

**Energiamittareiden EMC-testihuoneen
spesifikaatio, asennus ja hyväksyntä**
Amitronic Oy

Miika Hokkanen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä Hokkanen, Miika	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2020
	Sivumäärä 51	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Energiamittareiden EMC-testihuoneen spesifikaatio, asennus ja hyväksyntä		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka		
Työn ohjaajat Kari Hytönen, Hannu Kivistö		
Toimeksiantaja Amitronic Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Elektroniikkatuotteista tulee testata sähkömagneettinen yhteensopivuus eli EMC, jotta tuotteet täyttävät standardivaatimukset. Näin ollen EMC on olennainen osa elektroniikka-alan tuotekehitystä ja uusien laitteiden hyväksymistä. Elektroniikkatuotteiden säteilevää sähkömagneettista yhteensopivuutta testataan EMC-testihuoneissa, joita käyttävät esimerkiksi oppilaitokset, viralliset testauslaboratoriot sekä yritysten tuotekehitysosastot.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää EMC-testihuoneen spesifiointia, asennusta ja hyväksyntämittauksia. Opinnäytetyö kertoo Jyväskylään rakennetun EMC-huoneprojektin läpiviennistä, alkaen huoneen standardivaatimuksista huoneen toteutukseen ja luovutukseen. EMC-testihuoneen käyttötarkoitusta ja vaatimuksia selvitetään EMC-testausteorialla ja siihen liittyvillä standardeilla ja testihuoneen spesifioinnilla.</p> <p>Tietoperustan keräämisessä auttoi vierailu EMC-testihuoneen valmistajan tehtaalla Hollannissa, missä sain koulutusta aiheesta. Tietoperustana toimivat myös standardit, jotka ohjaavat testihuoneen suunnittelua. EMC-testihuoneen vaatimukset selvisivät valmistajan ja asiakkaan kanssa käydyissä spesifiointipalaverissa. Läsnäolo EMC-huoneprojektin toteutusvaiheessa auttoi ymmärtämään huoneen asennusta ja hyväksyntämittauksista. Näin raportista saa kattavan käsityksen EMC-testihuoneen toteutuksesta käytännössä.</p> <p>Testihuoneen hyväksyntämittauksissa todentuu huoneen suorituskyky vaadituissa standardeissa, jotta asiakkaalle luvatut huoneen vaatimukset täyttyvät. Opinnäytetyötä voidaan käyttää esimerkiksi uuden myynti-insinöörin tai EMC-alan työntekijän koulutuksessa. Sen lisäksi toimeksiantaja voi käyttää opinnäytetyötä parantaakseen kokonaisprojektin läpivientä ja hallintaa.</p>		
<p>Avainsanat (asiasanat)</p> <p>Sähkömagnetismi, sähkömagneettinen yhteensopivuus, EMC, testihuone, EMC-standardit, spesifiointi, EMC-hyväksyntä.</p>		
<p>Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)</p> <p>Liitteet 1, 2, 3, 4, 5 ja 6 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on teknologista taikka muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevat tiedot (Julkl 24§, 21). Salassapitoaika on kaksikymmentä (20) vuotta. Salassapito päättyy 30.4.2040.</p>		

Author Hokkanen, Miika	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 51	Permission for web publication: x
Title of publication The specification, installation and approval of EMC-test chamber for energy meters		
Degree programme Energy- and environmental technology		
Supervisors Kari Hytönen, Hannu Kivistö		
Assigned by Amitronic Oy		
Abstract <p>Electromagnetic compatibility (EMC) should be tested in electronic products, to comply with product standards. EMC is essential part of the electronic industry's product development and approval of new equipment. Radiated electromagnetic compatibility is tested in EMC-chambers, which are used for example in universities, official test laboratories and manufacturers product development and quality departments.</p> <p>The target of the Bachelor's thesis was to clarify specification, installation and approval measurements of an EMC-chamber. Thesis sorts out the passthrough of EMC-chamber project supplied in Jyväskylä, from the standard requirements to implementation and delivery of the chamber. The use and requirements of an EMC-chamber is cleared with EMC-test theory, test standards and specifications of the chamber.</p> <p>Visit in the manufacturer of the EMC-chamber in Netherlands helped gathering the knowledge base of the thesis. There was also opportunity to get training on the EMC-theory. Standards are also part of the knowledge base, as they give the framework of the design of the chamber. The requirements of the chamber were clarified in specification meetings. Presence during in installation and approval measurements gives the understanding of the project in practice. That gives comprehensive picture of the whole EMC-chamber project.</p> <p>The performance of the chamber will be ensured with the approval measurements required in the standards. Passing of the approval measurements are promised to the end customer. The thesis can be used as an instruction of an EMC-chamber for new sales engineer or EMC-field worker. The assigner of the thesis can use it to improve the project management.</p>		
Keywords/tags (subjects) Electromagnetic compatibility, EMC, standard, specification, test room.		
Miscellaneous (Confidential information) Appendixes 1,2,3,4,5 and 6 are confidential, and they are removed from public thesis. The reason for confidential information is technological or other development work and the evaluation of them (Julkl 24§, 21). Time to keep confidentiality is twenty (20) years. Confidentiality ends in 30.4.2040.		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset	4
1.2	Amitronic Oy.....	5
2	EMC-testaaminen	6
2.1	Sähkömagneettinen yhteensopivuus.....	6
2.2	Säteilevät emissio- ja immunitettitestaukset.....	9
2.3	EMC-testihuone.....	11
3	EMC-testihuoneen standardivaatimukset	14
3.1	Suojausvaimennus standardi	14
3.2	Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus standardi.....	15
3.3	Jännitteen seisovien aaltojen suhde standardi	17
3.4	Vapaantilan referenssimittausmenetelmä.....	19
4	EMC-testihuoneen spesifiointi	20
4.1	Spesifiointipalaverit.....	20
4.2	Testihuoneen mitat ja ilmanvaihto	21
4.3	Suojaus- ja heijastusvaimennusteknologia	23
4.4	RF-suojatut ovet	24
4.5	Sähkönsyöttö huoneeseen ja testattavalle tuotteelle	25
4.6	Läpivientipaneelit	25
4.7	Kääntöpöytä ja antennimasto	26
4.8	Vahvistinhuone.....	27
5	Asennus	27
5.1	Logistiikka	27
5.2	EMC-testihuoneen rungon ja paneelien asennus	27
5.3	Heijastusvaimentimien asennus.....	30
5.4	Kääntöpöydän ja antennimaston asennus.....	33
6	Hyväksyntämittaukset	33
6.1	Hyväksyntämittausuunnitelma.....	33

	2
6.2	Suojausvaimennusmittaukset 34
6.3	Vapaan tilan referenssimenetelmän hyväksyntämittaukset 36
6.4	Jännitteen seisovien aaltojen suhteen hyväksyntämittaukset 37
6.5	Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittaukset 39
7	Tulokset 40
7.1	Suojausvaimennusmittauksien tulokset 40
7.2	Vapaan tilan referenssimenetelmän mittaustulokset 41
7.3	Jännitteen seisovien aaltojen suhteen mittaustulokset 41
7.4	Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus mittaustulokset..... 41
8	Yhteenveto ja pohdinta 42
	Lähteet 44
	Liitteet 46
	Liite 1. EMC-Chamber project check list (Salassapidettävä) 46
	Liite 2. Scope of Work (Salassapidettävä) 47
	Liite 3. Shielding Effectiveness Test Report (Salassapidettävä) 48
	Liite 4. RSM Test Report (Salassapidettävä) 49
	Liite 5. SVSWR Test Report (Salassapidettävä) 50
	Liite 6. Field Uniformity Test Report (Salassapidettävä) 51
Kuviot	
	Kuvio 1. Sähkömagneettisen säteilyn eteneminen 6
	Kuvio 2. EMC havainnekuvio säteilevät ja johtuvat häiriöt 7
	Kuvio 3. EMC-testauksen jaottelu 9
	Kuvio 4. Säteilevien emissioiden mittaasetelma 10
	Kuvio 5. Fresnelin ellipsin määrittämä vapaan tilan tarve 12
	Kuvio 6. EMC-testihuoneen periaatekuva 13
	Kuvio 7. Magneettikentän suojausvaimennusmittausasetelma 15
	Kuvio 8. Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus mittaasetelma 16

Kuvio 9. 16 mittauspistettä tasossa sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittauksissa	17
Kuvio 10. SVSWR-mittauspisteet ylhäältäpäin katsottuna.....	18
Kuvio 11. SVSWR-mittauspisteet sivusta katsottuna	19
Kuvio 12. RSM-mittausasetelma.....	20
Kuvio 13. Hunajakennon rakenne	22
Kuvio 14. Comtestin eri absorberimalleja	24
Kuvio 15. Esimerkki läpivientipaneelistä	26
Kuvio 16. EMC-testihuoneen seinäpaneelien asennus	28
Kuvio 17. Absorberit ferriittiseinään kiinnitettynä	31
Kuvio 18. Valmis EMC-testihuone	32
Kuvio 19. Suojausvaimennusmittauksien mittausasetelma	35
Kuvio 20. RSM-mittauksien mittausasetelma sivulta	36
Kuvio 21. RSM-hyväksyntämittausasetelma	37
Kuvio 22. SVSWR-hyväksyntämittausasetelma	38
Kuvio 23. Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittauksien asetelma	40

Taulukot

Taulukko 1. Suojausvaimennusmittauksien mittaustaajuudet	34
--	----

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tietoa ja lisätä osaamista energiamittareiden testaamiseen tarkoitetun EMC-testihuoneen spesifioinnista, asennuksesta sekä testihuoneen hyväksyntään vaadittavista mittauksista. Tutkimisen arvoisen aiheesta teki se, että vaikka Suomessa on käytössä useita testihuoneita, niitä tarvitaan tulevaisuudessa todennäköisesti lisää. Tämä johtuu suomalaisten yritysten tarpeesta testata tuotteitaan, jotta ne pääsevät standardeissa vaadittuihin emissio- ja immunitettiin vaatimuksiin. Opinnäytetyön toimeksiantaja toimii elektroniikan testaus- ja suojausalalla. Suomessa EMC-testihuoneita käyttävät esimerkiksi elektroniikka- ja autoalan yritykset, viralliset testauslaboratoriot sekä oppilaitokset.

Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä spesifikaatiota ja standardeja EMC-testihuoneella on?
- Mitä EMC-testihuoneen asennukseen kuuluu?
- Mitä EMC-testihuoneeseen tehtävät hyväksyntämittaukset ovat?
- Kuinka EMC-testihuoneprojekti toteutetaan?

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mitä FAR (Fully Anechoic Room) EMC-testihuoneen spesifiointiin, asennukseen ja hyväksyntään sisältyy ja miten ne toteutetaan käytännössä. Opinnäytetyön fokus oli EMC-testihuoneen asennuksessa ja testauksessa. Raportissa tietoperustaa käsitellään sen verran, kuin on tarpeellista kokonaisuuden ymmärtämiseen. Spesifioinnissa huomio kiinnittyy asiakkaan vaatimuksiin, joihin vaikuttaa ensisijaisesti asiakkaan testattava tuote. Yleisesti EMC-testitiloja tarvitaan, jotta voidaan todentaa, että asiakkaan tuote täyttää sille standardeissa asetetut vaatimukset. Testitilan spesifiointiin liittyvät asiakkaan ja valmistajan kanssa pidetyt palaverit, jotka tapahtuvat EMC-testihuoneen suunnitteluvaiheessa. EMC-testihuoneen asennusvaiheeseen liittyy muun muassa testihuoneen ympäristöön koskevat vaatimukset, kuten lattian tasaisuus ja ympäristön kosteuteen liittyvät ris-

kit. Itse EMC-testihuoneen asennus on järjestelmällinen kasaus tukirakenteista huoneen viimeistelyyn. Asiakas määrittelee EMC-testihuoneelle vaaditut ominaisuudet, jotka testataan hyväksyntämittauksilla testihuoneen kasauksen jälkeen. Itse huoneelle on kuitenkin tietyt standardivaatimukset riippumatta asiakkaan tarpeista. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös löytää mahdollisia parannuksia toimittajan näkökulmasta. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Amitronic Oy, asiakas oli Landis+Gyr Oy, ja testihuoneen valmistaja on hollantilainen Comtest Engineering BV.

Opinnäytetyö rajattiin kolmeen pääosuuteen EMC-huoneprojektissa: huoneen spesifointiin, asennukseen ja hyväksyntään.

Opinnäytetyö on kehittämistyö.

