

Opinnäytetyö (AMK / YAMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2019

Otto Söderholm

LED-VALAISIMIEN AIHEUTTAMAT SÄHKÖMAGNEETTISET HÄIRIÖT

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tieto- ja viestintäteknikan koulutus

Kevät 2019 | 30 sivua

Otto Söderholm

LED-VALAISIMIEN AIHEUTTAMAT RF-HÄIRIÖT

Sähkölaitteiden elektroniikka on monimutkaistunut huomattavasti vuosien varrella. Verrattaessa loisteputkivalaisinta, jossa saattaa olla loisteputken lisäksi vain kaksi komponenttia (kuristin ja sytytin), nykyiseen led-valaisimeen, on elektronisten komponenttien määrä vähintäänkin kymmenkertaistunut. Energiatehokkuuden takaamiseksi virtalähteiden suunnittelussa on päädytty hakkurivirtalähteiden käyttöön. Huonosti valmistettu hakkurivirtalähde saattaa aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä.

Tässä työssä tutkittiin kolmen eri led-valaisimen aiheuttamia sähkömagneettisia häiriöitä Laivasähkötyö Oy:n toimeksiannosta. Standardi EN 55015 määrittelee Euroopassa myytävien valaisimien sähkömagneettista yhteensopivuutta. Kappaleessa 4 tarkasteltiin valaisimien sisältämä tekniikka. Kappaleessa 6 tarkasteltiin niiden mittauksen vaatimuksia. Kappaleessa 7 käydään läpi raja-arvot, mitatut arvot ja mittauksen tulokset. Valaisimet mitattiin standardin EN 55015 mukaisesti Turun ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriossa.

Mittauksista voitiin todeta valaisimien yhteensopivuus standardin mukaisiksi niiden aiheuttamien häiriöiden osalta. Työ antoi yritykselle varmuuden myydä valaisimia ilman huolta sähkömagneettisen yhteensopivuuden kannalta.

ASIASANAT:

LED, LED-valaisin, sähkömagneettinen yhteensopivuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and Communications Technology

2019 | 30 pages

Otto Söderholm

RF INTERFERENCE OF LED LUMINAIRES

The electronic circuits inside electric appliances have become considerably more complicated over the years. For example, a fluorescent lamp only had two components in addition to the fluorescent tube, an inductive ballast and a starter whereas a modern led luminaire houses at least ten times more components than that. In order to achieve better energy efficiency, the industry has settled on using switch mode power supplies. Badly engineered and manufactured switch mode power supplies can be a source of electromagnetic interference.

This thesis was commissioned by Laivasähkötyö Ltd to study the electromagnetic emissions of three led luminaires. The standard EN 55015 defines the electromagnetic compatibility of luminaires sold inside the EU and the methods to test them. This thesis introduces the technology inside the luminaires under inspection in Chapter 4. The methods of the measurements for conducted and radiated RF-emissions are introduced in Chapter 6. The limits of the measurements and the measured results are examined in Chapter 7. The measurements were carried out in Turku University of Applied Sciences' EMC laboratory. All three luminaires passed the tests in accordance to EN 55015.

The conclusion from these measurements was that they all complied with the standard when it comes to electromagnetic emissions. The results gave confidence to the company to sell these luminaires with certainty for their electromagnetic compatibility.

KEYWORDS:

LED, LED-luminaire, electromagnetic compatibility

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 EMI-PÄÄSTÖT	7
3 LEDIEN TOIMINTA	8
4 LED-VALAISIMET	10
4.1 Työn valaisimissa käytettävä tekniikka	10
4.2 BAG Electronicsin Zitares-QC virtalähde	11
4.3 Valaisimet	12
5 LAIT JA MÄÄRÄYKSET	13
5.1 EN 55015	13
5.2 TUKES	13
6 MITTAUKSET	14
6.1 Johtuvat häiriöt	14
6.1.1 Mittavälineet	15
6.1.2 Mittausasetelma	15
6.2 Säteilevät häiriöt	16
7 MITTAUSTULOKSET	19
7.1 Johtuvat häiriöt	19
7.2 Säteilevät häiriöt	23
7.3 Tulosten analysointi	28
8 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30

KÄYTETYT LYHENTEET

DUT	Device Under Test (Testattava laite)
EMC	Electromagnetic Compatibility (Sähkömagneettinen yhteensopivuus)
EMI	Electromagnetic Interference (Sähkömagneettinen häiriö)
LED	Light Emitting Diode (Valodiodi)
LISN	Line Impedance Stabilization Network (Keinoverkko)
PWM	Pulse Width Modulation (Pulssinleveysmodulointi)

1 JOHDANTO

EMC-direktiivi määrää sähkölaitteen sähkömagneettisen yhteensopivuuden. Sähkölaitteet vaikuttavat toisiin sähkölaitteisiin lähistöllä. Mikään sähkölaite ei saa häiritä muita sähkölaitteita tai häiriintyä niistä. [1]

Tässä työssä tutkitaan led-valaisimen aiheuttamia sähkömagneettisia häiriöitä. Led-valaisimissa käytettävät virtalähteet ovat tulleet halvemmiksi ja joissain niissä voidaan havaita ratkaisuja, jotka aiheuttavat häiriöitä muille laitteille. Häiriöt voivat johtua valaisimen syöttökaapelia pitkin tai säteillä sähkömagneettisena säteilynä ympäristössä lähellä oleviin laitteisiin.

Euroopassa on säädös EN 55015, joka määrää valaisimille tehtävät mittaukset niiden sähkömagneettisen yhteensopivuuden takaamiseksi. Tämä standardi sisältää ohjeistuksen mittausten toteuttamiseksi ja antaa raja-arvot johtuville ja säteileville häiriöille.

Toimeksiantaja Laivasähkötyö Oy antoi tehtäväksi tutkia kolmen heidän valmistuttaman led-valaisimen sähkömagneettista yhteensopivuutta. Valaisimien virtalähteistä löytyy EN 55015 merkintä, jonka paikkansapitävyys haluttiin varmistaa. Testaus suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun EMC-testilaboratoriossa. Valaisimista mitattiin johtuvat ja säteilevät häiriöt EN 55015 -standardin [2] mukaisesti.

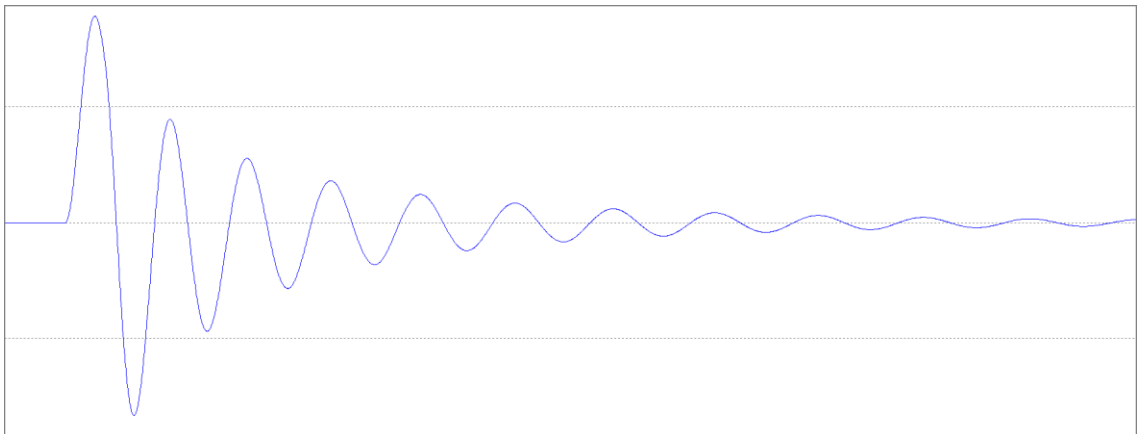
2 EMI-PÄÄSTÖT

EMI-päästöt koostuvat johtuvista ja säteilevistä häiriöistä.

