



- OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MELUMITTARIN TUOTETESTAUS

TEKIJÄ: Besim Mehooli

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työntekijä			
Besim Mehooli			
Työn nimi			
Melumittarin tuotetestaus			
Päiväys	30.5.2014	Sivumäärä/Liitteet	48
Ohjaaja			
yliopettaja Ari Suopelto, testausinsinööri Marko Sorsa			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani			
APL Systems Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli testata melumittarin toimivuus kylmissä olosuhteissa sekä vaihtelevassa sähkömagneettikentässä. Työssä tarkisteltiin lisäksi komponenttien lämpötilavaatimuksia, tutustuttiin laitteen toimintaan ja tuotetestausmenetelmiin.</p> <p>Projektin lähtökohtana olivat melumittaustietojen tallennuksessa ilmenneet ongelmat. Ongelmien epäiltiin johtuvan sähkömagneettikentän häiriöistä, koska käytettäessä melumittaria junaradan läheisyydessä muistikortti rikkoutui. Lisäksi lämpötilan vaikutus laitteeseen oli epäselvä.</p> <p>Työssä pyrittiin selvittämään, onko laitteen suunnittelussa otettu huomioon kaikki komponenttien ja muiden osien lämpötilavaatimukset. Käytännössä selvitettiin, kestäkö laite ankaria olosuhteita ja miten laite reagoi sähkömagneettikentän vaihteluissa. Raportti tuloksineen ja parannusehdotuksineen palautettiin tutkimuksen tilanneelle asiakkaalle.</p>			
Avainsanat			
melumittaus, tuotetestaus			
Luottamuksellisuus			
julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Besim Meholfi			
Title of Thesis Product Testing of a Noise Meter			
Date	May 30, 2014	Pages/Appendices	47
Supervisor(s) Mr. Ari Suopelto, Principal Lecturer and Mr. Marko Sorsa, Testing Engineer			
Client Organisation /Partners APL Systems Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis project was to test how the noise measurement device works in environmental conditions such as low temperatures and in the presence of electromagnetic field. Also the environmental requirements of each component were checked and information about the function of the device and testing methods were studied as well.</p> <p>The starting point for the project were the problems occurred when saving noise data. The problems were suspected to be caused by electromagnetic field, because when the device was used near the railway, the memory card got broken. The effect of the temperature on the device was also unclear.</p> <p>This study aimed at investigating whether in the design of the device all the requirements for temperature of the components and other parts were taken into account. In practice, this means whether the device withstands harsh conditions and how the device reacts on the fluctuations of electromagnetic fields. The test results and suggestions for improvements were handed to the client.</p>			
Keywords noise measurement, device testing			
Confidentiality public			

ESIPUHE

Tämän opinnäytetyön yhteistyökumppanit olivat APL Oy ja Savonia-ammattikorkeakoulu. Lopputyötä kirjoitettiin kevään 2014 aikana. Haluan kiittää opinnäytetyön aiheesta APL:n ohjelmoijaa Marco Krögeriä ja asentaja Tero Toivasta.

Haluan myös kiittää ohjaava opettajani yliopettaja Ari Suopeltoa kärsivällisyydestä ja testausinsinööri Marko Sorsaa avusta testien suorittamisessa.

Lisäksi suuret kiitokset avopuolisolleni, joka auttoi kielen tarkastuksessa, ja kavereille tuesta ja avusta koko opiskelun ajalta. Opinnäytetyön kirjoittamisen aikana opin paljon uusia asioita ja uskon että niistä on hyötyä tulevaisuudessa.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT	9
3	MELUT.....	11
3.1	Ympäristömelu.....	11
3.2	Melumittaus ja melumittarit.....	11
3.3	Asetus	12
3.4	Melutasot.....	14
3.5	Melustandardien esittely.....	15
3.6	Kaupalliset melumittarit	16
3.7	Melumittarin kalibrointi	17
4	TESTATTAVA LAITE	19
4.1	Melumittari AURES 2.0.....	19
4.2	Käyttö.....	20
5	OLOSUHDETESTAUS.....	21
6	EMC-TESTAUS.....	24
6.1	EMC:n määrittely.....	24
6.2	Sähkömagneettiset häiriöt.....	25
6.3	EMC-direktiivi.....	27
6.4	Sähkömagneettikentän vaikutus laitteisiin	29
6.5	EMC-testaukset ja CE-merkintä	30
7	TESTAUSTEN TULOKSET	32
7.1	Testaussuunnitelma.....	32
7.2	Olosuhdetestauksen ympäristö	32
7.3	EMC-Testauksen ympäristö.....	34
7.4	Komponenttien lämpötilavaatimukset	36
7.5	Muut huomautukset.....	38
7.5.1	Mikrofoni	38
7.5.2	Kondensaattorit yleensä	38
7.5.3	Junan aiheuttama sähkömagneettikenttä.....	39
7.5.4	Kotelon eristys.....	40
8	YHTEENVETO JA KEHITTÄMISSUOSITUKSET	41