1.2 Amitronic Oy

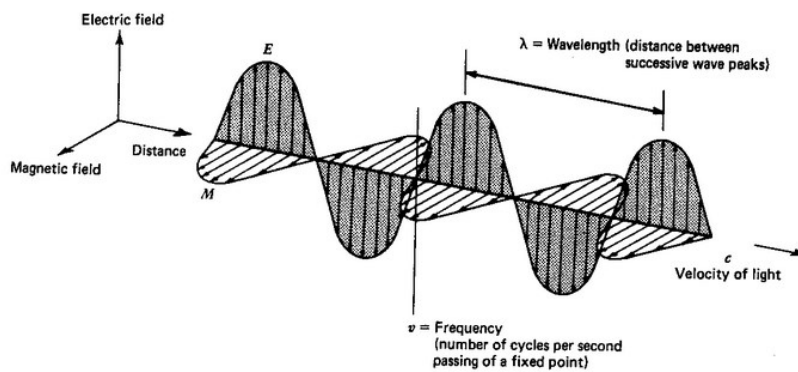
Amitronic Oy on Hollolassa sijaitseva tekniikan alan maahantuontiyritys, joka on syntynyt vuonna 2009 Amitra Oy:n sekä Matronic Oy:n fuusioissa. Amitronic pohjautuu vuonna 1993 perustettuun Amitra Oy:n, joten yrityksellä on ikää 27 vuotta. Yrityksen tuotealueet on jaettu kolmeen eri osa-alueeseen: elektroniikan testaukseen, -suojaukseen sekä elektroniikan tuotantomateriaaleihin ja -laitteisiin. Opinnäytetyö liittyy elektroniikan testaamiseen. Yrityksessä on kahdeksan työntekijää, jotka vastaavat noin 300 asiakkaan tarpeista. Amitronicin tavarantoimittajat ovat pääasiassa Euroopasta, mutta muutamia toimittajia on myös Aasiasta ja Yhdysvalloista. Amitronic on pk-yritys ja sen liikevaihto on kasvanut viime vuosien aikana noin 6 500 000 euroon. (Amitronic n.d.)

Yrityksen omistaa kokonaan ruotsalainen Addtech-konserni, joka omistaa noin 130 tekniikan alan yritystä ympäri maailmaa, pääasiassa kuitenkin Pohjois-Euroopassa. Addtechin liiketoiminta-alueet on jaettu automaatioon, komponentteihin, energiaan, teollisuuden prosesseihin sekä tehoratkaisuihin. (Addtech n.d.)

2 EMC-testaaminen

2.1 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Nyky-yhteiskunnassa ihminen altistuu ihmisen aiheuttamalle sähkömagneettiselle kentälle erityisesti alueilla, joilla on paljon asutusta. Sähkömagneettista kenttää syntyy esimerkiksi sähkövoimalinjoista, rakennusten sähköverkoista, matkapuhelimista sekä tukiasemista. Myös luonnolliset lähteet aiheuttavat sähkömagneettikenttää, näitä lähteitä ovat esimerkiksi maan oma magneettikenttä, salamointi ja auringon lähettämät sähkömagneettiset aallot. (Nyberg & Jokela 2006.) Sähkömagneettinen säteily muodostuu värähtelevistä sähkö- ja magneettikentistä (ks. kuvio 1). Radioaaltoiksi luokitellaan taajuudet, jotka ovat 3 Hz–300 GHz. Kaikki langaton viestintä tapahtuu tällä taajuusalueella. (Mäenpää 2018.)



Kuvio 1. Sähkömagneettisen säteilyn eteneminen (Sähkömagneettinen säteily n.d.)

Sähkömagneettisella yhteensopivuudella (EMC, electromagnetic compatibility) tarkoitetaan laitteen tai systeemin toimintaa omassa sähkömagneettisessa ympäristössä. Laite tai systeemi ei saa tuottaa sietämätöntä sähkömagneettista häiriötä sen ympäristöön (ks. kuvio 2.) Markkinoilla olevien elektronisten laitteiden tulee olla EMC yhteensopivia, jolloin ne täyttävät vaaditut standardit, kuten CE-hyväksynät.

Sähkömagneettista yhteensopivuutta testataan sekä emissio- että immunitaattitestauksella. (Helttula 2018.) Vastuu EMC:n huomioon ottamisesta kuuluu yleisesti tuotekehitykselle, jolloin EMC:hen voivat vaikuttaa elektroniikka-, ohjelmisto- sekä mekaniikkasuunnittelijat. EMC:n huomiointi on välttämätöntä suunniteltaessa elektroniikkalaitteita ja muita sähkökäyttöisiä laitteita. (Korhonen n.d.) Sähkömagneettinen yhteensopivuus on osa nykypäivää teollistuneissa yhteiskunnissa. Kun tietokoneet ja muut sähköiset komponentit pienenevät jatkuvasti, tulee sähkömagneettinen yhteensopivuus huomioida entistäkin enemmän. (Baker 2015.)

Sähkömagneettiset häiriöt voidaan jaotella etenemistapaa tutkimalla johtuviin sekä säteileviin häiriöihin. Johtuvissa häiriöissä on galvaaninen yhteys häiriölähteestä häiriötä vastaanottavaan laitteeseen. Johtuvia häiriöitä ovat esimerkiksi käyttöjännitteen aaltoilu, nopeat transientit ja harmoniset yliaallot. Säteileviä häiriöitä ovat häiriöt ilman galvaanista kontaktia. Säteileviä häiriöitä ovat esimerkiksi sähkömagneettinen kenttä sekä kipinäpurkaus. Rajat eri etenemismuotojen välillä eivät ole täysin selviä, sillä säteilevä häiriö voi kytkeytyä johtimiin. (Korhonen n.d.)



Kuvio 2. EMC havainnekuvio säteilevät ja johtuvat häiriöt (Emtest n.d.)

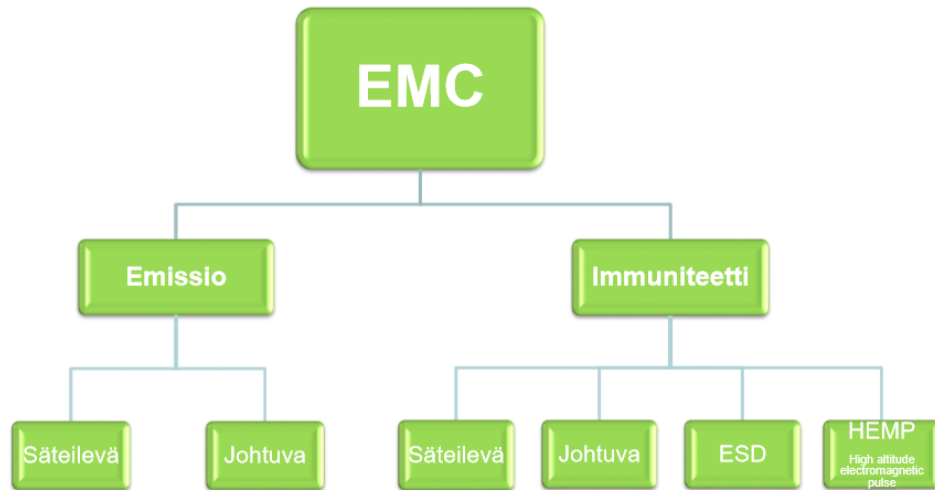
Häiriöt jaotellaan häiriösignaalin leveyden perusteella taajuusalueessa kapeakaistaisiin ja laajakaistaisiin häiriöihin. Kapeakaistainen häiriö voisi olla esimerkiksi prosessorin toimintataajuudella esiintyvä sähköpiikki. Lämpökohina taas on esimerkki laajakaistaisesta häiriöstä. Sähkömagneettisia häiriöitä luokitellaan myös niiden tarkoituksellisuuden perusteella. Tarkoituksellista häiriötä on esimerkiksi radiolähetys. Tahanon häiriö voi olla esimerkiksi tietokoneen kellotaajuuden tai näytön poikkeutuksen

aiheuttama ulkoinen häiriökenttä. Vaikka itse sähkölaitteiden emissiotasot saataisiin pieniksi, täytyy silti varautua suojatumaan eri luonnonilmiöiden, kuten salaman ja staattisten purkausten, häiriövaikutuksilta. Radiotaajuiset lähetykset ovat hyvä esimerkki vaadittavasta radiosignaalikentän siedosta. (Korhonen n.d.)

Sähkökenttä ja magneettikenttä voidaan jakaa dominoivaan magneettikenttään, dominoivaan sähkökenttään, RF-kenttään ja magneettikenttään. Dominoiva magneettikenttä syntyy pieni-impedanssisessa lähteessä, jossa kulkee sähkövirta. Dominoiva sähkökenttä syntyy jännitteen vaikutuksesta suuri-impedanssisessa lähteessä, jossa sähkökenttä on merkittävä, yli 30 MHz. Magneettikenttä taas on merkittävä sitä pienemmillä taajuuksilla. Sähkökenttä moduloidaan amplitudi- tai taajuusmodulaatiolla, jotta sietotesteistä saataisiin todellisuutta vastaavia. RF-kentän aiheuttavat esimerkiksi matkapuhelimet, tutkat sekä radio- ja tv-lähetykset. (Korhonen n.d.)

Emissiolla tarkoitetaan laitteesta tai systeemistä lähtevää häiriötä, EMC:n näkökulmasta voi siis olla säteilevää emissiota sekä johtuvaa emissiota. Laite ei siis saa häiritä muita laitteita tai systeemejä tai itseään käyttöympäristössään. Säteilevää emissiota on esimerkiksi sähkömagneettinen säteily ympäristöön. EMC:n johtuvaa emissiota on kaapeleita tai johtoja pitkin kulkeutuva sähkömagneettinen häiriö. (Helttula 2018.)

Immunitetilla tarkoitetaan EMC:ssä sitä, että laite ei saa häiriintyä muiden laitteiden sähkömagneettisista ilmiöistä. EMC-immuniteettitestausta on jaettu neljään eri osaluokkaan: säteileviin-, johtuviin-, ESD- sekä HEMP-testauksiin. (Helttula 2018.) Opin näytetyössäni tulen käsittelemään EMC-testausta vain säteilevien emissio- ja immuniteettitestausten kannalta, sillä nämä testit tehdään EMC-testihuoneessa. Kuviossa 3 on jaoteltu erityyppiset EMC-testaukset (ks. kuvio 3).

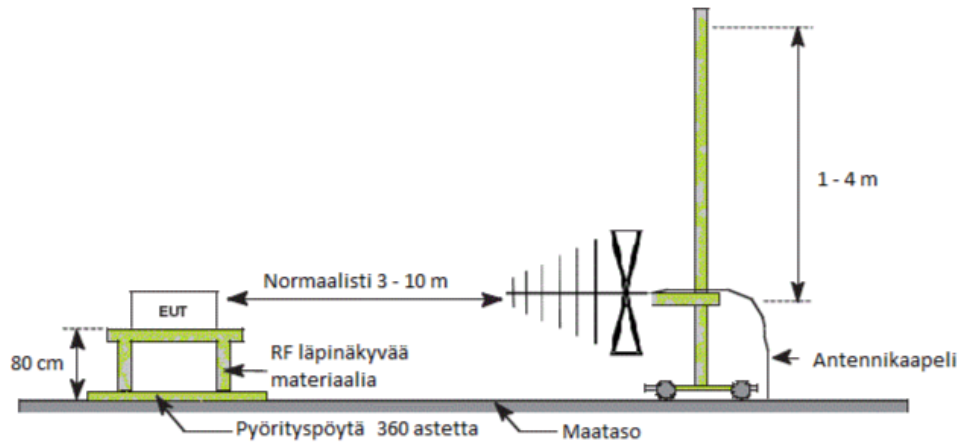


Kuvio 3. EMC-testauksen jaottelu (Helttula 2018)

2.2 Säteilevät emissio- ja immunitteettitestaukset

Säteilevällä emissiotestauksella tarkoitetaan testattavan laitteen (EUT, Equipment Under Test) ulospäin lähettämän sähkömagneettisen säteilyn mittausta. Säteilevät emissiot testataan esimerkiksi standardin EN 55032 mukaan, jossa määritellään testauksen taajuusarvot sekä signaalin laatu. Käytettävä standardi määrittelee testitaajuudet, esimerkiksi standardissa EN 55032 se rajataan välille 30 MHz–6 GHz. Radio sekä IOT (Internet of Things) -laitteistolle tehdään harmonisten harhalähetteiden testit, joissa taajuusalue on 30 MHz–12,75 GHz. (Helttula 2018.)

Testitilanne on emissiotestauksessa määritelty standardissa, joka määrittää testausympäristön. Testausympäristössä on määritelty testattavan tuotteen sijainti, joka on 80 cm lattiatasosta, sekä 3 tai 10 m mittausantennista (ks. kuvio 4). Testattava tuote asetetaan testipöydälle, jonka tulee olla radiotaajuuksille läpinäkyvää materiaalia. Testipöytä on asetettu pyörityspöydälle, jonka avulla tutkittavaa tuotetta voidaan pyörittää 360 astetta. Mittausantenni on kiinnitetty antennimastoon, jota voidaan nostaa yhdestä metristä neljään metriin. Joitain antennimastoja voidaan ohjata etänä. Testit tehdään EMC-testihuoneessa.



Kuvio 4. Säteilevien emissioiden mittausasetelma (Helttula 2018)

Säteilevien laitteiden immunitetitestausta suoritetaan esimerkiksi EN 61000-4-3 standardin mukaan. Standardissa on määritelty, millä taajuusalueilla ja kentänvoimakkuuksilla tutkittavaa tuotetta testataan. Standardissa EN 61000-4-3 vaaditaan testien taajuusalueeksi 80 MHz–6 GHz. Kentänvoimakkuus on määritelty standardissa arvoksi 1–10 V/m. Amplitudimodulaatio on testeissä 80 %, ja se moduloidaan siniaalloilla. Testattavaa tuotetta testataan neljässä eri kulmassa lähetinantenniin verrattuna: 0, 90, 180 ja 270 asteessa. Antennia käännetään vertikaalisesti 90 astetta immunitetitesteissä, jotta saadaan testattua sekä vaaka- että pystypolarisaatio. Polarisaation muutoksella tarkoitetaan antennin kiertämistä joko vaaka- tai pystyasentoon. (Helttula 2018.)