Johtuvat häiriöt kytkeytyvät galvaanisesti sähkölaitteen syöttökaapelia pitkin sähköverkkoon päin. Nämä häiriöt johtuvat muihin sähköverkon laitteisiin ja voivat aiheuttaa toimintahäiriöitä, tai jopa muiden laitteiden vikaantumista.

Säteilevällä häiriöllä tarkoitetaan sähkömagneettisen kentän avulla kytkeytyviä häiriötä. Nämä häiriöt kytkeytyvät kaikkiin sähkölaitteisiin lähistöllä [1].

Transientit ovat nopeiden jännitevaihteluiden aiheuttamia vaimenevia oskillaatioita virtapiirissä. Niitä muodostuu, kun jännite nousee, tai laskee hyvin nopeasti. Tätä tapahtuu digitaalisessa signaalin muodostuksessa, jossa kantiaallon nouseva, tai laskeva seinä on jyrkkä. Mitä nopeampi jännitteen muutos on, sitä korkeampi tästä johtuvan oskillaation taajuus on. Transientit voivat aiheuttaa sekä johtuvia että säteileviä häiriöitä.



Kuva 2.1 Transientti

Kuvassa 2.1 nähdään vaimeneva oskillaatio, jonka on aiheuttanut nopea jännitteen nousu sähköpiirissä. Ledien virtalähteissä tapahtuu jännitteen nopeaa vaihtelua, joka aiheuttaa transientteja. Näiden transienttien suuret ovat hyvällä suunnittelulla tiedossa ja ne voidaan suodattaa passiivikomponenteilla pois. Suodattimet koostuvat keloista ja kondensaattoreista, jotka mitoitetaan virtalähteen mukaisesti.

3 LEDIEN TOIMINTA

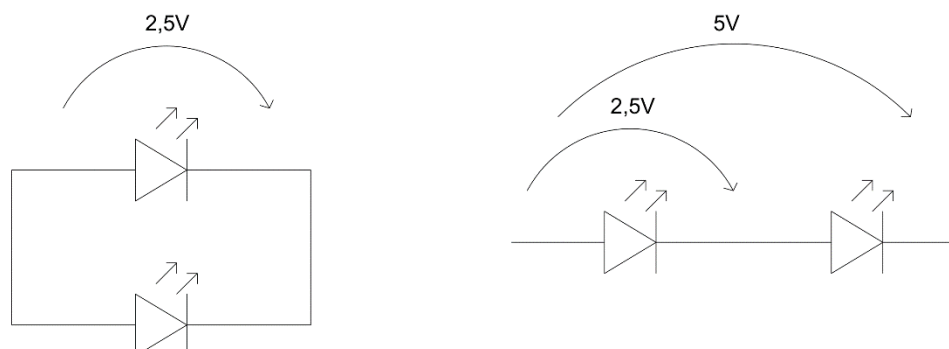
LED (Light Emitting Diode) on valodiode. Se toimii samalla tavalla kuin diodi, mutta se säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan virtaa. Jotkut pitävät ledien keksijänä Henry J. Roundia (1907), tai Oleg Losevia (1920), jotka havaitsivat ilmiön piikarbidi-diodeista toisistaan tietämättä. Round teki havainnostaan vain muistiinpanon, mutta Losev tutki ilmiötä enemmän ja julkaisi aiheesta tutkimuksen vuonna 1927. [3]

Ledin toimintaperiaate perustuu ylimääräisiin aukkoihin ja elektroneihin P- ja N-tyyppin puolijohdemateriaaleissa. P-tyyppin materiaalissa on vapaita aukkoja, joihin elektronit pääsevät virtaamaan N-tyyppin materiaalista, jossa on ylimääräisiä elektroneja. Tästä johtuen virta pystyy kulkemaan vain toiseen suuntaan diodeissa.

Ledeissä käytetään yleensä III- ja V-pääryhmän alkuaineita, joista yleisimpiä ovat gallium, arseeni, indium, alumiini, typpi ja fosfori. Näitä yhdistämällä saadaan haluttuja puolijohdeyhdisteitä, kuten galliumfosfidia (GaP). Näillä yhdisteillä ns. kielletyn energiavyön suuruus on sopiva näkyvän valon tuottamiselle.

Valaistuksessa käytettävät kirkkaat ledit ovat yleisesti sinisiä ledejä, joiden päällä on keltainen fosforikerros. Yhdistämällä sinistä ja keltaista valoa saadaan aikaiseksi kirkasta valoa [4]. Tällä tavoin päästään erittäin luonnolliseen valokirjon toistoon.

Ledin yli vaikuttaa tietty kynnsjännite, joka on eri suuruinen eri puolijohdeyhdisteillä. Tämä vaihtelee 1,7 – 3,6V välillä. Sarjaan kytketyissä ledeissä kynnsjännitteet laskeaan yhteen, mutta rinnan kytketyissä se pysyy samana kuten kuvassa 3.1 nähdään.



Kuva 3.1 Ledien 2,5V kynnsjännite rinnan ja sarjaan kytkettynä

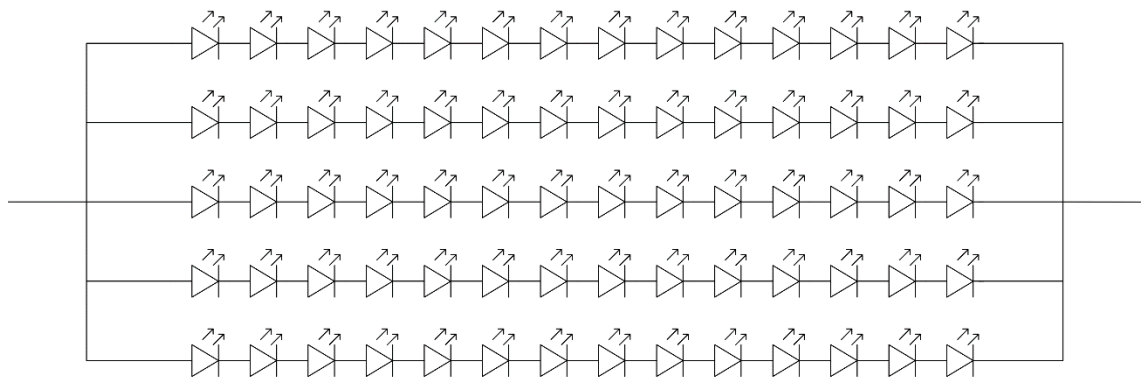
Diodit eivät ole virtaa rajoittavia komponentteja, joten niiden käyttö vaatii vastuksen, tai vakiovirtalähteen, joka on mitoitettu tarpeeseen. Ledit mitoitetaan toimimaan tietyllä virralla, jolla niiden kirkkaus, värikirjo ja hyötysuhde ovat optimaalisella tasolla. Tämän takia ledien virtalähde täytyy olla oikein mitoitettu käytössä oleville ledeille.

4 LED-VALAISIMET

Tässä työssä tutkitaan kolmea erilaista laivojen konetiloihin tarkoitettua valaisinta, joita Laivasähkötyö Oy myy. Kaikissa valaisimissa on Osramin 14,4 W:n LED-moduuli ja BAG Electronicsin Zitares-QC virtalähde.

4.1 Työn valaisimissa käytettävä tekniikka

Valaisimet toimivat 230V vaihtojännitteellä. Tämä jännite muunnetaan tasajännitteeksi BAG Electronicsin Zitares teholähteellä. Lähteen antama jännite määräytyy siihen kytkettyjen ledien määrän mukaan. Kaikissa valaisimissa on valonlähteenä Osramin 14,4 W Basic Linear LED -moduuli. Moduulissa on 70 lediä, jotka ovat kytkettynä viiteen rinnan kytkettyyn osioon, joissa jokaisessa on 14 lediä kytkettynä sarjaan (kuva 4.1). Yksittäisen ledin kynnysjännite Osramin moduulissa on 2,94 V. Tästä saadaan koko moduulin yhdistetyksi kynnysjännitteeksi 41,16 V.