LÄHTEET 43

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on suorittaa EMC- ja olosuhdetestaukset melumittauksiin käytetylle tuotteelle eli melumittarille. Työssä tarkastellaan komponenttien lämpötilavaatimuksia, tutustutaan laitteen toimintaan ja tuotetestausmenetelmiin, testataan laitetta ja analysoidaan tulokset.

Opinnäytetyön tavoitteena on testata meluasteen mittarin toimivuutta kylmissä olosuhteissa ja sähkömagneettisen kentän vaikutusta laitteen toimintaan.

Tavoitteena on luoda hyvä ja hyödyllinen raportti, jossa työn tehtävät on suoritettu asianmukaisesti ja tarkasti. Testaustulosten avulla yritys voi toivottavasti varmistua siitä, kannattaako yrityksen kehittää uutta laitetta vai onko nykyinen laite yrityksen tarpeisiin sopiva muutaman toiminnallisen muutoksen jälkeen. Lopputyön tuloksia ei voida esittää raportissa salassapitosopimuksen takia. Tutkimuksen tilanneelle yhteistyökumppanille laaditaan tuloksista ja muista tutkimuksen havainnoista erillinen raportti. Näistä tutkimuksista voi olla yritykselle hyötyä tulevaisuudessa esimerkiksi mahdollista uutta laitetta suunniteltaessa.

Asiakkaan mukaan suurin ongelma laitteen käytössä on ollut tallennusongelmat, joita ilmeni melumittaustallennuksissa. Ongelmat ilmenivät tallennustaukoina tallennuksen aikana. Tällöin laite ei tallentanut mittauksia ja saatuja mittaustietoja ollenkaan ja joskus jopa koko mittaussysteemi pysähtyi. Aluksi ongelman syyksi epäiltiin ongelmaa tallennuksessa, joka suoritettiin SD- tallennuskortille. Muita syitä saattoivat olla ohjelmiston tallennusvirheet muistille, komponenttien toiminta kylmässä säässä tai ympäristöissä, jossa magneettikentän voimakkuutta ilmenee. Tietyllä aikavälillä systeemin häiriöt ovat olleet selittämättömiä.

Koko projektin lähtökohtana on ollut kysymys, kestääkö laite lämpötilan vaihteluita ja magneettikentän vaikutusta ja mikä on laitteen kunnollisen toiminnan kannalta lämpötilaraja. Tutkimuksessa käyn läpi kaikkien laitteen komponenttien käyttölämpötilat sekä komponenttien toiminnassa ilmeneviä poikkeuksia tietyissä ympäristöissä.

Tutkimuksessa testattiin kyseessä olevaa melumittaria alla listatuilla menetelmillä:

- Suoritettiin olosuhdetestaus, jossa tuotetta testattiin ramppi-menetelmällä eli muuttamalla lämpötilaa tasaisesti välillä - 40 °C – (+ 40 °C).
- EMC-testauksella tarkasteltiin, minkälaisia vaikutuksia sähkömagneettikentällä oli tuotteeseen.
- Tarkistettiin laitteen kaikkien komponenttien lämpötilavaatimukset. Tarkastuksen toteutettiin käyttämällä hyväksi valmistajien datalehdistä ja muista lähteistä löytyviä teknisiä tietoja.
- Tutustuttiin laitteen toimintaan.

Lopputyön yhteistyökumppani on kuopiolainen meluasteen mittausyritys nimeltä APL. Yritys tekee melumittauksia koko Suomen alueella ja laatii raportteja meluasteesta testatuista kohdista. Yrityksen asiakaskuntaan kuuluvat mm. yksityishenkilöt, yritykset ja valtio. Yrityksen suurin asiakaskunta on energia-ala ja teollisuuslaitokset. Mittauksia suoritetaan jonkin verran myös kivenmurskaamoille ja kaivoksille.