Varsinainen immunitetitesti suoritetaan EMC-testihuoneessa, ja mittauslaitteisto on sijoitettu EMC-testihuoneen yhteydessä olevaan, ulkoisilta häiriöiltä suojattuun huoneeseen (RF-huone). Tämä sen vuoksi, etteivät ympäristöstä aiheutuvat signaalit häiritse EMC-testeissä käytettäviä mittauslaitteita ja näin vaikuta EMC-testien mitaustarkkuuteen. Testattava tuote on RF-läpinäkyvän pöydän päällä, josta mainittiin emissiotestauksessa.

2.3 EMC-testihuone

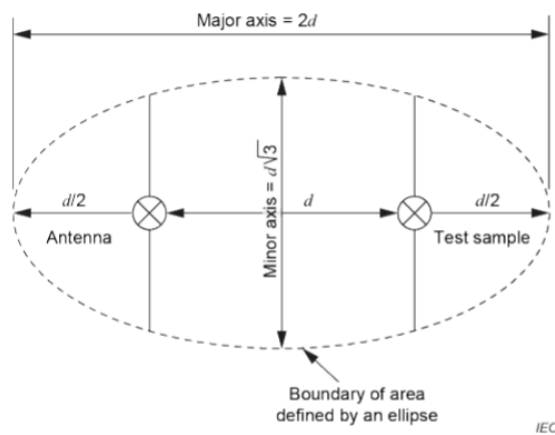
Sähkömagneettista yhteensopivuutta testataan EMC-huoneissa neljällä eri toimialalla. Kaupallisella alalla käytetään alan omia standardeja. Kaupallista puolta EMC-testauksessa edustaa juuri kuluttajille ja yrityksille suunnitellut elektroniikkalaitteet, kuten matkapuhelimet, älykellot, valaistus ja tässä tapauksessa energiamittarit. Kaupallisella puolella emissiotestit tehdään CISPR32 standardiin perustuen ja immunitetestaus EN61000-4-3 standardin mukaan. (Trucchi 2020.)

Kaupallisen alan lisäksi erilaisia EMC-testihuoneita tarvitsee tukiasema-, sotilas- ja autoala. Tukiasemapuolella testataan ETSI-standardin mukaan. Sotilaspuolella testataan sekä emissioita ja immunitetteita sotilasstandardien mukaan (esim. MIL-Std-461). Autoalalla EMC-testausta on aikaisemmin jouduttu tekemään autojen elektroniikkakomponenteille, mutta nykyisten uusien sähkö- ja hybridautojen vuoksi autojen elektroniikka ja sen mukaan EMC-testausvaatimukset ovat lisääntyneet huomattavasti. Autojen EMC-emissiotestausta tehdään standardin CISPR25 ja EMC-immunitetestausta standardin ISO 11452-2 mukaan. (Trucchi 2020.)

Testihuoneen koko riippuu siitä, mikä on standardinmukainen mittausetäisyys sekä testattavan tuotteen koko. Kaupallisen puolen testeissä mittausetäisyydet ovat kolme, viisi ja kymmenen metriä. Telekommunikaatiopuolella käytetään vain kolmen metrin mittausetäisyyttä. Sotilas- ja autopuolen standardeissa mittausetäisyys on vain metri. (Trucchi 2020.) Jatkossa tässä opinnäytetyössä keskitytään vain kaupallisen alan testausvaatimuksiin.

EMC-testihuoneen mitat määräytyvät Fresnelin ellipsin mukaan. Se vaatii testausalueen ympärille ellipsin muotoisen vapaan ilmatilan (ks. kuvio 5). Todellisuudessa testihuone suunnitellaan hieman tätä suuremmaksi. Otetaan esimerkiksi EMC-testihuone SAC (Semi Anechoic Chamber) eli puolikaiuton huone, jolla voidaan tehdä yleisimmät hyväksyntämittaukset. Oletetaan, että mittausetäisyys testattavasta tuotteesta on 3 metriä. Näin ollen testattavan tuotteen alue on 1,5 metrin halkaisijalla oleva sylinteri, joka on 1,5 metriä korkea. Testausaluetta kutsutaan nimellä Quiet Zone, joka viittaa

heijastuksettomaan alueeseen. Testausalueen takaosasta tulee olla etäisyyttä lähimpään esteeseen 1,1 metriä. Molemmille sivuille etäisyyden tulee olla vähintään 1,5 metriä. Mittausantenniin etäisyys on siis kolme metriä ja antennin keskikohdasta etäisyys takaseinään kaksi metriä. Huoneen mitoissa tulee huomioida korotettu lattia kaapeliväylien takia. Seinissä ja katossa sisäseinä on huomattavasti sisempänä, kuin mitä voisi olettaa johtuen ferriiteistä ja absorbereista. Absorberit ovat 3 metrin testi-huoneessa syvyydeltään 45 senttimetriä ja niiden koko huomioidaan huoneen mittojen suunnittelussa. (Trucchi 2020.)



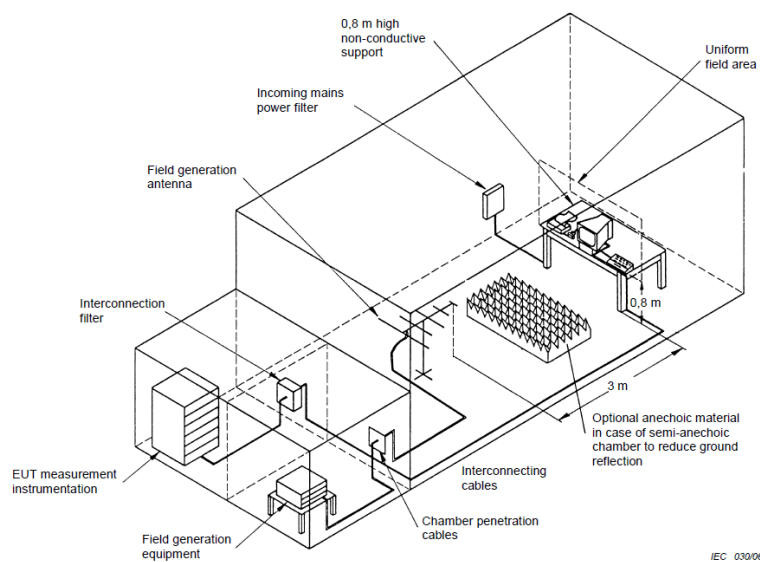
Kuvio 5. Fresnelin ellipsin määrittämä vapaan tilan tarve (CISPR 16-4-1:2019)

Huoneen korkeus määräytyy standardin mukaan. Lattia voi olla korotettu esimerkiksi 150mm johtojen kuljetuksia varten. Lattiakorkeudesta tulee olla neljä metriä antennin alapintaan ja laskennallinen 0,6 metrin lisäkorkeus vaaditaan antennin polariteetin kääntöä varten. Nämä asiat huomioidaan testihuoneen korkeuden suunnittelussa. Tämän pituuden jälkeen alkaa absorberiseinä katossa. (Trucchi 2020.)

SAC-huoneen (SAC 3M) RSM (CISPR 16-1-4) -mittauksissa vaaditaan 30 MHz–1 GHz taajuudella mittausepätkkyys pienemmäksi kuin $\pm 4,0$ dB. Mittausepätkkyys ± 4 dB tulee ajattelusta, että huone aiheuttaa 1 desibelin, antenni aiheuttaa 1 desibelin ja vastaanotin aiheuttaa 2 desibelin mittavirheen. Tällöin huone on hyväksyttävä ky-

seisen standardin mukaan. Jos mittausepäätarkkuus ei pysy vaadittavalla ± 4 dB:n tasolla, huonetta kutsutaan pre-compliance huoneeksi eli se soveltuu esimerkiksi tuotekehitykseen valmistajille. Tällöin EMC-huoneen käyttäjälle riittää usein ± 6 desibelin mittausepäätarkkuus. Pre-compliance huone voidaan tehdä pienemmäksi 3 metrin mittausetäisyydellä, jolloin huoneen koko on yleensä suurusluokkaa 3 m x 3 m x 7 m. Tällaisen testihuoneen investointikustannukset ovat pienemmät kuin täysimittaisen 3 metrin SAC EMC-huoneella. (Trucchi 2020.)

Periaatekuva EMC-testihuoneesta (ks. kuvio 6) kertoo, minkälainen EMC-testihuone on rakenteeltaan. Isommassa eli varsinaisessa testihuoneessa on kaiuton alue (uniform field area), jonne testattava tuote asetetaan mittauksien ajaksi. Kolmen metrin mittausetäisyyden päässä on lähetinantenni, jolla luodaan sähkömagneettinen kenttä testeihin. Lisäksi huoneeseen on läpiviennit, joita käyttämällä viedään esimerkiksi sähkövirta testihuoneeseen. EMC-testihuoneen yhteydessä on pienempi vahvistinhuone, jonne voidaan asettaa mittauslaitteistot ja signaaligeneraattorit. Signaalit huoneiden välillä viedään käyttämällä läpivientiliittimiä.



Kuvio 6. EMC-testihuoneen periaatekuva (IEC 61000-4-3:2016, 49)

Testausstandardi muuttui vuoden 2017 maaliskuussa, mikä mahdollisti SAC-huoneista siirtymisen kaiuttomiin FAR-huoneisiin (Fully Anechoic Room). Suurin ero SAC- ja FAR-testihuoneessa on lattia, joka SAC-huoneessa jätetään metalliseksi ja absorberit ja ferriitit siirretään lattian päälle tarvittavissa testitilanteissa. FAR-huoneessa koko huone on vuorattu ferriiteillä ja absorbereilla. FAR-huoneen etu verrattuna SAC-huoneeseen on sen pienempi koko. FAR-testihuoneessa EMC-testeissä ei tarvitse antennin korkeutta säätää neljään metriin, vaan riittää, että antenni on koko ajan samassa korkeudessa, 1,5 metrissä. SAC-huoneessa antennia nostetaan neljään metriin, jotta kaikki heijastumien mahdolliset maksimiarvot saadaan mitattua. FAR-testihuoneet on suunniteltu käytettäväksi pöydän päälle sijoitettaville tuotteille, kun SAC-testihuone on soveltuva myös lattialla asetettaville tuotteille. (Trucchi 2020.)

3 EMC-testihuoneen standardivaatimukset

3.1 Suojausvaimennus standardi

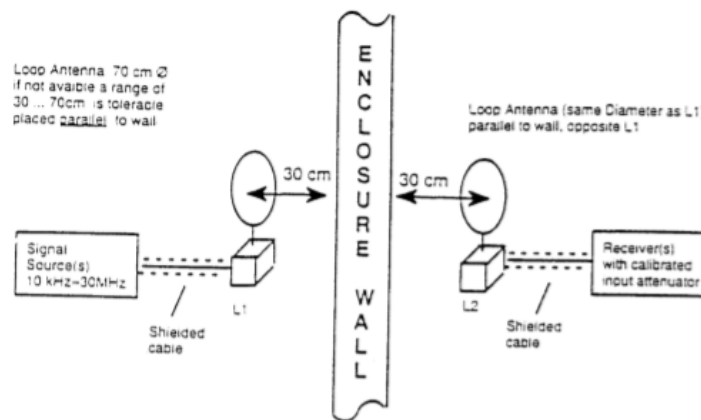
EMC-testihuoneeseen tehdään suojausvaimennusmittaukset eurooppalaisen standardin EN 50147-1 mukaan. Suojausvaimennusmittauksilla on tarkoitus selvittää testihuoneen suojauksen taso ja saavuttaako se vaaditut arvot. Suojausvaimennusmittaukset voidaan tehdä pelkälle metallipaneeleista koostuvalle huoneelle ilman ferriittejä ja absorbereita, jotta mahdolliset vuotokohdat voidaan huomata jo tässä vaiheessa. Näin voidaan välttää mahdollisista vuodoista johtuva ferriittien ja absorberien jälkikäteen purkaminen.

Suojausvaimennusmittaukset tehdään käyttäen antennipareja, joista toinen antenneista lähettää signaalia ja toinen antenni vastaanottaa signaalin. Referenssimittaukset signaalille tehdään ilman vaimennusta, jolloin saadaan referenssiarvo suojausvaimennuksen mittaamiseen. Tämän jälkeen huoneen suojausvaimennusta testataan asettamalla toinen antenni EMC-huoneen sisälle ja toinen antenni huoneen ulkopuolelle. Antennien etäisyydet seinästä on määritetty standardissa, molemmat antennit

ovat mittausten aikana vähintään 30 senttimetrin päässä paneeleista tai seinästä (ks. kuvio 7). (EN 50147-1:1996, 8.)

Erityistä huomiota suojausvaimennusmittauksissa vaaditaan yleisimmille vuotokohdille, joita ovat esimerkiksi paneelien saumat, huoneen ovet sekä läpivienti filttäreiden ympäristö. Suojausvaimennusmittaukset tehdään vähintään neljään kohtaan huonetta, suositellen eri seinustoille. Magneettikentän testeissä suositellaan käytettävän 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz ja 30 MHz testitaajuuksia. Sähkökentän testeissä taas 10 MHz ja 30 MHz taajuuksia. Tasoaalloissa testattavat taajuudet ovat 100 MHz, 400 MHz, 1 GHz, 10 GHz ja 40 GHz. (EN 50147-1:1996, 7.)

Huoneen suojausvaimennusvaatimuksia ei määritellä erikseen standardissa. Esimerkiksi tässä projektissa huoneen valmistaja spesifioi vaatimukset huoneen suojausvaimennukselle.