Kuva 4.1 Ledien kytkentä piirilevyllä

Moduuliin syötettävä virta on 350 mA. Virta jakautuu viiteen piiriin antaen jokaisen ledin läpi kulkemaksi virraksi 70 mA.

4.2 BAG Electronicsin Zitares-QC virtalähde

Led virtalähteet ovat nykyään niin kutsuttuja hakkurivirtalähteitä. Nämä virtalähteet muuttavat sähköverkon tarjoaman vaihtovirran tasavirraksi. Hakkurin toimintaperiaate perustuu tasasuunnatun jännitteen katkomiseen korkealla taajuudella. Tämä katkottu tasajännite syötetään lähes ideaalisesti energiaa varastoivaan komponenttiin, joka on kondensaattori tai kela. [5, s.30]

Jännitteen nopea katkominen aiheuttaa RF-häiriöitä ja ne täytyy suodattaa mahdollisimman lähellä virtalähteen ulostuloa. RF-häiriö ei tule pelkästään katkomisen taajuudella ja sen harmonisilla monikerroilla, vaan korkeampitaajuisista häiriöistä aiheutuu myös sen mukaan kuinka nopeita virranmuutokset ovat. [6]

Valaisimissa on käytössä kahta erilaista virtalähdettä. QCS135-18LS-11/220-240 antaa 350 mA virtaa jännitevälillä 32–52 V ja QCS170-35LS-11/220-240 (kuva 4.2), joka antaa 700 mA virtaa jännitevälillä 32–50 VDC. Virtalähteen ulostulo jännite riippuu siitä, kuinka monta lediä on kytkettynä sarjaan. Tätä ei tarvitse säätää, vaan virtalähteen ulostulojännite asettuu automaattisesti sarjaan kytkettyjen ledien yhteenlasketun kynnysjännitteen mukaan.



Kuva 4.2 Zitares-QC virtalähde

Näillä jännitelähteillä ei saa himmennettyä niihin kytkettyjä ledejä, vaan ne ovat niin sanotusti lineaarisia virtalähteitä.

4.3 Valaisimet

Valaisimia on kolmea erilaista. 1 500mm pitkä LSTER215 pitää sisällään kaksi Osramin LED-moduulia ja 700 mA virtalähteen. 1 000mm pitkät LSTER115 LED ja LSTER115 LED EB 3h sisältävät yhden LED-moduulin ja 350 mA virtalähteen.

Lisäksi LSTER115 LED EB 3h sisältää varavirtalähteen ja kolme kappaletta 3,6 V 4 Ah akkukennoa, joiden avulla valaisin toimii sähkökatkoksen aikana kolme tuntia. Varavirtalähde kytkeytyy toimintaan, kun se havaitsee valaisimen syöttöjännitteen katkeavan.

5 LAIT JA MÄÄRÄYKSET

Sähkölaitteiden standardinmukaisuudesta huolehtiminen on Euroopassa valmistajan vastuulla. Mikäli laite tuodaan maahan Euroopan talousalueen ulkopuolelta esimerkiksi Kiinasta, on vastuu maahantuojalla.

5.1 EN 55015

Eurooppalainen EN 55015 on standardi valaisimien sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle, joka määrittelee rajat ja mittausmenetelmät valaisinten ja osittain valaisemiin tarkoitettujen laitteiden johtuville- ja radiohäiriöille. Standardissa on tarkoin määritetty mittausmenetelmät ja käytettävät mittalaitteet häiriöiden selvittämiseksi. Valaisimet, joissa on akku varavirtalähteenä sähköjen katkeamisen varalle, mitataan sekä verkkojännitekäytössä, että varavirtalähdekäytössä. Suomi on ratifioinut tämän kansalliseksi standardiksi. [2]

5.2 TUKES

TUKES (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto) valvoo sähkölaitteiden sähkömagneettista yhteensopivuutta ja niiden turvallisuutta suomessa. Sähkölaite ei saa aiheuttaa häiriötä muille laitteille ja sen tulee myös sietää mahdolliset muiden laitteiden aiheuttamat häiriöt.

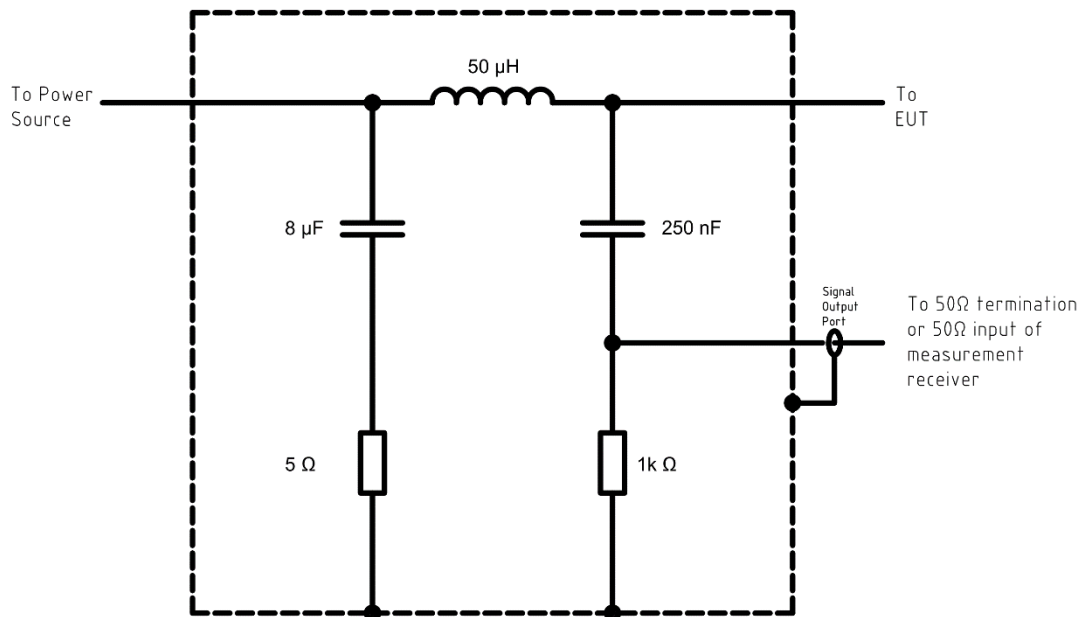
6 MITTAUKSET

Mittausta varten tuli jokaiseen valaisimeen kytkeä pistotulpallinen johto, jotta niihin saadaan sähköä testausta varten. Johdon pituus tulee standardin mukaan olla 0,8m. Valaisimien tulee toimia täydellä teholla mitattaessa, mikäli ne ovat himmennettäviä.

6.1 Johtuvat häiriöt

Valaisimista tulee mitata syöttökaapelin kautta mahdolliset verkkoon päin galvaanisesti johtuvat häiriöt. Tätä varten tulee käyttää keinoverkkoa (LISN), joka stabiloi mitattavaa laitetta syöttävän verkon ja antaa analysaattorille vakaan $50\ \Omega$ kuorman. Monella valmistajalla on tätä varten laite, kuten tässä työssä käytetty Rohde & Schwarz ANV216. Keinoverkon voi kuitenkin rakentaa itse standardin EN 55016-1-2 mukaan. [7]

Keinoverkon tarkoitus on myös poistaa sähköverkon kautta tulevia häiriöitä, jotka muuten vaikuttaisivat mittaustuloksiin. Kuvassa 6.1 nähdään tyypillinen keinoverkon kytkentä, jolla mittalaitteelle näkyvä impedanssi on $50\ \Omega/50\ \mu\text{H} + 5\ \Omega$, kuten standardissa EN 55016 [7] vaaditaan. Kuvan 6.1 kytkennästä puuttuvat suodattimet, joilla suodatetaan syöttävän verkon häiriöitä.