Periaatteessa kaikki, jotka tarvitsevat meluasteen mittauksia, voivat hankkia itselleen APL:n palveluita. Esimerkiksi jos valtio päättää rakentaa uuden koulun tai sairaalan melulähteen läheisyyteen, usein esimerkiksi lentokentän, junaradan tai vilkasliikenteisen tien lähelle, toimeksiantaja pyytää APL:ltä halutut meluastemittaukset. Asiakkaan kanssa sovitaan tarpeellisista mittauksista ja suoritetaan mittaukset sopimuksen mukaisella ajanjaksolla. Yritys laati raportin mittauksista ja lähettää sen asiakkaalle asiakkaan tarpeiden mukaisesti.

Käytössä oleva laite on nimeltään AURES 2.0, ja se on ollut yrityksen käytössä usean vuoden ajan. Työssä pyrittiin selvittämään, onko laitteessa otettu huomioon kaikkien komponenttien ja muiden osien lämpötilavaatimukset vai voivatko laitteen toimintaongelmat johtua muista ympäristölähteistä. Testattavassa laitteessa on integroidut mittausalustat, mikrofoni, akku ja muita komponentteja. Laitteen toimintahäiriöitä saattavat aiheuttaa myös elektromagneettiset aallot tai häiriöt. Näitä häiriöitä ilmeni erityisesti silloin, kun mittauksia tehtiin junaratojen läheisyydessä tai muissa sähkökenttäympäristöissä. Tällöin laitteen tallennussysteemi ei toiminut toivotusti ja SD-kortti saattoi vaurioitua toimimattomaksi.

Työn aikana tarkastellaan myös komponentteja, joissa voi mahdollisesti olla osia, jotka eivät täytä lämpötilavaatimuksia. Näitä komponentteja voivat olla esimerkiksi laitteessa käytetyt liittimet. Näille liittimille viidentoista asteen ylitys minimilämpötilassa aiheuttaa merkittäviä toimintamuutoksia ja voi jopa tehdä niistä toimimattomia.

Silloin kun tuotteen sähkömagneettisen yhteensopivuuden testejä suoritetaan, tehdään kymmeniä erilaisia testejä, jotta saadaan parempi kuva siitä kuinka laite toimii vaihtelevissa olosuhteissa. Tämä tutkimus työ on rajattu resurssien suppeuden takia vain osaan EMC- ja olosuhdetestauksista.

2 LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Tuotetestaus

Tuotetestauksen tehtävänä on varmistaa, että asiakkaalle kehitetyt tuotteet tai palvelut toimivat suunnitellulla tavalla ja täyttävät kaikki ne vaatimukset, jotka vaatimuserittelyssä on määritelty. (Testattavuuden suunnittelu, 2014)

Olosuhdetestaus

(eng. Environmental Testing) Olosuhdetestauksia tehdään olosuhteissa jossa normaalisti tuotetta käytetään, esim. sateessa ja kylmässä ilmassa. (Testattavuuden suunnittelu, 2014)

EMC – testaus

(eng. Electronic Compatibility) Laitteen tai järjestelmän kykyä toimia luotettavasti erilaisissa sähkömagneettikenttäympäristöissä. (Testattavuuden suunnittelu, 2014)

Melumittari

Laitte joka mittaa ääntä tai melua

Kalibrointi

Kalibrointi tarkoittaa mittalaitteen vertaamista tunnettuun vertailumittalaitteeseen, ns. referenssiin.

SD - kortti

(eng. Secure Digital Card) on erittäin pieni kokoinen muistikortti joka on suunniteltu tarjoamaan korkean kapasiteetin muistia pienessä koossa.