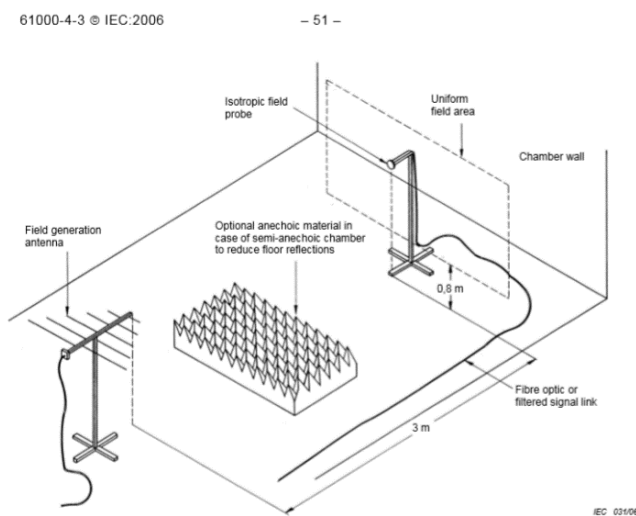


Kuvio 7. Magneettikentän suojausvaimennusmittausasetelma (EN 50147-1:1996, 8)

3.2 Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus standardi

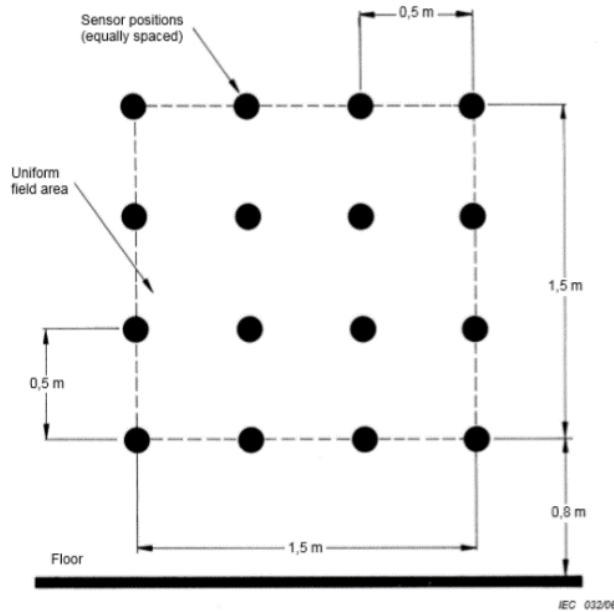
Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus EMC-testihuoneessa varmistetaan standardin IEC 61000-4-3 mukaan. EMC-testihuone kentän yhdenmukaisuusmittauksissa on standardissa määritelty 1,5 metriä korkea ja 1,5 metriä leveä, pystyasennossa antenia kohti oleva tasoalue (ks. kuvio 8). Sama kentänvoimakkuusmittausalueen koko on

käytössä myös suuremmissa, viiden ja kymmenen metrin EMC-huoneissa. Standardilla selvitetään, säilyykö kentänvoimakkuus riittävän tasalaatuisena eri mittauspisteissä kyseisen alueen sisällä. 1,5 m*1,5 m sisällä on 16 mittauspistettä. Mittausalueen alaraja on 0,8 metriä testihuoneen lattiakorkeudesta (ks. kuvio 9). Jokainen mittauspiste on tasaisella välimatkalla toisistaan mittausalueen sisällä. (IEC 61000-4-3:2006, 27). Kentänvoimakkuudet testissä riippuvat testattavasta tuotteesta, esimerkiksi radio ja mittalaitteiden kanssa käytetään 1, 3, 10 ja 30 V/m kentänvoimakkuuksia johtuen standardista. (IEC 61000-4-3:2006, 21.)



Kuvio 8. Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus mittausasetelma (IEC 61000-4-3:2006, 51)

Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuuden eroja mitataan eri taajuusalueilla. Yleinen standardissa vaadittu taajuusmittausalue on 80 MHz–1000 MHz. Radiolaitteilla taajuusalueet ovat 800–960 MHz ja 1,4–6,0 GHz. (IEC 61000-4-3:2006, 23.) Taajuusalueiden sisällä kentänvoimakkuus ei saa standardin mukaan vaihdella yli 6 desibeliä. Mittaukset ovat hyväksytyjä, jos 75 % mittapisteistä tulokset ovat kentänvoimakkuuden vaihteluvälin (6 dB) sisällä. Jos 12:sta 16:ta (75 %) mittauspisteestä on sallitun alueen sisällä, on kentänvoimakkuuden yhdenvertaisuus standardin mukaan hyväksyttävällä tasolla. (IEC 61000-4-3:2006, 27-29.) Testissä antennin polarisaatio on sekä horisontaalinen, että vertikaalinen.



Kuvio 9. 16 mittauspistettä tasossa sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittauksissa (IEC 61000-4-3:2006, 53)

3.3 Jännitteen seisovien aaltojen suhde standardi

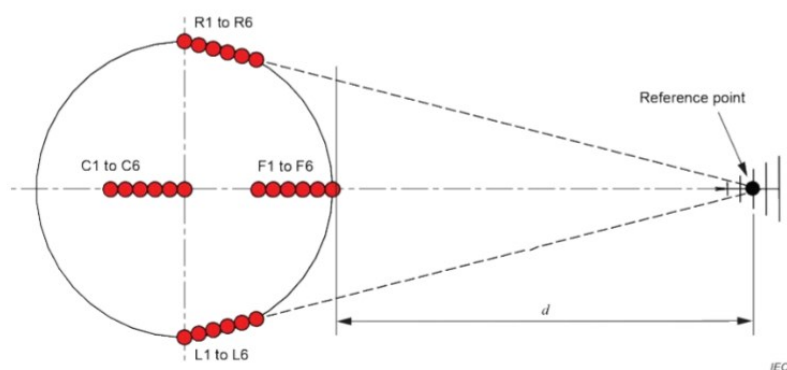
Huoneen sähkömagneettikentän heijastuksista johtuvia seisovia aaltoja mitataan hyväksyntästandardin CISPR 16-1-4 clause 7:n mukaan. Hyväksyntämittauksia kutsutaan nimityksellä SVSWR (Site Voltage Standing Wave Ratio). Mittauksilla tutkitaan huoneen suorituskykyä 1 GHz–18 GHz taajuuksilla (CISPR 16-1-4:2019, 55). Testialue määräytyy asiakkaan testattavan tuotteen koon mukaan, testialue voi olla esimerkiksi 1,5 metriä leveä ja 1,5 metriä korkea sylinterialue. Testattavan testialueen alaraja alkaa siltä korkeudelta, minkä päällä itse testattava tuote tulee olemaan. Testialueen korkeus voi alkaa maatasosta, tai 0,8 metriä korkean pöydän korkeudelta. Kaikki testattavan tuotteen osat, esimerkiksi antennit, tulee olla testialueen sisäpuolella.

Standarditestillä selvitetään huoneen heijastamattomuuden tai kaiuttomuuden suorituskykyä 1–18 GHz taajuusalueella. Heijastamattomuus selvitetään mittaamalla halutut signaalit ja ei halutut signaalit, minkä jälkeen lasketaan niiden suhde. Halutut

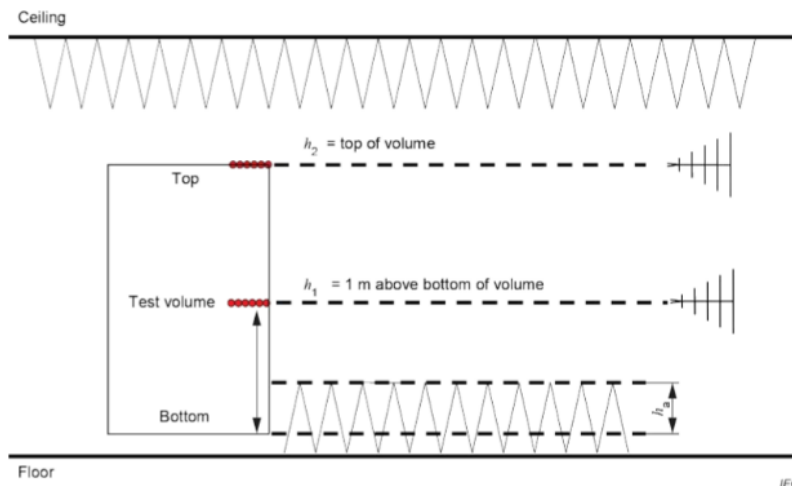
signaalit ovat suoraan antennista lähetetyt signaalit vastaanotto antennille. Ei halutut signaalit ovat heijastuneita signaaleja. Heijastuneita signaaleja ovat esimerkiksi EMC-testihuoneen seinistä, lattiasta tai katosta heijastuneet signaalit. (CISPR 16-1-4:2019, 56.) Signaalien heijastumista ovat estämässä testihuoneeseen asennetut ferriitit ja absorberit.

SVSWR-testillä saadaan suhde signaalivastaanottimelle tulleesta minimisignaalista ja maksimisignaalista. Minimisähkökenttä on silloin, kun toivottu ja ei toivottu signaali kumoavat toisiaan. SVSWR on näiden suhde. Mittaustulosten avulla saadaan suhde, jonka tarvitsee olla vaaditun arvon alle. Jotta huone olisi hyväksytty, SVSWR:n suhde tarvitsee olla alle $\leq 2:1$ tai SVSWR,dB ≤ 6 dB. 2:1 vastaa 6dB jännite-eroa. (CISPR 16-1-4:2019, 56.)

Standardi testit tehdään antennin horisontaaliselle, että vertikaaliselle polarisaatiolle. Testauksissa käytetään kuvioden 9 ja 10 mittauspisteitä (ks. kuvio 10 ja 11). Standardin mukaiset mittaukset tehdään neljälle eri mittausalueelle sylinterin sisällä, yksi mittausalue on sylinterialueen keskellä ja kolme muuta kohtaa on sylinterin edessä ja molemmilla sivuilla. Jokaisessa mittausalueessa vastaanottoantennia siirretään kuuteen pisteeseen muuttamalla vastaanottoantennin etäisyyttä lähetysantennista. SVSWR-testeissä mitataan myös testausalueen toimivuus eri korkeudelta mitattuna. Mittaukset tehdään testialueen keskeltä, sekä ylätasosta (ks. kuvio 10). (CISPR 16-1-4:2019, 60-62.)



Kuvio 10. SVSWR-mittauspisteet ylhäältäpäin katsottuna (CISPR 16-1-4:2019, 60)



Kuvio 11. SVSWR-mittauspisteet sivusta katsottuna (CISPR 16-1-4:2019, 62)

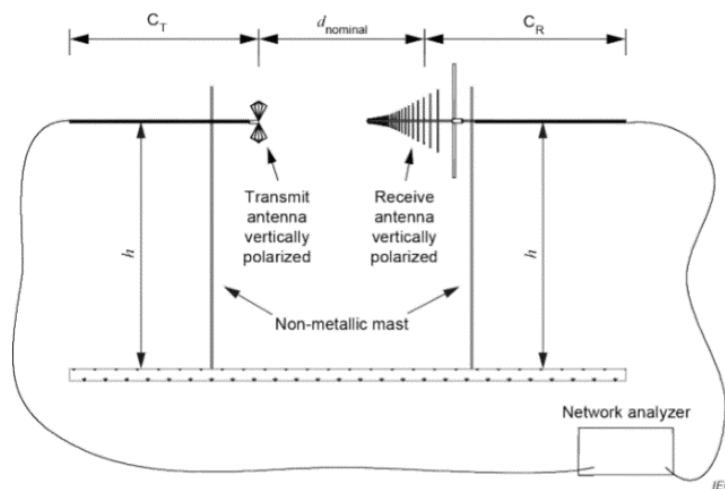
3.4 Vapaantilan referenssimittausmenetelmä

Vapaantilan referenssimittausmenetelmällä eli RSM (Reference Site Method) -mittauksilla mitataan EMC-testihuoneen heijastamattomuutta 30 MHz–1 GHz taajuusalueella. RSM-mittauksissa testausalue eli sylinterinmuotoinen Quiet Zone on sama kuin SVSWR-mittauksissakin. (CISPR 16-1-4:2019, 48.) Testausalue on 1,5 metrin halkaisijaltaan ja 1,5 metriä korkea, kun testietäisyys on 3 metriä lähetysantennista. Viiden ja kymmenen metrin testausetäisyyksillä käytetään suurempia testausalueita. Viiden metrin testialueen koko on halkaisijaltaan suurempi kuin 2 metriä. Kymmenen metrin mittausetäisyydellä testialueen koko on halkaisijaltaan kolme metriä tai suurempi. (Trucchi 2020.)

RSM-mittaukset eroavat SVSWR-mittauksista erityisesti testauksessa käytettävistä taajuusalueista. SVSWR-mittaukset tehdään yli 1 GHz taajuuksille, kun RSM-mittaukset tehdään maksimissaan 1 GHz taajuuksilla. RSM-mittauksien taajuusalueet ovat seuraavat: 30–100 MHz, 100–500 MHz, 500–1000 MHz (CISPR 16-1-4:2019, 48).