Kuva 6.1 Keinoverkon kytkentä.

6.1.1 Mittavälineet

Keinoverkkoon kytketään spektrianalysaattori (To 50 Ω termination or 50 Ω input of measurement receiver kuvassa 6.1). Turun ammattikorkeakoulun testilaboratoriossa on tätä varten käytössä Rohde & Schwarz ESPI Test Receiver, joka mittaa johtuvat häiriöt testattavasta laitteesta. Testattava laite kuvassa 6.1 on EUT (Equipment Under Test).

6.1.2 Mittausasetelma

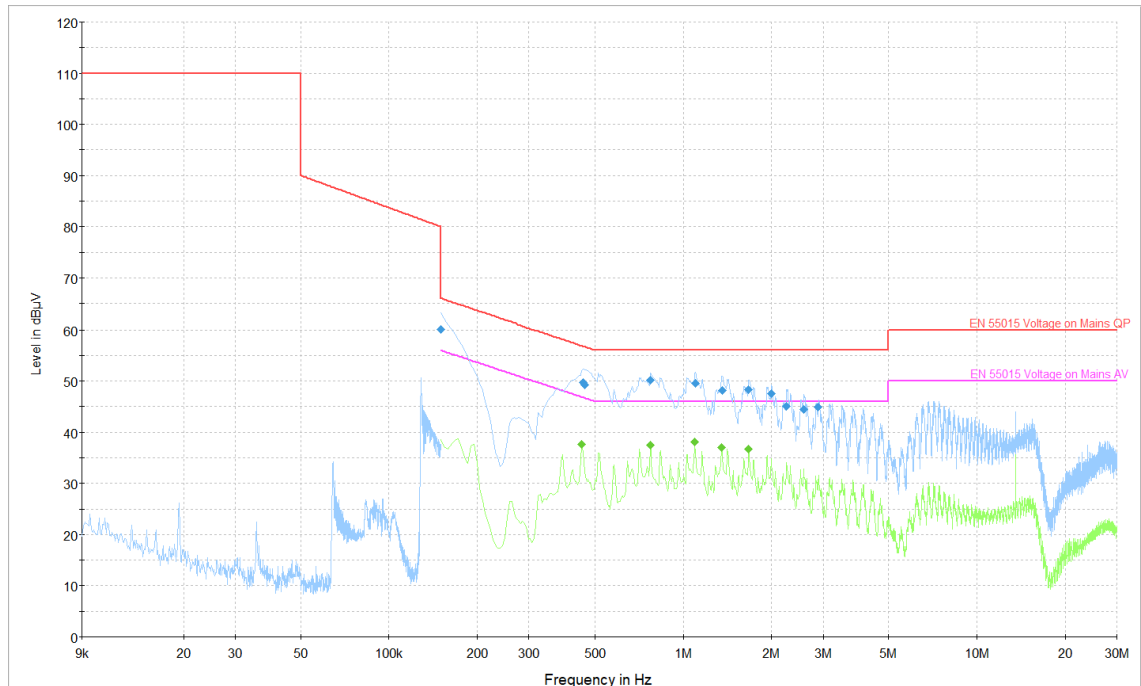
EN 55015 -standardi määrittelee tarkasti mittausasetelman. Mitattava laite asetetaan puupöydälle ja se kytketään syöttöjohdolla keinoverkkoon, kuten kuvassa 6.2.



Kuva 6.2 LSTER214 valaisin kytkettynä keinoverkkoon.

Pöytä täytyy olla rakennettu ja kalustettu EN 55015 standardin mukaisesti. Tämä määrittelee pöytälevyn koon etäisyyden ja materiaalin. [2, s. 48-50]

Tämän jälkeen Rohde & Schwarzin EMC32 -mittausohjelmisto aloittaa mittausprosessin, joka mittaa laitteen aiheuttamat häiriöt taajuusvälillä 9 kHz–30 MHz ja piirtää siitä kuvaajan. Tällöinen kuvaaja on nähtävissä kuvassa 6.3.



Kuva 6.3 Esimerkki johtuvien häiriöiden kuvaajasta

6.2 Säteilevät häiriöt

Nämä häiriöt ovat sähkömagneettista säteilyä, jota muodostuu aina, kun sähkölaitteessa kulkee virtaa. Mikäli häiriö pääsee kulkemaan pitkiä matkoja laitteen johtimissa, ryhtyvät johtimet toimimaan säteilyä lähettävinä antennina. Tästä johtuen häiriöt tulee suodattaa mahdollisimman lähellä häiriölähdettä.

Tämän säteilyn määrä mitattavasta laitteesta ympäristöön tulee selvittää sähkömagneettisen yhteensopivuuden varmistamiseksi. Turun ammattikorkeakoululla on häiriösuojatut tilat näiden mittausten tekemiseen

Mitattaessa säteileviä häiriöitä voivat muut säteilyn lähteet vaikuttaa mittaukseen. Nykyaikoina ilmassa on huomattavia määriä sähkömagneettista säteilyä, jota aiheuttavat kaikki elektroniikka- ja radiolaitteet. Näiden torjuntaan mittaukset suoritetaan puolikaiuttomassa huoneessa, joka on radiovaimennettu.

Radiovaimennettu huone on valmistettu metallista. Se on sisältä vuorattu ferriitillä ja sähkömagneettista säteilyä absorboivalla materiaalilla, joka estää laitteesta säteilevän häiriön heijastumista huoneen metalliseinistä. Huoneeseen ei myöskään pääse huoneen ulkopuolelta radiosäteilyä häiritsemään mittausta. [8]

Huoneessa on antenni (kuva 6.3), jonka polariteetti voidaan kääntää pysty-, tai vaakasuoraan etänä. Antenni on Teseqin valmistama CBL 6143, joka pystyy mittaamaan testattavan laitteen aiheuttaman säteilyn 30 MHz – 3 GHz taajuusalueella. Antenni sijaitsee 3m päässä mitattavasta laitteesta. Mittaukset tulee suorittaa sekä vaaka-, että pystypolarisaatiossa. Tätä varten antenni kääntyy mittauksen aikana.



Kuva 6.4 Turun ammattikorkeakoulun EMC-testihuoneen Teseq CBL 6143 antenni

Mitattava laite asetetaan antennin edessä olevalle pöydälle (kuva 6.4), jota voidaan pyörittää 360° vaakatasossa etänä. Näin mitattavan laitteen aiheuttama säteily voidaan mitata joka suunnasta. Pöydän materiaali on puuta, sillä se ei heijasta sähkömagneettista säteilyä ja täten aiheuta vääristyneitä mittaustuloksia.



Kuva 6.5 Turun ammattikorkeakoulun EMC-testihuoneen pyörivä pöytä

Mittausprosessi on täysin automaattinen. Tietokone kääntää pöytää ja samalla tallentaa säteilyn voimakkuutta. Kun pöytä on kääntynyt 360 astetta, kääntyy antenni vaakatasosta pystytasoon ja pöytä lähtee pyörimään takaisin alkuasentoonsa. Tietokoneen näytöltä voi seurata mittauksen edistymistä ja säteilyn voimakkuutta reaaliajassa.

7 MITTAUSTULOKSET

Mittaustulokset tulee analysoida EN 55015 -standardin antamien raja-arvojen mukaan. Raja-arvot löytyvät standardista taulukkoina.

7.1 Johtuvat häiriöt

EN 55015 standardi määrittelee rajat johtuvien häiriöiden suuruudelle. Taulukossa 7.1 nähdään taajuuksiin eroteltuna rajojen suuruus desibelimikrovoltteina.