Desibeli

(eng. decibel) dB on yksikkö, joka vertailee tehosuureiden suhteita logaritmisella asteikolla. (Termit, määritelmät, yksiköt ja parametrit)

Pascal

(tunnus Pa), paine, jonka yhden Newtonin voima aiheuttaa neliömetrin pinta-alalle

Gauss

Gaussi on magneettikentän voimakkuuden yksikkö

dB(A)

A-äänitaso on A-suodatinta käyttäen mitattu taajuuspainotettu äänenpainetaso

Leq

Ilmaisee desibelinä jatkuvat äänitasot jotka tuottavat samaan aikaan yhtä paljon äänienergiaa kuin vaihteleva äänenpainetasot. (Termit, määritelmät, yksiköt ja parametrit)

Lmax

Ilmaisee suurin meluasteen mittausjakson aikana. (Termit, määritelmät, yksiköt ja parametrit)

Järjestelmätestaus

Testaus, jonka avulla testataan kyseisen järjestelmän ja/tai laitteen toimintaa

Katselmus

Menetelmä, jonka avulla voidaan todeta työn päättymistä

A-weighting filter

A-taajuuspainotus- suodatin kattaa kokonaisen äänialueen 20Hz – 20kHz

LAeq

Keskiäänitaso vastaa jatkuvaa vakioäänitasoa

LAFmax

Maksimitaso jolla on A- painotettu taajuusvaste ja nopea aikavakio

LCpeak-tasoa

On C-painotetun äänenpaineen maksimi tietyssä mittausjaksossa. Käytetään työperäisen melun mittaamiseen, joissa kovat äänet ovat läsnä.

Testaussuunnitelma

Suunnitelma, jonka pohjalta ohjelmistotestaus/tuotetestaus voidaan viedä organisaation sisällä ja suunnitelmallisesti läpi

EMI – häiriöt

(eng. Electro magnetic interference) Sähkömagneettiset häiriöt aiheuttavat toimintahäiriötä muille elektronisille laitteille. Nämä häiriöt voivat tulla ihmisten tekemisistä laitteista tai luonnon ilmiöistä kuten auringosta tai maan magneettikentästä. (Sähkömagneettiset häiriöt, 2014)

Tarkastus

Menetelmä, jolla varmistetaan ja tarkistetaan, että tuote tai komponentti vastaa kyseiset vaatimukset ja määritelmät

Lämpölaajeneminen

Materiaalien laajenemista eli tilavuuden kasvamista lämpötilan noustessa.

Offline- tila

Toiminnan passiivitila

Direktiivi

Euroopan unionin jäsenvaltioille tarkoitama lainsäädäntöohje

3 MELUT

3.1 Ympäristömelu

Ympäristömelu on ääntä tai melua, jonka ihmiset tuntevat kiusalliseksi tai häiritseväksi.

Ympäristömelu aiheutuu erilaisista lähteistä kuten lentokoneista, autoista, tuulimyllyistä, tehtaista tai luonnon ilmiöistä. Ympäristömelu voi aiheuttaa ihmisille terveys- ja mielialaongelmia, se myös alentaa elämän laatua ja ympäristön viihtyvyyttä. (Ympäristömelu 2014)

Melu on ei-haluttua ääntä, jonka intensiteetti (äänekkyys) mitataan desibeleinä (dB). Desibeliyksikkö (dB) yksikkö vertailee tehosuureiden suhteita logaritmisella asteikolla. Ympäristömelun mittauksissa käytetään äänimittareita tai melumittareita, joilla pystytään mittaamaan esimerkiksi vähintään L_{eq} ja L_{max} -arvoja. (Termit, määritelmät, yksiköt ja parametrit 2014)

Ympäristömelumittaukset voivat olla lyhytaikaisia kartoitusmittauksia, joissa äänitasoja mitataan useasta pisteestä esimerkiksi tehtaan ympäriltä tai metsästä. Näissä mittauksissa äänimittari voidaan sijoittaa mittauspisteeseen esimerkiksi kiinnitettynä puuhun, rakennuksiin ja muihin paikalla pysyviin kohteisiin.

Pidempiaikaisissa seurantamittauksissa äänitasomittari sijoitetaan yhteen pisteeseen pidemmäksi aikaa, esimerkiksi kahdeksi viikoksi rakennuksen katolle. Tällöin laite tallentaa tietoja melun vaihteluisista ja tasoista. Näissä tapauksissa ei enää riitä melumittari, joka pystyy tallentamaan meluasteita vain sisätiloissa, vaan tarvitaan ulkokäyttöön tarkoitettuja laitteita. Nykyään on olemassa myös erillisiä ulkomittausmikrofoneja, joita voidaan sijoittaa erilleen esim. liittämällä erikseen, vaikka ne eivät olisikaan tarkoitettu ulkokäyttöön. Silloin vaarana on, että laite sinänsä ei ehkä täytä lämpötilavaatimuksia ja muita EMC-vaatimuksia. (Ympäristömelu, 2014)