RSM-mittauksessa referenssiarvo saadaan liittämällä mittalaitteet toisiinsa kaapelilla, jolloin saadaan signaalin voimakkuus ilman heijastuksia. Referenssiarvoa kutsutaan nimellä (V_{Direct}) ja arvo mitataan desibeleissä. Heijastumista mittaavat testit tehdään

kahden antennin kanssa (V_{site}), toinen antennista lähettää 3 metrin päästä signaalin ja toinen antenni toimii vastaanottimena (ks. kuvio 12). Näin saadaan signaalivoimakkuusarvot todellisessa mittaustilanteessa EMC-testihuoneessa. Kolmas arvo, SA vaihtelu lasketaan laskukaavan avulla, jossa käytetään molempia edellä mainittuja arvoja. (CISPR 16-1-4:2019, 48-49.) RSM-hyväksyntämittauksissa hyväksyttävät arvot ovat ± 4 desibelin mittausepä-tarkkuus verrattuna ideaaliseen V_{Direct} arvoon.



Kuvio 12. RSM-mittausasetelma (CISPR 16-1-4:2019, 50)

4 EMC-testihuoneen spesifiointi

4.1 Spesifiointipalaverit

EMC-testihuoneen spesifiointiin kuuluvat olennaisesti asiakkaan ja EMC-testihuoneen toimittajan kanssa pidettävät palaverit, joissa käydään läpi projektin kulkua, huoneen vaatimuksia, asiakkaan vaatimuksia, kustannuksia ja aikataulua. Spesifiointipalaverissa pyritään käymään kaikki huoneeseen liittyvät asiat niin hyvin kuin mahdollista, jotta mahdollisilta lisäkustannuksilta vältyttäisiin. Spesifiointipalaverissa käydään läpi projektikuvausta; jossa on eritelty testihuoneen mitat ja kaikki

siihen kuuluvat komponentit (ks. liite 1). Mahdollisia lisäkustannuksia voi tulla esimerkiksi rakennusaikataulun epäonnistumisesta ja läpivientien lisäämisestä huoneeseen jälkikäteen.

4.2 Testihuoneen mitat ja ilmanvaihto

Testihuoneen spesifiointi lähtee liikkeelle asiakkaan tuotestandardista. Asiakas tietää tuotestandardinsa, joihin tuotteen on päästävä, jotta se voidaan viedä markkinoille. EMC-testihuone spesifioidaan vastaamaan tuotestandardin asettamia vaatimuksia. EMC-testausstandardien vaatima testausalue määrittyy testattavan tuotteen koosta. Mitä suurempi tuote on, sitä isompi testausalue tulee spesifioida. Seuraava tarvittava tieto on mittausetäisyyden tarve, joka määrittyy myös standardista, jolla asiakas tuottaa aikoo testata.

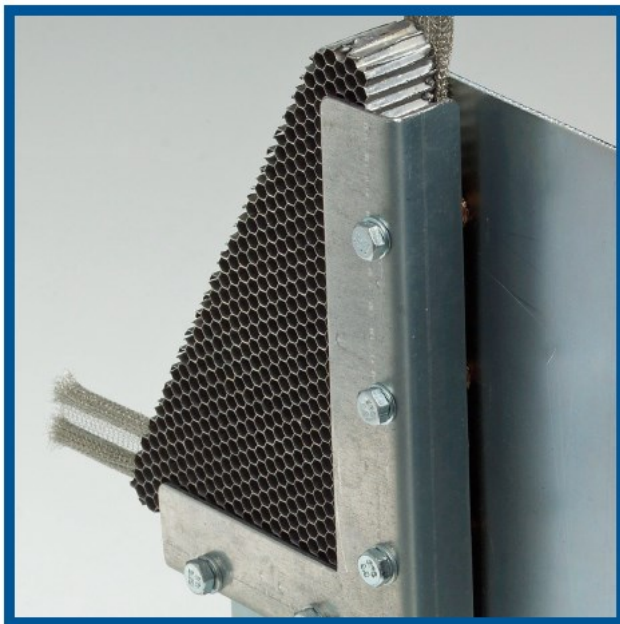
Tämän jälkeen testihuoneen valmistajan suunnitteluinsinöörit suunnittelevat huoneen asiakkaan vaatimusten mukaan. Aikaisemmin EMC-testeissä käytettiin edellä mainittuja SAC-testihuoneita, mutta testausstandardin päivittyessä vuonna 2017 voitiin siirtyä myös FAR-testihuoneisiin. FAR-huone voi olla asiakkaalle parempi ratkaisu, sillä se vie vähemmän tilaa kuin suurempikokoinen SAC-testihuone. Mitä suurempi huone on, sitä enemmän huoneelle on varattava tilaa asiakkaan tiloista. Sen lisäksi EMC-testihuone on painava rakennus, johtuen muun muassa huoneen vuorattavilla ferriittilevyistä. EMC-testihuoneiden painavan rakenteen vuoksi suuremmat huoneet joudutaan lähes aina tukemaan metallirakenteilla ja ankkuroinneilla.

Tämän projektin testihuone huone toimitettiin asiakkaan täysin uusiin tyhjiin tiloihin, joka antoi huoneen suunnittelijoille vapauden huoneen kokovaatimukseen sekä tukirakenteiden suunnitteluun.

EMC-testihuone valmistetaan metallipaneeleista, joten se on herkkä ympäristön kosteusvahingoille. Lattian kautta pääsevä kosteus estetään vuoraamalla testihuoneen lattia valmistajan kosteudeneristysmatolla (ks. liite 2, 1). Huoneen spesifiointivaiheessa tutustutaan huoneen ympäristön mahdollisiin riskeihin vesivahingoista ja ne pyritään estämään ja huomioimaan mahdollisuuksien mukaan. Tämä sen vuoksi, että

vesivahingon sattuessa EMC-testihuone joudutaan purkamaan, koska kosteus aiheuttaa metallipaneelien ja tiivisteiden korroosiota.

EMC-huoneen ilmanvaihtoa ei voida suunnitella tehtäväksi perinteisin menetelmin, sillä radiosignaalit pääsisivät kulkeutumaan normaaleja ilmanvaihtokanavia pitkin pois EMC-huoneesta ja huoneen sisälle. Ilmanvaihto EMC-testihuoneeseen toteutetaan niin kutsuttujen EMC-hunajakennojen (ks. kuvio 13) lävitse, jotka estävät radio- taajuisten signaalien kulun, mutta ilma pääsee silti vaihtumaan vapaasti (ks. liite 2, 1). EMC-hunajakenko on metallinen pienillä aukoilla tehty ritilä, jossa on myös syvyyttä. Aukkojen koolla ja pituudella pystytään määrittelemään taajuusalue, minkä läpikulkeutuminen estetään. Esimerkiksi hunajakennoilla voidaan estää 40 GHz taajuuksiin asti olevat signaalit. Hunajakennojen koon määrittää EMC-testihuoneen ilmanvaihtotarve. Ilmanvaihtotarpeeseen vaikuttaa testihuoneen koko sekä testattavan tuotteen vaatima jäähdytystarve. Hunajakennojen sijainti toteutetaan niin, ettei hunajakennot häiritse itse mittauksia ja koko huoneen ilmanvaihto saadaan katettua. Yksi esimerkki testihuoneen hunajakennojen sijainnista voi olla esimerkiksi huoneen ristikulmiin asennettavat hunajakennot.



Kuvio 13. Hunajakennon rakenne

4.3 Suojaus- ja heijastusvaimennusteknologia

EMC-testihuoneen runko toteutetaan modulaarisilla suojapaneeleilla. Paneelit valmistetaan sinkityistä metallilevyistä. Valmistajan nimitys paneelien materiaalille on ZMA-140 (ks. liite 2, 1). Paneelit ovat korroosiosuojattuja ja ne voidaan tarvittaessa päällystää tai maalata. EMC-immuniteettimittauksissa paneelien tärkein tehtävä on estää signaalien pääsy testihuoneen ulkopuolelle, jotta immuniteettitestaaminen ei aiheuttaisi häiriötä tai terveysvaaraa huoneen ulkopuolella oleville ihmisille ja laitteille. Emissiomittauksissa EMC-testihuoneen paneelirakenteella estetään huoneen ulkoisten radiosignaalien pääsy EMC-testihuoneeseen testauksien aikana, jotta huoneen ulkoiset signaalit eivät vaikuttaisi testituloksiin. Paneelit kiinnitetään toisiinsa pulteilla ja paneelien väliin lisätään sähköä johtavat EMC-tiivisteet. EMC-tiivisteitä käytetään, jotta paneelien välissä ei ole johtumatonta materiaalia ja näin ollen signaaleille ulospääsyä.

Paneelien sisäpinnalle asennetaan ferriittilevyt (ks. liite 2, 3). Ferriitit asennetaan yleensä liimaamalla tai ruuvaamalla. SAC- ja FAR-mallin EMC-testihuoneessa käytetään sekä ferriittejä, että absorbereita. Ferriittien ja absorberien yhteistoiminnalla katetaan laajempi taajuusalue verrattuna siihen, että käytettäisiin vain toista heijastumisenesto teknologiaa. Ferriittilevyillä absorboidaan testihuoneessa alle yhden GHz:n taajuudet.

EMC-testihuoneessa käytetään ylempien taajuuksien absorboinnissa niin kutsuttuja hybridi- tai mikroaalto absorbereita. Absorberien heijastusvaimennusominaisuudet määräytyvät absorberin materiaalin ominaisuuksilla, muodolla ja koolla. (Comtest n.d.) Comtestin EMC-huoneessa käytettävät absorberit ovat niin kutsuttuja hybridi absorbereita (ks. kuvio 14), sillä huoneeseen asennetaan myös ferriitit. Hybridiabsorberit on suunniteltu toimimaan ferriittien kanssa, kun mikroaalto absorberit ovat suunniteltu toimimaan ilman ferriittejä. Materiaalina absorbereissa on käytetty erityisvalmistettua polystyreeniä, johon on sekoitettu hiiltä (Comtest n.d.). Ferriittien ja absorbereiden vaimentavia ominaisuuksia mitataan desibeleissä, joten huonetta testatessa käyrät eri taajuusalueiden heijastusvaimennusominaisuuksista ilmoitetaan

desibeleissä. Absorberien sijoittaminen suunnitellaan valmistajan toimesta niin, että testialueen vaatimukset täyttyvät.



Kuvio 14. Comtestin eri absorberimalleja (Comtest n.d.)

4.4 RF-suojatut ovet

EMC-testihuoneessa käytetään valmistajan suunnitteleamia ja valmistamia RF-suojattuja (RF, Radio Frequency) ovia. Oveissa on kaksinkertainen jousitiivistys, jotta oven suojausvaimennus olisi vaadittavalla tasolla. Oven avaamisesta ja sulkemisesta johtuva jousitiivisteiden rikkoutuminen pyritään estämään oven saranamekaniikalla. Oven saranamekaniikka toimii kaksivaiheisesti, ensin ovi liikaa hieman suoraan taaksepäin, jonka jälkeen ovi aukeaa normaalisti kiertymällä. Jousitiivisteet ovat berillium kuparisulfaattiseosta, jotka toimivat EMC-testiympäristössä tiivisteinä. (Comtest n.d.) Riippuen asiakkaan vaatimuksista voidaan käyttää erilaisia oviratkaisuja, kuten liukuovia, paineilmalla avustettuja ovia tai saranatoimisia ovia. EMC-testihuoneen oven koko määrittyy testattavan tuotteen koon mukaan. EMC-testihuoneen ovet ovat raskarakenteisia ja ne muistuttavat ulkonäöltään hieman turvaovea.

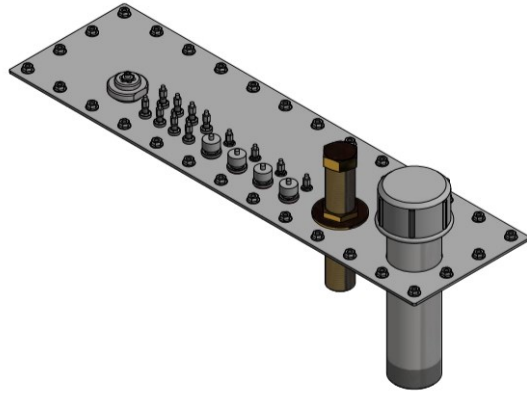
4.5 Sähkönsyöttö huoneeseen ja testattavalle tuotteelle

Sähkönsyöttö EMC-testihuoneeseen johdetaan erillisten sähköfilttereiden kautta. Sähköfilttereitä käyttämällä vältetään radiosignaalien pääsy huoneeseen sähkölinjoja pitkin. EMC-huoneessa sähkövirtaa tarvitsee esimerkiksi testattava tuote, huollon sähkönsyöttö ja valojen sähkövirta (ks. liite 2, 1).

4.6 Läpivientipaneelit

Läpivientipaneelilla tarkoitetaan paneelia, jonka avulla voidaan viedä eri signaaleja huoneen sisälle aiheuttamatta huoneeseen häiriöitä. Huoneeseen ei voida tehdä esimerkiksi aukkoa, jonka läpi kaapeli tai johto vietäisiin sisälle huoneeseen. Tämä sen vuoksi, että johto toimisi antennina huoneelle, jolloin signaali pystyisi kulkeutumaan huoneen ulkopuolelle tai huoneeseen sisälle. Läpivientipaneelit kustomoidaan niillä liitännöillä, joita asiakas tarvitsee. Liitäntöjä voi olla esimerkiksi N-liittimet, SMA- ja FSMA liittimet (ks. liite 2, 2-3). Waveguide-läpivienneillä voidaan johtaa valokuitukaapeleita sisälle huoneeseen.