Taulukko 7.1 EN 55015 standardin johtuvien häiriöiden rajat LED-valaisimille [2]

Table 2a – Disturbance voltage limits at mains terminals

Frequency range	Limits dB(μ V) ^a	
	Quasi-peak	Average
9 kHz to 50 kHz	110	–
50 kHz to 150 kHz	90 to 80 ^b	–
150 kHz to 0,5 MHz	66 to 56 ^b	56 to 46 ^b
0,5 MHz to 5,0 MHz	56 ^c	46 ^c
5 MHz to 30 MHz	60	50

^a At the transition frequency, the lower limit applies.

^b The limit decreases linearly with the logarithm of the frequency in the ranges 50 kHz to 150 kHz and 150 kHz to 0,5 MHz.

^c For electrodeless lamps and luminaires, the limit in the frequency range of 2,51 MHz to 3,0 MHz is 73 dB(μ V) quasi-peak and 63 dB(μ V) average.

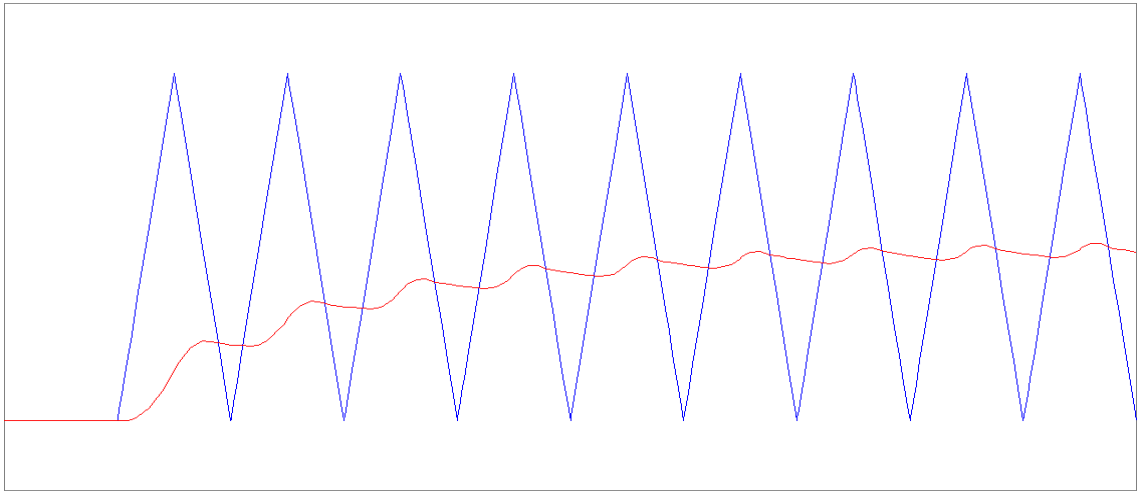
Mittauslaitteet ja menetit määräytyvät standardin EN 55016-1-2 mukaan. Tämä standardi pitää sisällään radiohäiriöiden mittauksien vaatimukset.

Mitattaessa käytetään ”max hold” -tekniikkaa, joka mittaa suurimmat havaitut häiriön piikit. Tämän lisäksi mittauslaite antaa keskiarvoisen tuloksen, joka antaa edellä mainittua mittausta pienemmän arvon. Näille molemmille on omat raja-arvonsa, joita ei saa ylittää.

Mikäli testausprosessin aikana havaitaan korkeita piikkejä, tutkitaan nämä Quasi-peak vastaanottimella.

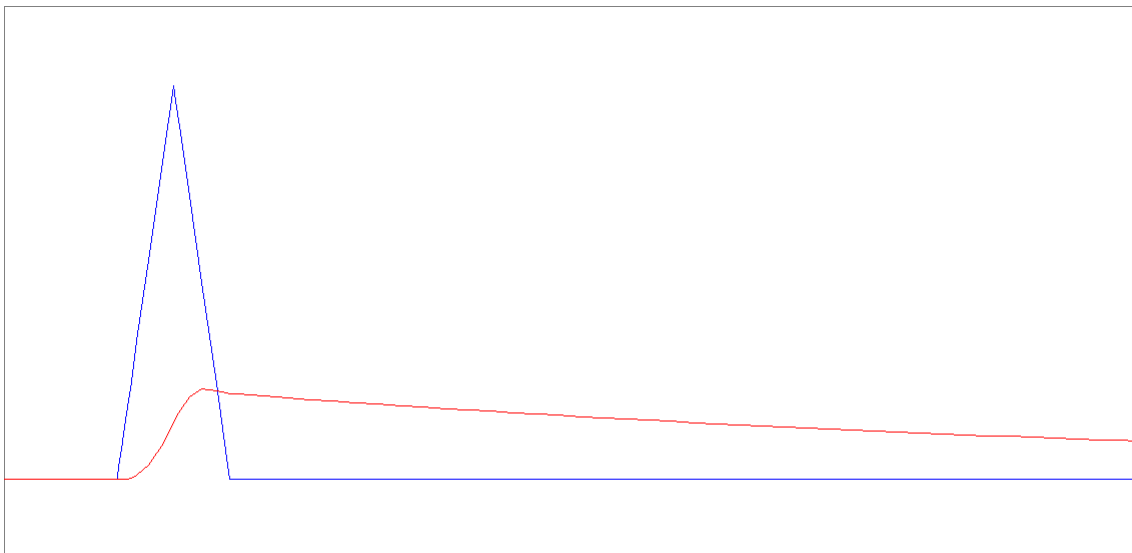
Quasi-peak vastaanottimen toimintaperiaate perustuu nopeaan varaukseen ja hitaaseen purkautumiseen. Mikäli vastaanotin havaitsee piikin, se varautuu ja purkautuu hitaasti.

Mikäli signaali on toistuva, havaitsin varautuu enemmän kuin satunnaisen piikin vaikutuksesta. [7]



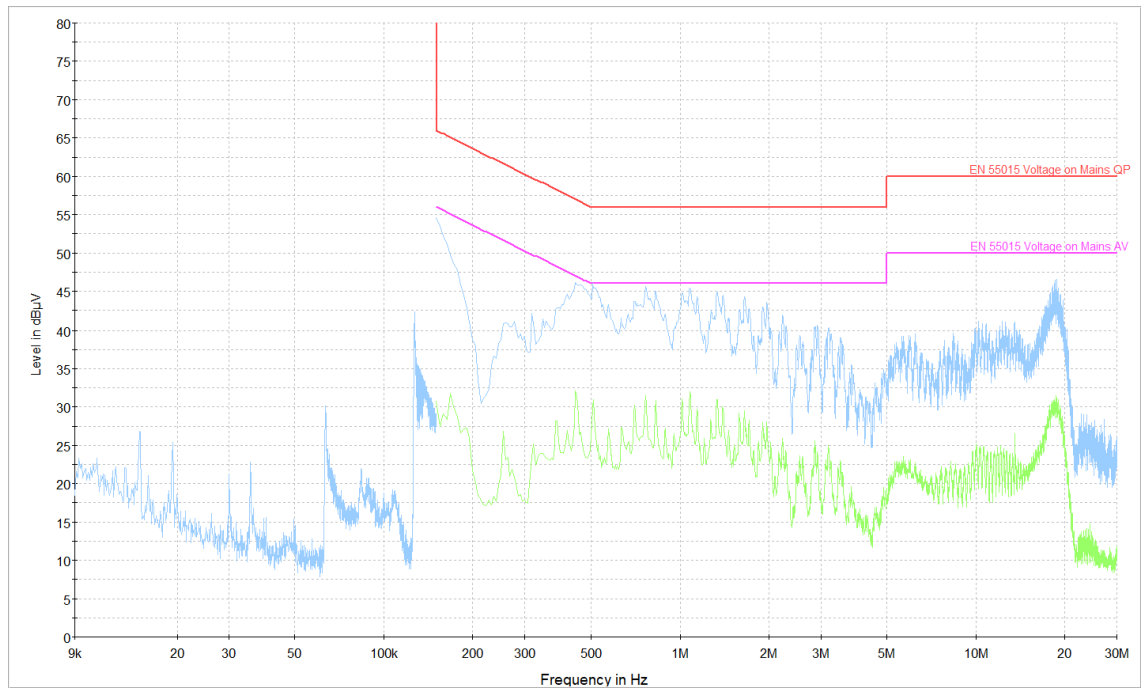
Kuva 7.1 Quasi Peak havaitsimen periaate jatkuvalla häiriösignaalilla