3.2 Melumittaus ja melumittarit

Melun äänitason mittaamiseen käytetään melumittareita, joiden avulla pystytään mittaamaan tietyn kohteen tai paikan meluasteet. Saatujen tulosten perusteella voidaan antaa selkeä raportti melutasoista mitatussa paikassa. Käyttötarkoituksen mukaan melumittarit luokitellaan kolmeen eri luokkaan (IEC 61672 Melumittausten standardi 2014). Tarkimpaan 0-luokkaan sijoittuvat referenssilaboratoriomittarit, seurantamittauksiin tarvitaan 1.luokan melumittari ja määräaikakokeiden tulee täyttää 2.luokan vaatimukset. Melumittarin tarkkuus ja toimivuus riippuu oleellisesti mikrofonin ja elektroniikan laadusta. Melumittarin toimivuudessa on myös oleellista, että suunniteltu laite täyttää kaikki elektromagneettisen yhteensopivuuden vaatimukset, lämpötilavaatimukset ja muut käyttövaatimukset, jotta laite toimi virheettömästi ja ettei laite aiheuta muille tuotteille tai käyttöympäristölle häiriöitä. (IEC 61672 Melumittausten standardi 2014)

Melumittareissa on normaalisti kolme erilaista taajuuspainotusta: A-painotus, C-painotus ja lineaarinen painotus. A-painotusta käytetään, kun melua mitataan kuulemisen tai kuulovaurion kannalta. C

-painotusta käytetään impulssimelun mittauksessa ja lineaarista painotusta käytetään mikrofonien ja äänentoistolaitteiden laadun arvioinnissa. Linearisessa painotuksessa ei ole taajuuskorjausta. Taajuuspainotuksen lisäksi mittareissa on aikapainotukset, jotka vaikuttavat melulukeman muutosnopeuteen.

Lisäksi melumittareissa on usein Peak- ilmaisin, joka antaa käytetyllä taajuuspainotuksella maksimi-äänenpaineen. Meluallistuksen arvioinnissa tarvitaan LCPeak- tasoa, joka on C-painotetun äänenpaineen maksimi tietyssä mittausjaksossa.

(IEC 61672 Melumittausten standardi 2014)

3.3 Asetus

Suomessa astui voimaan vuonna 2006 Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta. Asetus velvoittaa työnantajat selvittämään altistuvatko työntekijät sellaiselle melulle tai äänelle, josta voi aiheutua haittoja ja ongelmia työntekijöille sekä ympäristölle. Riskimahdollisuudet pitää arvioida ja joskus jopa mitata käyttäen olosuhteisiin sopivaa melumittauslaitetta.



KUVA 1. Melumittaus työpaikalla (Ympäristömelu, 2014)

Työnantajalla on velvollisuus selvittää työntekijöiden mahdollinen melulle altistuminen ja tunnistaa melua aiheuttavat tekijät. Työnantajan on arvioitava ja joskus myös mitattava kuinka paljon työntekijä altistuu melulle. Lainsäädännössä on määritelty melulle kolme eri luokkaa ja niiden toimenpide- luokitukset. (Työmelun raja- ja toiminta-arvot)

Asetuksen 85/2006 mukaan 8 tunnin altistuksena sekä impulssimelun huippuarvoina raja-arvot ovat seuraavat:

TAULUKKO 1. Työmelun raja- ja toiminta-arvot (Työmelun raja- ja toiminta-arvot 2014)

Luokka	LAeq(8 tuntia)	LCpeak,max	Tärkeä
Alempi toiminta-arvo	80 dB	135 dB	(kuulosuojaimen ulkopuolella)
Ylempi toiminta-arvo	85 dB	137 dB	(kuulosuojaimen ulkopuolella)
Raja-arvo	87 dB	140 dB	(kuulosuojaimen sisällä)

Melualtistuksen alemmaksi toiminta-arvoksi on asetettu 80 dB(A) ja huippupaine 112 Pa (taulukko 1), jonka ylittyessä työntekijöiden saatavilla tulee olla henkilökohtaisia kuulonsuojaimia. Ylemmän toiminta-arvon 85 dB(A) ja huippupaineen 140 Pa ylittyessä työnantajan on annettava työntekijöille henkilökohtaiset kuulonsuojaimet, joita työntekijöiden on käytettävä. (Työmelun raja- ja toiminta-arvot 2014)

