussa ympäristössä. Ongelmia saattaa tulla ulkomailta tilattujen halpojen led-lamppujen kanssa, joiden toimivuudesta ei voi olla varma.

Sähkömagneettisten häiriöiden osalta ei led-lamput hinta kerro suoraan sen lähettämien häiriöiden tasoa. Hintaan vaikuttaa enemmän esimerkiksi se onko lamppu himmennettävissä. Osaksi se johtuu siitä, että laitteistoa suunniteltaessa ei ole syytä panostaa liikaa häiriöiden ehkäisemiseen, sillä se nostaa kustannuksia laitteen valmistuksessa. Häiriöitä ei kannata yrittää poistaa kokonaan, vaan on vain tärkeää saada laitteen lähettämät häiriöt raja-arvojen alapuolelle. Laitteiston häiriöpäästöjä olisi hyvä seurata jo laitteen eri kehitysvaiheissa, jolloin voidaan vielä reagoida mahdollisiin häiriön aiheuttajiin helpommin.

LÄHTEET

- Jokinen, M. 2011. LED-valot rakentamisessa. AMK-opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 13.2.2015. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105046108>
- Tolonen, P. 2013. Led-lamput harppovat eteenpäin. Viitattu 13.2.2015. <http://www.sahkoviesti.fi>
- Talouselämä –lehden www-sivut. 2013. Harppauksia: Led-lamppujen ykköstykit kestävät jo 70 000 tuntia. Viitattu 13.2.2015. <http://www.talouselama.fi>
- Tetri, E. 2010. Mitä ledi on ja mitkä ovat sen edut ja haitat. Aalto-yliopisto. Viitattu 13.2.2015. http://www.valosto.com/tiedostot/Kohti_valoa_Tetri.pdf
- Suihkonen, S. 2012. Leditekniikan nopea kehitys hämmentää tutkijoitakin. Aalto-yliopisto. Viitattu 13.2.2015. <http://mide.aalto.fi>
- Tukes. 2014. EMC - Sähkömagneettinen yhteensopivuus. Viitattu 17.2.2015. <http://www.tukes.fi>
- Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Uusi lähestymistapa - New Approach. Viitattu 17.2.2015. <http://www.sfs.fi>
- Säteilyturvakeskus STUK. 2014. Sähkömagneettiset kentät. Viitattu 18.2.2015. <http://www.stuk.fi>
- Energiateollisuuden www-sivut. 2013. Sähkö- ja magneettikentät. Viitattu 18.2.2015. <http://energia.fi/>
- CISPR 15:2005. Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lightning and similar equipment. 2005. Viitattu 18.2.2015
- Lehtio, A. EMC-mittaukset. Opintomateriaali. Viitattu 20.2.2015.
- Panasonic www-sivut. 2011. Panasonic EVERLEDS LED Bulbs with Wide Light Distribution Angle, Viitattu 30.3.2015. <http://news.panasonic.net/>
- Technic www-sivut. Technic LED Technology. Viitattu 30.3.2015. <http://www.technic.com>
- Linja-Aho, V. 2012. Electromagnetic Compatibility. Viitattu 30.3.2015. <http://www.slideshare.net/linjaaho/emc-automotive>
- Emcengineer Laplace. 2012. EMC conducted emissions test equipment. Viitattu 30.3.2015. <https://www.youtube.com/watch?v=oXxmmckm5sI>
- Sacchi, R. 2011. Misura di compatibilita' Elettromagnetica. Viitattu 8.4.2015 <http://www.keysight.com/>
- Jämsä, L. 2010. Ledin etuvastus ja sen mitoitus. Ruuvipenkki www-sivut. Viitattu 8.4.2015. <http://www.ruuvipenkki.fi/>