Kuviossa 15 on esimerkkikuva läpivientipaneelista, josta löytyy valokuituläpivienti WGF6, 4 N-liitintä, 4 SMA-liitintä, 8 FSMA-liitintä ja kaksi Waveguidea (ks. kuvio 15). N-liittimien ominaisuudet riittävät 11 GHz:n taajuuksille antennifunktioissa, kun N-precision-liitin toimii 18 GHz:n saakka. SMA-liittimissä ominaisuudet riittävät 26 GHz ja joissain antennifunktioissa tarpeena on toimia 5G-taajuuksilla, jolloin käytetään esimerkiksi K-liittimiä, jotka toimivat 40 GHz asti. (Trucchi 2020.)



Kuvio 15. Esimerkki läpivientipaneelistä

4.7 Kääntöpöytä ja antennimasto

Testihuoneeseen asennetaan kääntöpöytä testausstandardin EN 61000-4-3 takia. Standardissa vaaditaan, että testattavaa tuotetta tulee pystyä kääntämään 0, 90, 180 ja 270 asteen kulmaan lähetysantenniin nähden. Tässä EMC-testihuoneprojektissa kääntöpöydän kansiosa valmistetaan laminoidusta puusta, ja se on saksalaisen Maturro GmbH:n suunnittelema ja valmistama. Kääntöpöydälle vaatimuksia asettaa testattavan tuotteen paino, sekä testattavan tuotteen koko (ks. liite 2, 4). Toinen keskeinen kääntöpöydän ominaisuus on sen pyörintätarkkuus, joka voi olla esimerkiksi 0.5 astetta. Kääntöpöytää ohjataan huoneen ulkopuolelta siihen suunnitellulla ohjausyksiköllä. Ohjauskomennot viedään kääntöpöydälle valokuitukaapelia pitkin. Kääntöpöydän keskelle asennetaan läpivientiliitännät asiakkaan erilaisia liitännöitä varten.

Toinen EMC-huonetoimituksessa huomioitava komponentti on EMC-testauksissa vaadittava antennimasto. Tässä EMC-testihuoneessa käytetään kääntöpöydän valmistajan tekemää antennimastoa. Antennimasto valmistetaan muovista ja lasikuidusta. Antennimaston suunnittelussa täytyy huomioida antennien paino, jotta antennimasto kestäisi eri testeissä käytettävien antennien painon. EMC-testeissä antenna kierretään antennin vertikaaliseen sekä horisontaaliseen polarisaatioon (ks. liite 2, 4). Antennimastossa on myös korkeussäätö. Antennimastoa ohjataan etänä elektronisella ohjaimella, jolloin antenna voidaan kiertää tai liikuttaa testien aikana.

4.8 Vahvistinhuone

Vahvistinhuone on EMC-testihuoneen yhteyteen rakennettu pienempi suojattu huone. Huone rakennetaan EMC-testihuoneessa tehtävien mittalaitteiden, kontrolleiden ja signaaligeneraattoreiden sijoituspaikaksi, sillä vahvistinhuone suojaa herkkiä mittalaitteita ulkoisilta häiriöiltä. Vahvistinhuoneessa ei kuitenkaan tarvitse olla EMC-signaalien heijastumista estävää heijastusvaimennuksia, joten vahvistinhuoneeseen ei asenneta ferriittejä eikä absorbereita. Vahvistinhuoneesta on läpiviennit EMC-huoneeseen, jolloin huoneen laitteita voidaan ohjata vahvistinhuoneesta käsin. (ks. liite 2, 6.) Ohjattavia laitteita voi olla esimerkiksi testattava tuote, kääntöpöytä, kentänvoimakkuusmittarit, valaistus, kamerat, mittausantenni ja antennimasto.

5 Asennus

5.1 Logistiikka

EMC-testihuoneen osat ja materiaalit kuljetetaan rekoilla Hollannista Jyväskylään rakennusalueelle. Testihuoneen osat puretaan rekasta kurottajalla, joka vie osat ulko-oven eteen. Ulko-ovelta eteenpäin osat kuljetetaan pumppukärryillä rakennustyömaa-alueelle. Osa kuljetuslavoista on painavia ja tässä tapauksessa liukas sisäänkäynti aiheuttaa haasteita lavojen kuljetuksessa taloon sisälle. Lavat saadaan sisälle hyvään järjestykseen ja asennusryhmälle valmiiksi asennukseen.

5.2 EMC-testihuoneen rungon ja paneelien asennus

Comtest:in asennusryhmä on kuusihenkinen lisättyä työnjohtajalla. Asennus alkaa lattiaan tehtävillä merkinnöillä huoneen sijainnista. Huoneen sijainti määritetään huoneen piirustuksissa. Huomioitavia asioita ennen asennusta on asennuspaikan lattian tasaisuus. Lattian tasaisuusvaatimuksena huoneelle ovat yhden metrin pituudella tasaisuus saa vaihdella 1mm, 3 metrin pituudella 3mm, 5 metrin pituudella

5mm ja koko huoneen matkalla maksimissaan 7mm. Huoneen tasaisuus varmistetaan tarkastusmittauksella ennen varsinaisen testihuoneen asennuksen aloittamista. Lattian vahvuus tulee tarkistaa ennen huoneen rakentamista, sillä EMC-testihuone painaa n. 20 000 kilogrammaa.

Huoneen ääriviivojen merkitsemisen jälkeen porataan EMC-huoneen tukipalkeille kiinnityspultit lattiaan. Kiinnityspulteilla kiinnitetään huoneen teräksiset tukipalkit, joista tulee kehikko EMC-testihuoneen paneelien ulkopuolelle (ks. kuvio 16).



Kuvio 16. EMC-testihuoneen seinäpaneelien asennus

Teräspalkit kiinnitetään toisiinsa pulteilla, jolloin niistä valmistuu tukikehikko EMC-testihuoneelle. Tukikehikon valmistumisen jälkeen aloitetaan lattiapaneelien asennus. Lattiapaneelien alle betonilattian ja metallisten paneelien väliin tulee niin kutsuttu ”moisture barrier”, joka on bitumista valmistettu 3 millimetriä paksu eristematto. Eristematto estää kosteuden johtumisen betonilattiasta kosteudelle herkkiin paneeleihin ja näin lisää huoneen käyttöikä. Jokaisen paneelin reunat hiotaan ja puhdistetaan ennen asennusta. Paneelit kiinnitetään toisiinsa pulteilla ja muttereilla 15 senttimetrin välein. Jokaisen paneelin väliin laitetaan EMC-tiivisteet, jotka ovat johtavaa materiaalia. EMC-tiivisteiden materiaali voi olla esimerkiksi tina-, kupari- tai terässeosta. Näin rakenteesta saadaan RF-tiivis, eivätkä radiosignaalit pääse ulos mahdollisista paneelien välisistä raoista.

Lattiapaneelien asennuksen jälkeen aloitetaan seinäpaneelien asennus. Seinäpaneelien asennuksessa helpottaa ympärille asennettu tukikehikko, johon seinäpaneelit kiinnitetään ankkuroinneilla. Paneelien kasaamisessa tarvitsee huomioida paneelien oikea kasaamisjärjestys, sillä osassa paneeleissa on tehtaalla valmiiksi työstetty aukko läpivientipaneeleita, sähkösuotimia ja hunajakenkoja varten. Hunajakennot, sähkösuotimet ja läpivientipaneelit asennettiin paneeleihin työmaalla jälkikäteen. Niiden asennuksessa on tärkeää huomioida EMC-tiivisteiden tarkka asemointi.

Seinien ollessa täydessä korkeudessa ja hyvin ankkuroituna, aloitetaan kattopaneelien asennus. Niiden asennus on haastavaa, sillä paneelit ovat painavia ja niiden nostaminen katon korkeuteen työlästä. Paneelit nostetaan katolle käyttämällä henkilönostimia. Kattopaneelit ankkuroidaan yläpuolella olevaan tukikehikkoon. Ankkuroinneilla varmistetaan katon riittävä kantavuus, jotta EMC-huoneen katto kestää ferriittien ja absorberien painon.

Vahvistinhuone kasattiin EMC-testihuoneen asennuksen jälkeen samalla periaatteella. Vahvistinhuoneen ja EMC-huoneen väliset läpivientiaukot peitetään tässä kohtaa RF-tiivisteillä varustetuilla metallilevyillä. Tämä sen vuoksi, jotta huoneelle suoritettava RF-vuototesti voidaan toteuttaa mahdollisimman nopeasti, kun kaikki paneelit on asennettu. RF-vuototestillä tarkoitetaan testihuoneen asennuksesta johtuvien

signaalivuotokohtien löytämistä, jotka voivat johtua esimerkiksi löysään jääneestä kiinnityksestä tai huonosti asennetusta tiivisteestä.

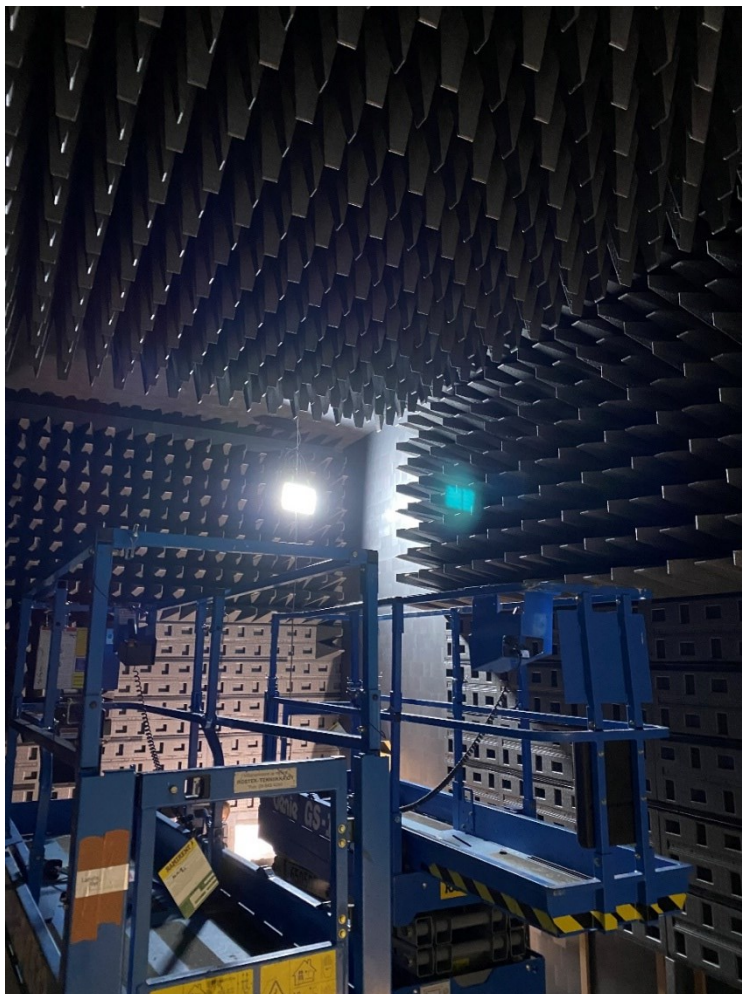
EMC-testihuoneen paneelien asennuksen valmistuttua siirrytään korotetun lattian asennukseen. EMC-huoneessa käytetään korotettua lattiaa, jotta huoneessa tarvittavat signaalikaapelit saadaan vietyä suojassa RF-häiriöiltä. Kaapeliviennit on määritelty spesifiointivaiheessa, joten ne toteutetaan piirustusten mukaan. Lattian korotus saadaan aikaan käyttämällä EPS-levyjä, joihin leikataan urat kaapeliläpivientien putkia varten. Varsinainen korotettu lattia tulee korotukseen käytettävien EPS-levyjen päälle. Korotettu lattia rakennetaan puisista määrämittäisiin leikatuista levyistä, joita on kolme kerrosta.

5.3 Heijastusvaimentimien asennus

Heijastusvaimennus tehdään asentamalla huoneeseen ferriittilevyt sekä absorberit. Ferriittilevyt kiinnitetään seiniin, kattoon ja lattiaan liimaamalla ne yksitellen kaksikomponenttisellä erikoisliimalla. Ferriittien liimaamisessa täytyy ottaa huomioon liiman lyhyt kovettumisaika, joten ferriittilevyt asetetaan paikoilleen heti kun liima on levitetty. Samalla kun ferriittilevyjä liimataan, pidetään liiman viskositeettia yllä sekoittimella. Ferriittilevyt liimataan viereen viereen kiinni toisiinsa ilman saumaa. Ferriittilevyjä joudutaan leikkaamaan oviaukon, läpivientien ja hunajakannoaukkojen vuoksi. Ferriittien leikkaamiseen voidaan käyttää vesijähdytteistä sirkkeliä.

Ferriittien päälle kiinnitetään absorberit, jotka absorboivat ferriittejä korkeampia taajuuksia. Valmiin ferriittiseinän päälle asennetaan puurimakoolaukset, joihin absorberien pohjalevyt kiinnitetään ruuveilla. Pohjalevyjen kiinnityksessä käytetään lisäksi muovisia listoja, jotka tukevat absorberien ruuvikiinnitystä koolaukseen. Absorberit koostuvat kahdesta eri osasta: pohjalevystä ja varsinaisesta absorberikeilasta. Pohjalevyt valmistetaan samasta materiaalista kuin keilat, joten pohjalevy itsessään toimii myös vaimentimena.