Työntekijällä on oikeus säännölliseen kuulontarkastukseen, kun työpaikan meluaste nousee yli asetettujen toiminta-arvojen ja työpaikan melu aiheuttaa riskin työntekijälle. Ylemmän toiminta-arvon ylittyessä työnantaja on veloitettu laatimaan meluntorjuntaohjelma. Toteuttamalla meluntorjuntaohjelman, työnantaja pyrkii laskemaan työpaikan melutaso alle 85 dB(A):n. Työnantajan toteuttamassa torjuntasuunnitelmasta käy ilmi toimintasuunnitelma, jossa todetaan työpaikan vallitseva melutaso ja mahdollisen toiminta-arvojen ylityksen syyt. Suunnitelmassa kuvataan millaisia toimia melun vähentämiseksi aiotaan tehdä, kuka on vastuussa toimien toteutuksesta ja melun vähentämiseksi tehtävien toimien aikataulutus. Meluntorjuntaohjelmaa toteutetaan jatkuvasti siihen saakka kunnes työpaikan melutaso on saatu laskemaan asetetun ylemmän toiminta-arvon alapuolelle. (Työmelun raja- ja toiminta-arvot 2014)

Päivittäisen melualtistuksen raja-arvoksi on asetettu 87 dB(A) ja huippupaineen raja-arvo on 200 Pa. Näitä raja-arvoja ei saa missään tapauksessa ylittää. Raja-arvossa on otettu huomioon kuulonsuojainten vaimennus, joten käytännössä tämä raja-arvo tarkoittaa melualtistusta kuulonsuojaimen sisäpuolella. (Ympäristömelu 2014)

Silloin kun altistuksen raja-arvo on määritetty otettaan huomioon myös kuulonsuojainten vaikutus, tämä tarkoittaa sitä että arvioidaan kuulonsuojaimen sisällä, korvakäytävässä mitattavissa oleva äänitaso. Toiminta-arvot on määrätty työntekijän kuulonsuojaimen ulkopuolelta mitattuna.

3.4 Melutasot

Melutaso ilmaisee ei-toivotun taustamelun tason amplitudia. Desibeli yksikköä käytetään yleensä kahden signaalin välisen tehosuhteen ilmaisuun sekä vahvistimen ja vaimentimen vaikutuksen ilmaisemiseen.

$$I_{dB} = 10 \log \frac{P}{P_0}$$

KAAVA 1. Kaava jossa I_{dB} on melun intensiteetti desibeleinä, P kohteen antama melun teho ja P_0 referenssi. (Kaavat 2014)

Desibeliasteikko on logaritminen, joka tarkoittaa sitä, että kolmen desibelin lisäys äänitasossa merkitsee äänen intensiteetin kaksinkertaistumista. Esim. normaalin keskustelun melutaso on noin 65 dB ja huutamisen noin 80 dB. Ero on vain 15 dB, mutta huutaminen on kuitenkin 30 kertaa intensiivisempää. Ihmiskorva aistii eri taajuudet eri tavoin. Jotta tämä voitaisiin ottaa huomioon, melun voimakkuuden tai intensiteetin mittauksessa käytetään yleensä desibelien A-painotusta dB(A). (Melu, "Mitä melu on?" 2014)

Melun vahingollisuus ei määrity pelkästään intensiteetin perusteella. Myös altistumisaika on hyvin tärkeä. Tämä otetaan huomioon käyttämällä äänitason aikapainotettua keskiarvoa, jonka perustana työperäisessä melussa käytetään yleensä kahdeksantuntista työpäivää. (Melu, "Mitä melu on?" 2014)

TAULUKKO 2. Taulukossa on esitetty erilaisia äänitasoja. (Esimerkkejä melutasoista, Lohjan kaupungin internet sivut 2011)

ÄÄNI	ÄÄNITASO (dB)
Kuulokynnys	0
Lehtien havina	10
Rannekellon tikitys	20
Kirjasto, Kuiskaus	30 - 40
Tavallinen keskustelu	50 - 60
Liikennemelu	55 - 75
Linja-auto kadunkulmassa	70 - 80
Linja-auton sisämelu	80 - 90
Rekan ohiajo	> 90
Sinfoniaorkesteri	100 - 110
Rock-konsertti	100 - 120
Auton torvi (1 m)	115
Paineilmapora	120
Suihkukoneen nousu	125
Kipukynnys	120 - 130

Yllä olevassa taulukossa on esitetty erilaisia esimerkkejä eri toimintojen tuottamien äänien voimakkuuksista. Jos työpaikalla ylitetään 85 [dB] arvo, työntekijöitä kehoitetaan käyttämään kuulosuojaimia.