Kuvissa 7.1 ja 7.2 Punainen viiva esittää quasi peak havaitsimen varausta ja sininen viiva esittää häiriösignaalia. Kuvasta 7.1 nähdään, että punaisen viivan amplitudi kasvaa signaalin toistuessa. Mikäli häiriösignaali havaitaan vain kerran, ei punainen viiva nouse kuin ensimmäiseen portaaseen ja se laskisi siitä ajan kuluessa, kuten kuvassa 7.2. Havaitsin antaa siis suuremman arvon jatkuvalle häiriölle kuin satunnaiselle piikille.



Kuva 7.2 Satunnainen signaali

Kuvissa 7.3, 7.4 ja 7.5 sininen viiva esittää max-hold -mittauksen arvoja ja punainen viiva sen raja-arvoa. Vihreä viiva esittää keskiarvoistettua mittaustulosta ja vaaleanpunainen viiva sen raja-arvoa. Mikäli sininen viiva ylittää punaisen rajan, tai vihreä viiva ylittää vaaleanpunaisen viivan, on raja-arvo ylittynyt.



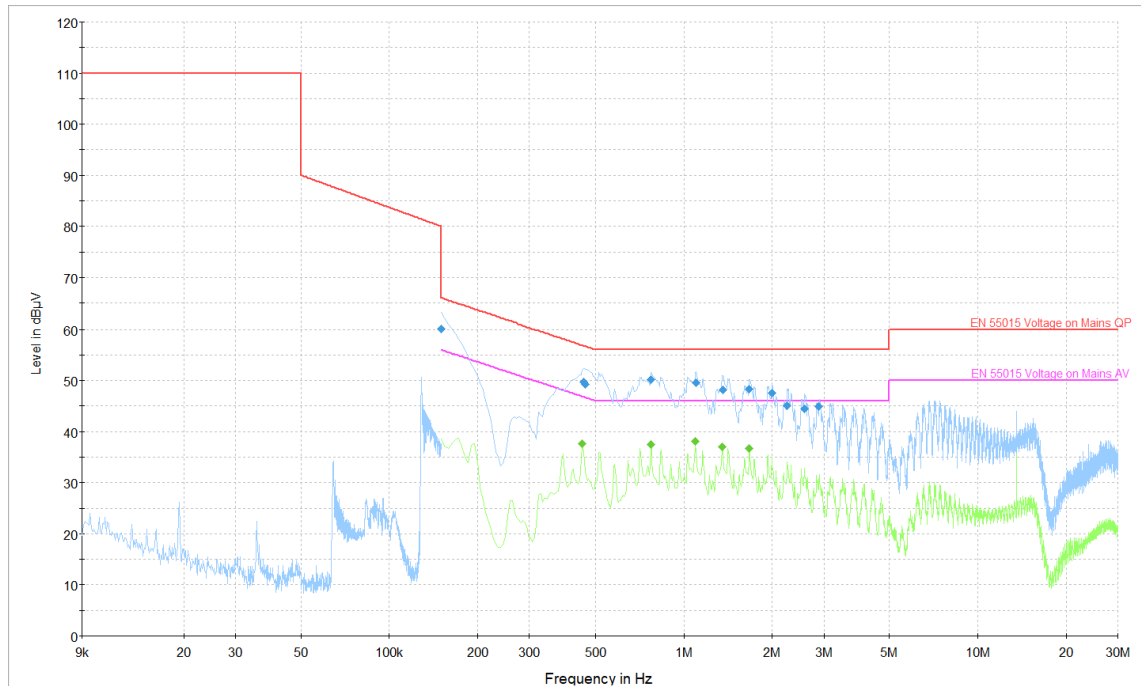
Kuva 7.3 LSTER115 LED valaisimen johtuvien häiriöiden mittaustulos

Kuvasta 7.3 nähdään, että valaisimen LSTER115 LED mittauksesta ei voida havaita korkeita piikkejä, joten Quasi-peak -mittaukselle ei ollut tarvetta.



Kuva 7.4 LSTER115 LED EB 3h valaisin

Kuvasta 7.4 on havaittavissa, että akkuvarmennuksen vaatima latauspiiri vaikuttaa selvästi häiriöiden tasoihin, mutta ne ovat silti selvästi sallituissa rajoissa. Tässä mittauksessa on myös mukana quasi-peak -mittaukset, jotka näkyvät kuvaajassa pieninä palloina. Sinistä viivaa tutkittaessa voidaan huomata, että quasi-peak mittaus laskee havaitun häiriön määrää neljästä viiteen desibeliä.



Kuva 7.5 LSTER215 LED valaisimen mitattu häiriö

Tehokkaimman valon tuottama johtuva häiriö on rajojen alapuolella. Huomattavaa kuvassa 7.5 on myös, että quasi-peak -mittauksella saadut tulokset eivät vaimentaneet tulosta yhtä paljon kuin kuvassa 7.4.

7.2 Säteilevät häiriöt

Säteilevät häiriöt mitataan standardin EN 55015 mukaan kolmen, tai kymmenen metrin etäisyydeltä. Etäisyyden mukaan valitaan raja desibelimikrovoltteina, kuten taulukosta 7.2 nähdään.

Taulukko 7.2 EN 55015 -standardin mukaiset raja-arvot [2]

Table 3b – Radiated disturbance limits in the frequency range 30 MHz to 300 MHz at a measuring distance of 3 m or 10 m

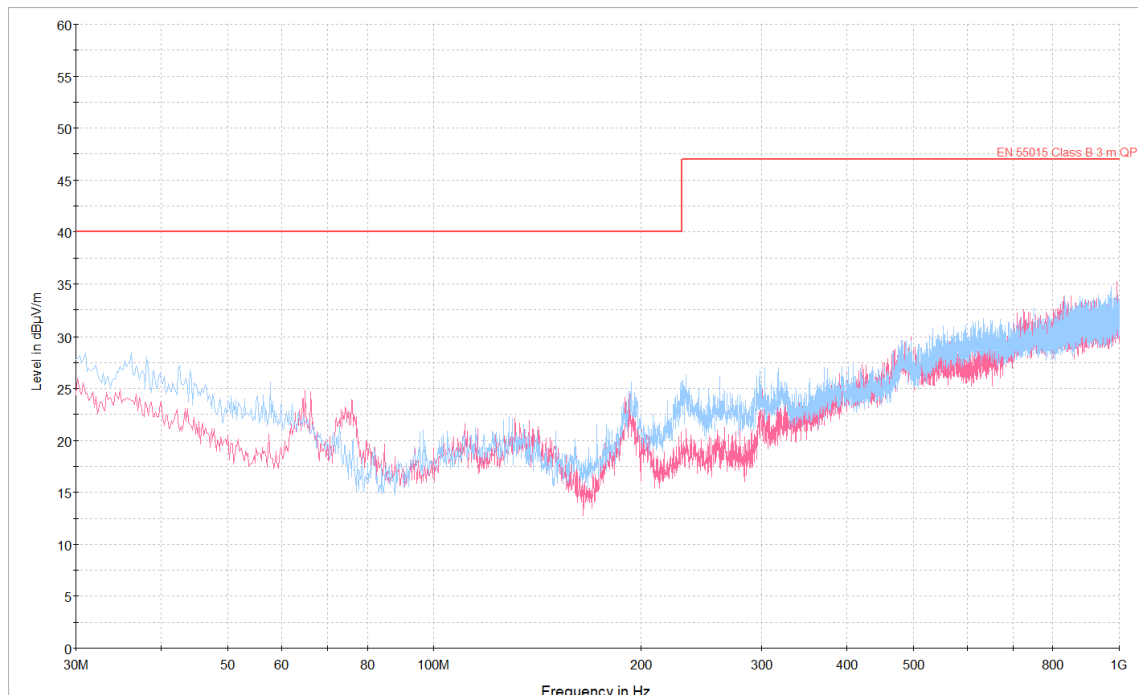
Frequency range MHz	Quasi-peak limits dB(μ V/m) ^a	
	3 m ^{b,c}	10 m ^b
30 to 230	40	30
230 to 300	47	37

^a At the transition frequency, the lower limit applies.