Kaksiosaisen absorberirakenteen ansioista voidaan käyttää erimittaisia absorberikeiloja saman pohjalevyn kanssa. Erimittaisten absorberikeilojen vaimennuskysy vaihtelee pituuden ja muodon mukaan. Yksittäisten absorberikeilojen ja pohjalevyjen työstäminen on helpompaa huoneen haastavien asennuskohteiden yhteydessä. Pohjalevyissä on upotukset, joihin erilliset absorberikeilat työnnetään paikoilleen. Absorberimateriaali on hiilitäytteistä polystyreeniä, joka muistuttaa harmaata styroksia. Kun kaikki pohjalevyt on kiinnitetty, työnnetään absorberikeilat niihin kuuluviin pohjalevyssä oleviin upotuksiin (ks. kuvio 17). Testihuoneen EMC-oveen tarvitsee asentaa ferriitit ja absorberit samalla periaatteella kuin muuallekin testihuoneeseen. Huoneeseen asennettiin pääasiassa HT-45 hybridiabsorbereita. EMC-ovessa käytetään lyhyempiä HT25-absorbereita, jotta ovesta kulku olisi helpompaa.



Kuvio 17. Absorberit ferriittiseinään kiinnitettynä

Esteettisistä syistä absorberien päälle kiinnitetään ”white end cap:it”, jotka luovat valoa muuten tummaan huoneeseen (ks. kuvio 18). Ne ovat valkoisia styroksisia levyjä, joilla ei ole merkittävää vaikutusta huoneen heijastusvaimennuksen kanssa, mutta huoneesta tulee valoisampi käyttää. Testihuoneen valaistus toteutetaan siihen erikseen suunnitelluilla EMC-lampuilla. Lamput käyttävät led-tekniikkaa ja ne ovat suunniteltu kestämään voimakkaita sähkömagneettisia kenttiä.



Kuvio 18. Valmis EMC-testihuone

5.4 Kääntöpöydän ja antennimaston asennus

Lopuksi huoneeseen asennetaan antennimasto sekä kääntöpöytä. Kääntöpöytä asennetaan sille piirustuksissa määritellylle paikalle, jonka läheisyydestä löytyvät kääntöpöydän käyttöön liittyvät kaapeliläpiviennit. Antennimasto on helppo asentaa, sillä se tarvitsee vain nostaa huoneeseen sisälle. Myös sen liikuttelu on tehty helpoksi sen alla olevien renkaiden avulla. Kääntöpöydän ja antennimaston toiminnot testataan huoneen ulkopuolelle sijoitetun ohjaimen avulla. Ohjaimen komennot lähetetään huoneen sisälle kääntöpöydälle ja mastolle valokuitukaapeleiden välityksellä. Kääntöpöydän tulee olla tarkka kääntymään. Antennimaston pitää pystyä muuttamaan antennin polariteettia sekä antennimaston korkeussäädön tulee myös toimia.

6 Hyväksyntämittaukset

6.1 Hyväksyntämittaussuunnitelma

Riippuen asiakkaan tarpeesta ja vaatimuksesta EMC-testihuoneelle voidaan teettää valmistajan tai virallisen testilaboratorion suorittamat hyväksyntämittaukset. Erona valmistajan tai virallisen testilaboratorion tekemissä hyväksyntämittauksissa on, että kun hyväksyntämittaukset tekee virallinen testilaboratorio, huone voidaan akkreditoida. Valmistajan tekemissä hyväksyntämittauksissa asiakkaalle todennetaan luvatut huoneen suorituskykyvaatimukset. Tuotekehityksessä usein riittää, että valmistaja mittaa testihuoneen vaatimusten mukaiseksi, sillä yritykset tekevät tuotehyväksynnot virallisissa mittauslaboratorioissa.

Kaikista mittausstandardeista tehdään suunnitelma valmiiksi, jolloin testauksen läpiviemi on nopeaa ja selkeää. Suunnitelmat sisältää muun muassa antennien paikat ja polarisaatiot, käytettävät antennit, mittauksissa käytettävät laitteet kuten signaaligeneraattorit ja mittauksissa käytettävät taajuudet ja taajuusalueet. EMC-testihuoneen valmistajalla on hyväksyntämittauksiin erikoistunut työntekijä, joka suorittaa hyväksyntämittaukset, kun testihuone on valmis.

6.2 Suojausvaimennusmittaukset

Huoneen suojausvaimennuksen tasoa mitataan suojausvaimennusmittauksilla, jotka tehdään standardin EN 50147-1 mukaan. Testihuoneen tulee olla kokonaan käyttövalmis ennen testien aloittamista, mukaan lukien ovien kiinnitykset ja hunajakennon asennukset. Testitaajuudet on määritelty taulukossa 1. FAR testaustaajuuksilla tarkoitetaan EMC-suojatun huoneen testaustaajuuksia ja vahvistinhuoneen testaustaajuuksia AR (Amplifier Room) merkinnällä. Eri taajuuksille on määritetty omat raja-arvot, johon merkityllä taajuudella tulee vaatimuksen mukaan päästä. Taulukosta 1 voi nähdä, että esimerkiksi 10 kHz taajuudella tulee testihuoneen signaalivaimennuksen olla vähintään 80 desibeliä (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. Suojausvaimennusmittauksien mittaustaajuudet

Domain	FAR test Frequencies	AR test Frequencies	Limits
H- Field	10 kHz	10 kHz	80 dB
	156 kHz	156 kHz	100 dB
	1 MHz	1 MHz	110 dB
	10 MHz	10 MHz	110 dB
E- Field	1000 MHz	1000 MHz	120 dB
Microwave	10 GHz	10 GHz	100 dB
	18 GHz	18 GHz	100 dB
	40 GHz		85 dB

Testihuoneen suojausvaimennusmittauspaikkoja oli määritelty mittauksessa seitsemässä eri kohdassa. Mittaustaajuusalueen laajuuden vuoksi tarvitaan useita eri mitalaitteita. Mittauksissa tarvitaan muun muassa signaaligeneraattoreita, lähetintenneja sekä vastaanottimia. Mittaukset suoritetaan kahden antennin avulla, toinen antenni toimii testissä lähetysantennina ja toinen vastaanottavana antennina (ks. kuvio 19). Antennit kalibroidaan huoneen ulkopuolella ennen testin aloittamista ilman

eristävää metallia. Antennien kalibroinnin jälkeen toinen antennista viedään testihuoneen sisälle ja toinen antennista pidetään testihuoneen ulkopuolella signaaligeneraattorin kanssa. Antennien etäisyys seinästä tulee olla standardin mukaan 30 senttimetriä, sama etäisyys koskee molempia antennia. Testihuoneen ovi suljetaan mittauksen ajaksi, jolloin signaalin kulkeutuminen oven kautta estetään. Mittauksien jälkeen suojausvaimennuksen taso esitetään virallisessa testiraportissa (ks. liite 3).



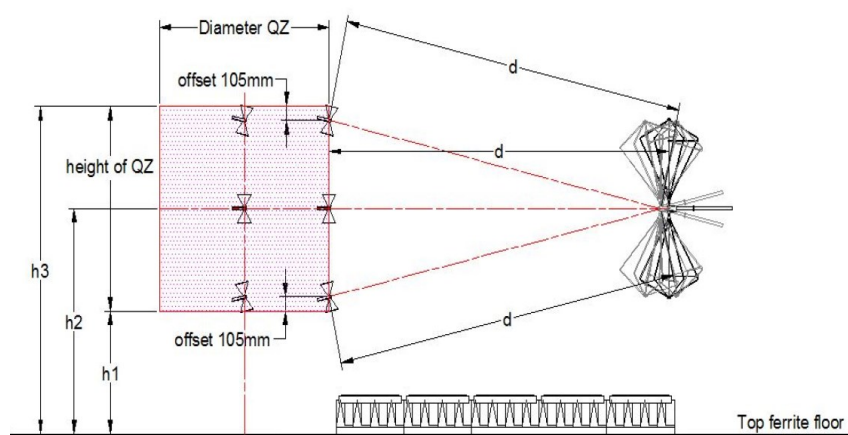
Kuvio 19. Suojausvaimennusmittauksien mittausasetelma

6.3 Vapaan tilan referenssimenetelmän hyväksyntämittaukset

Testihuoneen RSM-hyväksyntämittaukset tehdään standardin CISPR-16-1-4.0 clause 6:n mukaisesti. Mittauksien taajuusalue on 30 MHz–1 GHz. Huoneen tavoitesuorituskyky on koko taajuusalueella ± 4 desibeliä. Mittausetäisyys on kolme metriä, ja lähetyksentennin korkeudet ovat 0,8m, 1,55m ja 2,3m. Vastaanottoantennin korkeus on 1,55 metriä, ja sen korkeutta ei muuteta RSM-testien aikana (ks. liite 4).

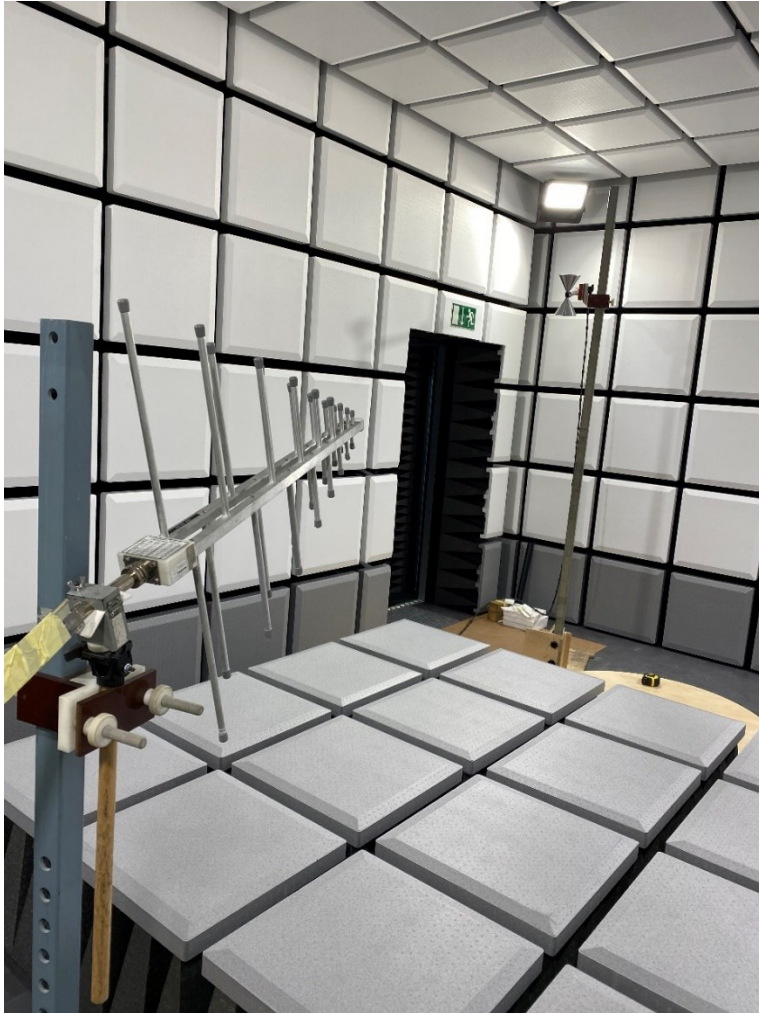
Ennen varsinaisen testin aloittamista selvitetään ideaalinen referenssiarvo kentänvoimakkuudelle. Sähkömagneettikentän ideaalinen referenssiarvo saadaan yhdistämällä mittalaitteet toisiinsa koaksiaalikaapelilla. Varsinaisen RSM-mittauksen tuloksia tullaan vertaamaan kyseiseen referenssiarvoon.

Referenssiarvon mittaamisen jälkeen RSM-mittauksia tehdään eri antennipositioille. Positiot on määritelty mittaussuunnitelmassa, kuviossa 19 näkyy RSM-mittauksien antennipositiot ylhäältäpäin katsottuna (ks. kuvio 20). Kuviossa d-merkinnällä tarkoitetaan mittausetäisyyttä (3 metriä) ja QZ-merkinnällä Quiet Zonea (halkaisija 1,5 metriä). Vastaanottoantennin positiot sivusta katsottuna on edessä, keskellä, ylhäällä ja alhaalla Quiet Zone alueella.



Kuvio 20. RSM-mittauksien mittausasetelma sivulta

Huomionarvoista on myös se, että antennien eri vertikaalisissa ja horisontaalisissa sijainneissa antennit kohdistetaan osoittamaan toisiaan (ks. kuvio 21).