3.5 Melustandardien esittely

Käsitteistä, jotka kuvaavat melulähteistä tärkeimmät ovat: melulähteen melupäästö (emissio) ja melutaso. Melupäästöä kutsutaan myös nimeltä melu-emissio tai äänitehotasoksi. Ääniteho esittää melun lähteen voimakkuutta mitattuna, eli sen että miten paljon äänilähde säteilee. Äänitehon avulla lasketaan äänilähteen sekunnissa lähettämä äänienergia riippumatta ympäristöstä. Melu- emissio voidaan ilmoittaa desibeleinä, mutta myös watteina. (Meluselvitys, Promethor Oy 2011)

Melutaso esittää tärkeämmin kohteessa esiintyvän melun A- äänitasoa (LAeq). A-äänitaso on A-suodatinta käyttäen mitattu taajuuspainotettu äänenpainetaso ja merkitään yksiköllä dB(A). (Termit, määritelmät, yksiköt ja parametrit)

Melutason suora mittaus kertoo, paljonko melua on mittaushetkellä mittauspisteessä. Mittauspaikkoja voivat olla esim. tehtaat, metsät, talot, toimistot, asunnot tai muut herkäät kohteet.

Melutason mittausta varten on laadittu standardeja ja ohjeita, joiden avulla mittauksia voidaan suorittaa sääntöjen mukaisesti ja virheettömästi. Standardeja ja määräyksiä on laadittu erilaisille äänilähteille ja meluille esimerkkeinä: tieliikennemelulle, raideliikennemelulle, ympäristömelulle, teollisuusmelulähteille ja muille lähteille, jotka aiheuttavat melupäästöjä. Standardeja on useita ja jokaisella on oma toimintatarkoitus.

Standardeista tärkeimmät ovat:

- "ISO 1996 (osat 1-3)
- YM Ohje 1/1995 Ympäristömelun mittaaminen
- NT ACOU 039 tieliikennemelu
- NT ACOU 098 raideliikennemelu" (Melu laskennan peruskäsitteitä 2014)

Melumääräys 1994(SI 179) toteuttaa (§108 EPA melusäädös) säädöstä, jonka tarkoituksena on yksinkertaistaa ja tehostaa meluhaittojen käsittelyä. Paikallisviranomaiset, yritykset tai muut ihmiset, jotka tuntevat melulähteen häiritseväksi, voivat valittaa käräjäoikeudessa (§ 108 EPA lain mukaan), silloin kun melu on liian kovaa, jatkuvaa, toistuvaa, melut jotka kestävät kauan tai esiintyvät lain määrätyn ajan ulko-puolella. Myös naapureista tai yleisistä paikoista tullut melu voidaan ilmoittaa viranomaisille jos tarvetta esiintyy. Muut standardit on tarkoitettu ympäristömelun mittaamiselle, tieliikennemelulle, raideliikennemelulle ja teollisuusmelulle. (Melu laskennan peruskäsitteitä 2014)

Melupäästön mittauksia ja tuloksia tarvitaan esimerkiksi silloin kun halutaan määrittää laskennan lähtöarvoja." Äänitehotason mittauksiin liittyvät myös erilaisia standardeja kuten:

- ISO 3740 -sarja perusstandardit, kaikki äänilähteet
- NT ACOU 080 ympäristömelulähteet yleensä
- ISO 8297 suuret teollisuusmelulähteet” (Melu laskennan peruskäsitteitä 2014)

ISO 3740 Standardi on perusstandardi, jossa on esitetty kaikki melulähteet. Melulähteiden äänitehotason mittausten menetelmät perustuvat kansainvälisiin perusstandardeihin ISO 3744 ja ISO 3746. Ne eivät kuitenkaan kelpaa ympäristömelulähteiden päästömittauksiin, vaan kaipaavat soveltamisohjeita, jotka on esitetty Nordtest- standardissa NT ACOU 080. Suurille teollisuusmelulähteille voidaan joissakin tapauksissa käyttää erityismenetelmää ISO 8297. (Melu laskennan peruskäsitteitä 2014)