^b Either of the two measurement distances and the associated limits can be applied to demonstrate compliance.

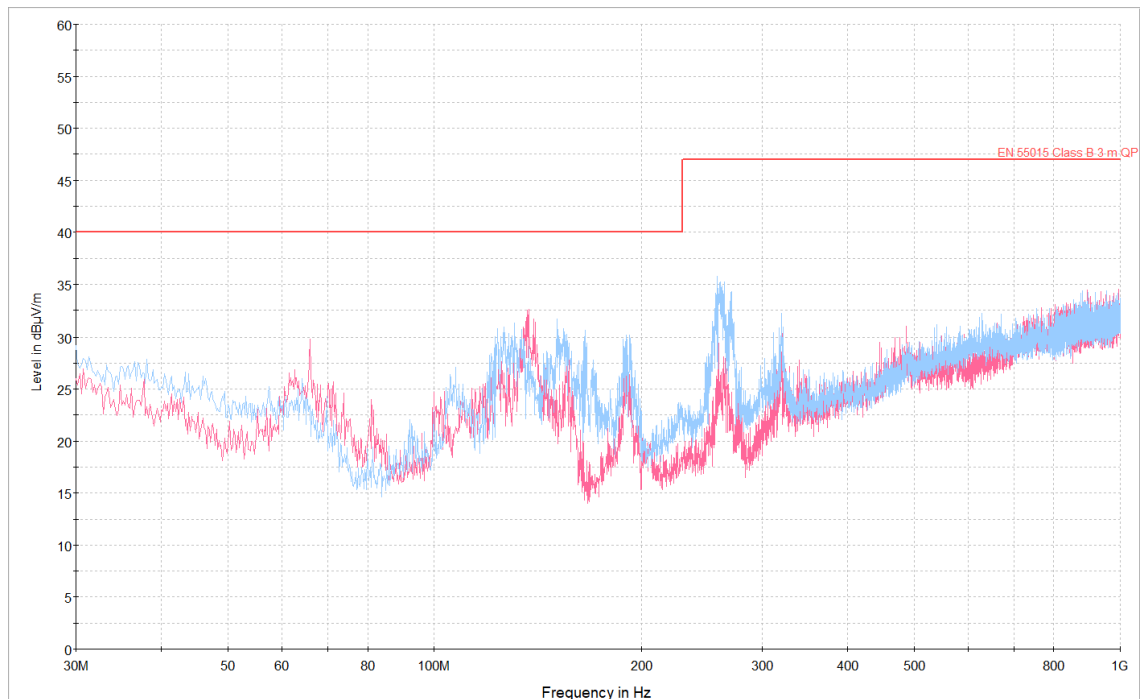
^c Care should be taken when measuring a large EUT at 3 m and at frequencies near 30 MHz due to near field effects.

Tämä raja on kuvaajissa piirretty punaisella. Vaaleanpunainen käyrä kuvaa mitattua häiriötä vaakapolarisaatiolla ja sininen käyrä kuvaa häiriötä pystypolarisaatiolla. Mikäli mittauksissa ilmenee piikkejä, tekee tietokone quasi-peak -mittauksen kyseiseltä taajuudelta. Tämä näkyy kuvassa pisteenä, kuten johtuvien häiriöiden mittauksessakin. Mikäli quasi-peak mittauksenkin jälkeen jossain kohtaa ylitetään punaisen viivan merkitsemä raja-arvo, ei testattu laite läpäise EN 55015 -standardin vaatimusta.



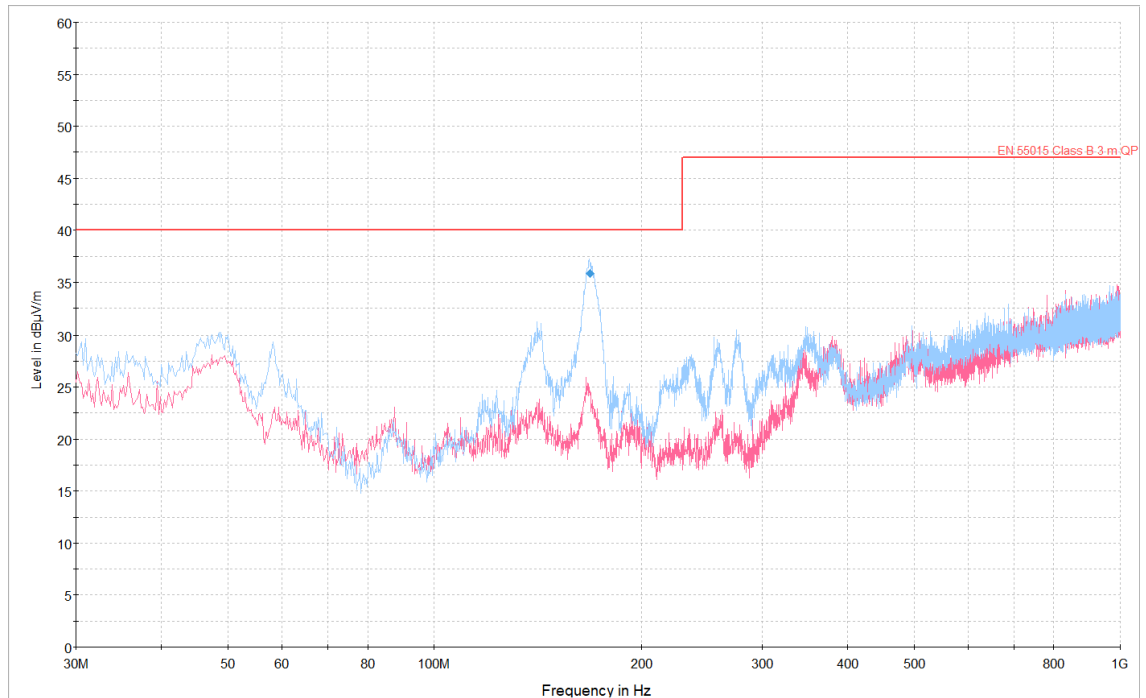
Kuva 7.6 LSTER115 LED valaisimen mitatut säteilevät häiriö

LSTER115 LED -valaisimen mitatut päästöt nähdään kuvassa 7.6. Niistä voidaan todeta säteilyn olevan reilusti sallituissa rajoissa.



Kuva 7.7 LSTER115 LED EB 3h akkuvarmennettu valaisin

Kuvassa 7.7 akkuvarmennettu valaisin, joka sisältää akun ja sen latauslaitteen. Laitteessa on muuten samat komponentit kuin akuttomassa LSTER115 LED -valaisimessa. Laturi lisää selvästi säteilyn määrää, mutta silti se on standardin mukaisissa rajoissa.