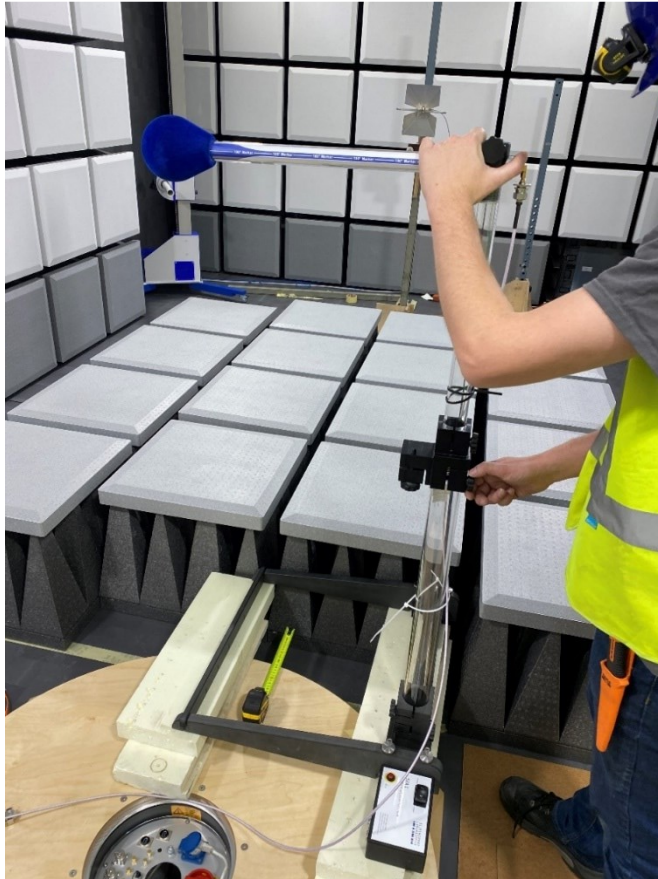
Kuvio 21. RSM-hyväksyntämittausasetelma

6.4 Jännitteen seisovien aaltojen suhteen hyväksyntämittaukset

Jännitteen seisovien aallon suhteen mittaukset eli SVSWR-hyväksyntämittaukset tehdään standardin CISPR 16-1-4 clause 7:n mukaisesti. Hyväksyntämittauksien taajuus-

alue on 1–18 GHz. Heijastusvaimennuksen vaadittava taso on 6 desibeliä ja mit-
tausetäisyys antennista vastaanottimeen on kolme metriä. Lähetys- ja vastaanotto-
antennien korkeudet ovat 1,55 ja 2,3 metriä (ks. liite 5).

SVSWR-hyväksyntämittauksissa vastaanottoantennin etäisyyttä lähettävästä anten-
nista siirretään portaittain kuusi kertaa jokaisessa mittapaikassa. Siirtämisessä käyte-
tään siihen suunniteltua SVSWR-aseointilaitetta (positioner), joka pysähtyy portait-
tain standardissa määritellyille mittauspisteille (ks. kuvio 22). Mittaukset tehdään an-
tennin horisontaaliselle ja vertikaaliselle polarisaatiolle.



Kuvio 22. SVSWR-hyväksyntämittausasetelma

6.5 Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittaukset

Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittaukset (FU, Field Uniformity) tehdään standardin IEC 61000-4-3 mukaisesti. Hyväksyntämittauksien taajuusalue on 80 MHz–6 GHz, ja mittauksien sähkömagneettikentän voimakkuus on 3 V/m. Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittauksien vaatimuksena on 75 % mittauspisteistä olevan vaadittavan kuuden desibelin mittausepä tarkkuuden rajan sisäpuolella. Tämä tarkoittaa, että 12 kaikista 16 mittauspisteestä tulee olla aiemmin mainitun mittausepä tarkkuuden rajoissa. Lähetinantennin korkeus on 1,55 metriä, ja se sijaitsee keskellä verrattuna mittausalueeseen (ks. liite 6).

Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittaukset tehdään käytännössä käyttämällä vastaanottosensoria (field probe), jota siirretään mittauksien aikana 16 mittauspisteeseen (ks. kuvio 23). Mittausalueen alin raja on 80 senttimetrin korkeus verrattuna lattiatasoon. Jokaisen mittapisteen etäisyys toisistaan on vaaka- sekä pystysuunnassa 50 senttimetriä. Yhdenmukaisuusmittauksia varten lattia-absorberit asemoidaan siten, että lattia-absorbereista on puolen metrin matka mittaustasoon. Mittauksissa tarvittavia laitteita ovat muun muassa signaaligeneraattorit, suurtaajuusvahvistimet, tehonjakajia (coupler), antennija sekä vastaanottosensoria. Yhdenmukaisuusmittaukset kestävät enemmän aikaa kuin muut testit, johtuen useista mittauspisteistä, antennin polarisaatioista sekä käytettävistä signaalitaajuuksista (ks. liite 6).



Kuvio 23. Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuusmittauksien asetelma

7 Tulokset

7.1 Suojusvaimennusmittauksien tulokset

Salassapitovelvollisuuden takia EMC-testihuoneen mittaustuloksia tai mittausraportteja ei voi näyttää opinnäytetyössä. Hyväksyntämittausraportit ovat luettavissa salassa pidettävissä liitteissä, joissa näkyvät huoneen suorituskyvyn määrittävät tulokset. Opinnäytetyössä käsitellään mittaustuloksia yleisellä tasolla. Magneettikentän suojausvaimennus oli tuloksien mukaan hyväksyttävällä tasolla. Magneettikentän suojausvaimennus oli vähintään 113 desibeliä ja maksimiarvo suurempi kuin 130 desibeliä, joka oli mittalaitteen maksimidynamiikka-arvo. Sähkö- ja tasoaltokentän

mittaustulokset olivat myös hyväksyttävät, suojausvaimennuksen minimiarvon ollessa 105 desibeliä ja maksimiarvon 140 desibeliä. Sähkö- ja tasoaaltokentän mittaustulokset myös ylittivät valmistajan antamat spesifikaatiot (ks. liite 3).

7.2 Vapaan tilan referenssimenetelmän mittaustulokset

Vapaan tilan RSM-hyväksyntämittauksissa selvitetään mittausepä tarkkuuden suuruutta verrattuna ideaalisiin kaapeleilla otettuun tulokseen. Mittausepä tarkkuus saa olla enintään ± 4 desibeliä, jotta testihuoneen arvo olisi hyväksyttävä. Mittauksissa olosuhteet olivat hyväksyttävät, ilman lämpötila oli mittausten aikana 21–25°C ja ilman kosteus 37%. Mittaustuloksissa ilmoitetaan antennin polarisaatio sekä antennien sijainnit. Mittaustuloksia on raportissa yhteensä 48 kappaletta. Jokainen taa juusalue on ilmoitettu omassa tulostulokseissaan. Mittausepävarmuuteen lasketaan laitteiden mittausepävarmuus, antennikerroin, mittausetäisyys sekä vaimennukset. Mittausepävarmuus on 1.5 desibeliä. Vapaan tilan RSM-hyväksyntämittausten tulokset olivat standardissa vaadittujen spesifikaatioiden sisällä (ks. liite 4).

7.3 Jännitteen seisovien aaltojen suhteen mittaustulokset

Jännitteen seisovien aaltojen suhde eli SVSWR-mittaustuloksissa selviää EMC-testihuoneen heijastusvaimennuksen suhde verrattuna optimiarvoon. Hyväksyttävä jännite-ero seisovan aallon maksimi- ja minimijännitteen välillä saa olla maksimissaan 2:1 eli 6 desibeliä. Lämpötila mittausten aikana oli 21–25°C ja ilmankosteus oli 37%. Yhteensä mittaustuloksia on 20 kappaletta. Testihuoneen tulokset menivät standardissa vaadittuihin spesifikaatioihin (ks. liite 5).

7.4 Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus mittaustulokset

Sähkömagneettikentän yhdenmukaisuus hyväksyntämittaus tuloksissa ilmoitettiin tulokset ensimmäiselle mittaaukselle ja parhaalle mittaustulokselle. Standardin mukaisesti ensimmäinen mittaustulos määrittää testihuoneen hyväksymiskelpoisuuden.

Hyväksyntävaatimuksena on ≤ 6 dB:n mittausepätaarkkuus 75 % 16 mittapisteestä. Yhteensä mittaustuloksia on ilmoitettu raportissa 16 kappaletta. Mittausepävarmuudeksi laskettiin ± 1.25 dB johtuen mittauslaitteistosta. Testihuoneen tulokset menivät standardissa vaadittuihin spesifikaatioihin (ks. liite 6).

8 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mahdollisimman kattavasti EMC-testihuoneprojektin läpivientiä kokonaisuutena. Pohjustuksena opinnäytetyöhön käytiin läpi EMC-testausteoriaa, teknistä tietoa EMC-testihuoneista ja hyväksyntästandardeista. Opinnäytetyössä käsitelty EMC-testihuone läpäisi kaikki hyväksyntämittaukset. Kehitysideana EMC-testihuoneen rakennuksen yhteydessä suunniteltiin tarkastuslista, jota voidaan käyttää uusissa vastaavissa projekteissa. Tarkastuslistaa käyttämällä voidaan seurata, että kaikki projektin osa-alueet käydään läpi. Tarkastuslistan avulla minimoidaan riskitekijät siitä, että joku projektin osa-alue on unohtunut tai jäänyt käsittelemättä spesifiointipalaverissa.

Tein opinnäytetyön yhteydessä tarkistuslistan (ks. liite 1). Tarkistuslistan tavoitteena on toimia spesifiointipalaverissa runkona, jonka avulla voidaan käydä läpi huoneprojektia. Siinä on eriteltynä huoneen standardivaatimukset, tekniset spesifikaatiot ja huoneen asennusvaiheessa huomioon otettavat asiat. Lisäksi siinä käydään läpi asiakkaan vaatimukset huoneen hyväksyntämittauksille ja tehdäänkö ne valmistajan virallisen testilaboratorion toimesta.

Tämän projektin suurimmat haasteet liittyivät lukuisiin muutoksiin huoneen spesifiointivaiheessa ja materiaalien kuljetuksiin. Huoneen spesifiointia käytiin lävitse monessa palaverissa, jotta asiakkaan toiveet ja vaatimukset saatiin toteutettua. Kuljetusehtojen läpikäymiseen täytyy kiinnittää tulevaisuudessa enemmän huomiota, jotta mahdolliset epäselvyydet aiheutuvista kustannuksista voidaan välttää. Osa kuljetuksista oli myöhässä, joka hankaloitti osaltaan projektin aikatauluttamista. Kuljetuksien myöhästymisiin on kuitenkin vaikea vaikuttaa, vaikka niihin yritetään etukäteen hyvin varautua.

Opinnäytetyöstäni on hyötyä sen toimeksi antamalle yritykselle, sillä yritys saa dokumentoinnin ja tarkastuslistan kokonaisen EMC-huoneprojektin läpiviennistä. Samalla yritys saa lisätietoa EMC-testihuoneen vaatimuksista ja standardeista, jotka määrittävät huoneen spesifiointia. Opinnäytetyötä voidaan käyttää koulutusmateriaalina EMC-alan myyjiä ja asentajia koulutettaessa.

Lähteet

Amitronic Yritys. N.d. Amitronic verkkosivusto. Viitattu 14.1.2020.

<http://www.amitronic.fi/yritys/>

Addtech liiketoiminta-alueet. N.d. Addtech-konsernin verkkosivusto. Viitattu

14.1.2020. <https://www.addtech.fi/liiketoiminta-alueet>

Baker, D. Electromagnetic Compatibility : Analysis and Case Studies in Transportation. John Wiley & Sons, Incorporated.

Comtest polystyrene absorbers. N.d. Comtest-yrityksen kotisivut. Viitattu 31.3.2020.

<https://www.comtest.eu/components/polystyrene-absorbers/>

Comtest RF-shielded doors. N.d. Comtest-yrityksen kotisivut. Viitattu 15.4.2020.

<https://www.comtest.eu/components/rf-shielded-doors/>

EMtest What is EMC?. N.d. EMtest-yrityksen verkkosivusto. Viitattu 26.2.2020.

https://www.emtest.com/what_is/emv-emc-basics.php

EN 50147-1:1996. Shield attenuation measurement. Brussels. CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization. Standardi Comtestin tietokannasta Viitattu 5.2.2020.

Helttula, J. 2018. EMC Testaus ja vertailumittauskampanja Suomalaisista testauslaboratorioista. Seminaariesitys. Asiakirja Amitronicin tietokannassa. Viitattu 21.1.2020.

IEC 61000-4-3:2006. Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test. Geneva. International Electrotechnical Commission. Standardi Comtestin tietokannasta. Viitattu 5.2.2020.

IEC CISPR 16-1-4:2019 clause 6. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements. RSM for FAR sites. Geneva. International special committee on radio interference. Standardi Comtestin tietokannasta. Viitattu 5.2.2020.

IEC CISPR 16-1-4:2019 clause 7. Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements. Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz. Geneva. International special committee on radio interference. Standardi Comtestin tietokannasta. Viitattu 5.2.2020.

Korhonen, E. N.d. EMC-suunnittelu ja -testaus, Oulun Yliopisto. Seminaari materiaali. Viitattu 21.1.2020. <https://docplayer.fi/7019958-Emc-suunnittelu-ja-testaus.html>

Mäenpää, M. 2018. Radiotaajuisen kentän mittaukset ja sietotestaus kannettavilla puhelimilla. Kandidaatintyö, Oulun Yliopisto. Viitattu 6.3.2020. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201811213084.pdf>

Nyberg, H. & Jokela, K. 2006. Sähkömagneettiset kentät, Säteilyturvakeskus. Julkaisu. Viitattu 14.4.2020. https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/6_1_1.pdf/c1de870c-bc49-42d5-bc8d-83b6c4ddab9a

Sähkömagneettinen säteily. N.d. Aalto-verkkosivusto. Viitattu 6.3.2020. <https://foto.aalto.fi/opetus/350/k01/luento1/sms.html>

Uliana, T. 2020. Senior Technical Consultant. Comtest Engineering bv. EMC-koulutus. 23.1.2020.

Liitteet

Liite 1. EMC-Chamber project check list (Salassapidettävä)

Liite 2. Scope of Work (Salassapidettävä)

Liite 3. Shielding Effectiveness Test Report (Salassapidettävä)

Liite 4. RSM Test Report (Salassapidettävä)

Liite 5. SVSWR Test Report (Salassapidettävä)

Liite 6. Field Uniformity Test Report (Salassapidettävä)