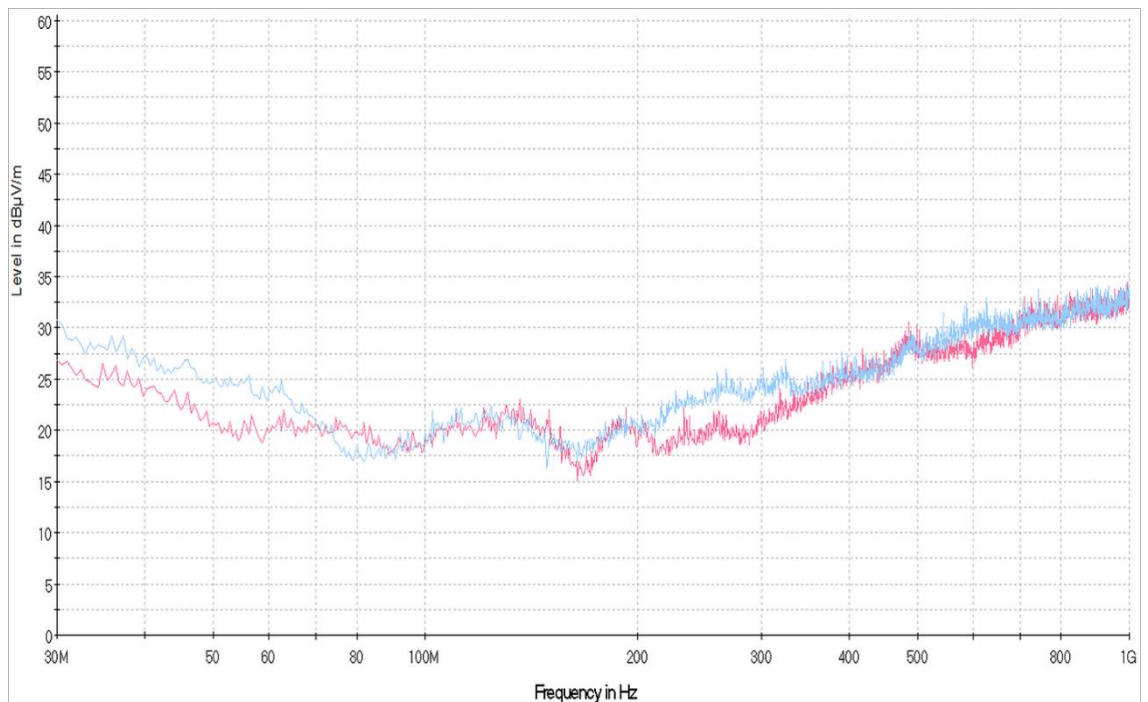
Kuva 7.8 LSTER115 LED EB 3h akkuvarmennettu valaisin akkukäytöllä

Kun akkuvarmennetusta valaisimesta kytketään 230 V-verkkovirta pois päältä, menee se automaattisesti akkukäytölle. Akkukäytöllä laturi antaa ledeille virtaa akulta. Valaisin ei kuitenkaan loista täydellä kirkkaudella, vaan laturin ulostulo on PWM-moduloitua, jotta akut kestäisivät pidempään. Moduloinnista aiheutuva piikki voidaan nähdä kuvassa 7.8 ja piikin kohdalta tehtiin myös quasi-peak mittaus. Raja-arvot eivät kuitenkaan ylity ja valaisin läpäisee testin.



Kuva 7.9 LSTER215 LED valaisin

Kuvasta 7.9 voidaan huomata, että LSTER215 LED -valaisimen aiheuttama radiosäteily on hyvin lähellä pienemmän mallin päästöjä. Tästä heräsi kysymys taustasäteilyn tasosta ja siitä, kuinka paljon sen yläpuolella kummankaan valaisimen päästöt ovat.



Kuva 7.10 Turun ammattikorkeakoulun EMC-laboratoriossa mitattu taustasäteily

Testaushuoneessa mitattiin säteily tyhjässä testihuoneessa. Tämä näkyy kuvassa 7.10. Tätä verrattaessa akuttomien valaisimien mittaustuloksiin voidaan huomata näiden valaisimien antavan hyvin vähän haitallista sähkömagneettista säteilyä ympäristöön.

7.3 Tulosten analysointi

Kaikki valaisimet läpäisivät EN 55015 -standardin mukaiset mittaukset. Eniten häiriötä aiheutti akkuvarmennettu valaisin, joka oli kuitenkin reilusti hyväksyttävissä rajoissa. Valaisimien maadoitettu metallirakenne, jonka sisällä virtalähteet ovat, suodattavat valaisinten aiheuttaman sähkömagneettisen säteilyn määrää.

Virtalähteissä on valmistajan EN 55015 -standardin mukaisuusvaatimuksen leima ja näillä mittauksilla voidaan havaita, että niiden suunnittelussa ja valmistuksessa on otettu huomioon nykyaikaiset vaatimukset ja säännökset.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä mitattiin kolmen erilaisen laivojen konehuonevalaisimen RF-emissiot. Tarkoituksena oli varmistaa valaisinten virtalähteiden valmistajan lupaus niiden sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta. Testauksessa keskityttiin mittaamaan valaisimista galvaanisesti johtuvia ja radiotaajuuksilla säteileviä häiriöitä.

Testaus piti suunnitella Turun ammattikorkeakoulun EMC-laboratorion kanssa ennen mittausten aloittamista. Laboratoriohenkilökunnan ammattitaito ja osaaminen auttoivat merkittävästi suunnittelua tehdessä. Valaisimista mitattiin johtuvat häiriöt kytkemällä ne keinoverkon kautta spektrianalysaattoriin, joka mittasi sähköverkkoon galvaanisesti kytkeytyvän häiriön tason. Radioaaltojen avulla kytkeytyvät häiriöt mitattiin laboratorion puolikaiuttomassa huoneessa. Valaisin pyöri mittausten aikana 360° sekä pysty- että vaakapolarisaatiolla mitattaessa. Spektrianalysaattori mittasi RF-häiriön tason.

Työssä voitiin havaita, että kaikkien valaisimien käyttämät virtalähteet ovat sähkömagneettisesti yhteensopivia ja täyttävät EN 55015 -standardin mukaiset määräykset. Laitteiden tuottamat RF-säteilyt eivät olleet juurikaan taustakohinan yläpuolella. Valaisimet eivät aiheuta häiriöitä muille sähkölaitteille lähistöllä ja niitä voidaan myydä jatkossa ilman huolta yhteensopivuuden kannalta. Työ antoi asiantuntemusta sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta ja antoi lisäarvoa työntekijänä kirjoittaneelle. Tämän työn mittausten jälkeen Laivasähkötyö Oy on käyttänyt Turun ammattikorkeakoulun EMC-laboratorion palveluita muissakin kohteissa, joissa tämän työn tuoma asiantuntemus on auttanut.

LÄHTEET

- [1] TUKES, *Sähkömagneettinen yhteensopivuus – EMC* [www-sivu]. Saatavilla: <https://tu-kes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkomagneettinen-yhteensopivuus-emc> (Luettu: 30.05.2019)
- [2] EN 55015:2013+A1:2015. *Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment*. 2013. 76 s.
- [3] Losev, O. V. *Telegrafi ya i Telefoniya bez Provodov 1927 Vol. 44. S. 485–494*.
- [4] Newton, I. *Opticks or, a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections, and Colours of Light, The Fourth Edition, corrected*. 1730. 406 s.
- [5] Beard D. W. *Switching mode power supplies*. Thesis (M.S. in E.E.) U.S. Naval Postgraduate School. Monterey, California. 1980. 202 s.
- [6] Skilling H. H. *Transient electric currents 2nd ed*. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 1952. 361 s.
- [7] EN 55016-1-2:2014+A1:2018. *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Radio disturbance and immunity measuring apparatus. Coupling devices for conducted disturbance measurements*. 2018. 108 s.
- [8] Khadka S. *Evaluation of Radio Anechoic Chamber*. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu, Helsinki. 2017. 51 s.