Autojen, lentokoneiden ja junien melupäästöt tunnetaan aiemmista mittauksista, joten meluselvitystyössä niiden päästöjen usein toistuvalla mittaamisella ei ole tarvetta. Liikennemäärän jatkuvasti kasvaessa ovat melupäästöt nousseet samanaikaisesti. Muiden lähteiden päästömääristä ei ole yhtä tarkkoja tietoja esim. teollisuuden melulähteet ovat yksilöllisiä ja niiden melumäärät pitää melkein aina mitata erikseen. 1980-luvulla Pohjoismaat laativat lukuisia ympäristömelun laskentamalleja, jotka ovat vielä nykypäivänäkin käytössä. Niistä laskentamalleista yleisimmät ovat: yleinen (teollisuusmelumalli), tieliikennemelumalli, raideliikennemalli. (Melutasot, ”Sound levels” 2013)

3.6 Kaupalliset melumittarit

Melumittareiden kehitys on ollut jatkuvaa. Ensimmäiset nykyaikaiset melumittarit kehitettiin 1970-luvulla, mutta niitä on ollut käytössä aikaisemminkin (esim. toisen maailman sodan jälkeen). Nykyään ne ovat yleisiä ja yksityishenkilökin pystyvät tilaamaan niitä internetkaupoista tai suoraan valmistajalta. Kaupallisten melumittareiden hinnat ja koot vaihtelevat. Myös käyttötarkoitus ja ympäristö ovat erillisiä esim.



Digitaalinen melumittari (GM1351 Digital Sound Level Meter) on pieni ja yksinkertainen melumittari. Siinä on kaksi painiketta joiden avulla mittaus aloitetaan ja mittauksen lopussa tarkistetaan maksimiarvoa desibeleinä. Sen mittausalue on 30dB – 130dB, LCD-näyttö ja virtalähteenä toimii patteri (9V). Koko on: 5.7*2.6*14.9cm ja se paino 130g. Hinta on 35€. (GM1351 melumittari)

KUVA 2. Digitaalinen GM1351 melumittari (Gm1351-melumittari)



Esimerkki kehittyneemmästä melumittarista on Tecpel DSL – 330 melumittari. Se on tarkka, edullinen ja helppokäyttöinen. Se on tarkoitettu esim. urakoitsijoille ja tarkastajille. Sillä pystytään mittaamaan A- ja C-taajuuspainotukset. Samalle mittarille voidaan liittää tiedonkeruulaite ja käyttää nopeita sekä hitaita vasteaikoja. Mittausalue on 30–130dB ja käyttöympäristö on: 0 °C – [+40 °C]. Siinä on integroitu 4-numeroinen LCD-näyttö ja pariston kesto on noin 50 tuntia. Mitat ovat 275 * 64 * 30 mm ja se painaa 275g. Sen myyntihinta on 240€. (Tecpel DSL-330 äänitasomittari)

KUVA 3. Tecpel DSL – 330 melumittari. (Tecpel DSL-330 melumittari)

Tunnettu melumittarivalmistaja on myös Pulsar Instruments Ltd. Yritys on valmistanut korkealaatuisia melu- ja äänitasomittareita jo yli 40 vuoden ajan. Mittalaitevalikoima sisältää melumittarit ja integroivat reaaliaika-analysointorit. Pulsar mittarit ovat luotettavia, helppokäyttöisiä, tarkkoja ja ne täyttävät uusimmat standardit. Pulsar Quintifier melumittari sarjassa on laaja valikoima mittareita jotka on tarkoitettu yleisimmin teollisuus- ja ympäristömelun mittaamiseen. Ne ovat helppokäyttöisiä, täyttävät viimeiset direktiivit (EU direktiivi 2003/10/EC) ja melumittaus-standardit (IEC 61672, IEC 60651 & IEC 60804) Ne myös mittaavat kaikki LAeq, LAFmax, Lcpeak arvot. Laitteissa on AC-lähtö ulkoisia analyyseja varten, ulkomittaus mahdollisuudet ja GSM- modeemi mahdollistaa kaukomittauksen. Laitteet toimivat -10 °C – +40 °C:n olosuhteissa, ne painavat noin 500g ja akun kesto on yli 24 tuntia. Yleisimmät mallit ovat: Quantifier Range Models 91, 92, 93, 94, 95, 96. Myyntihinnat vaihtelevat 1000 € – 2500 €:n välillä.

Suurin osa kaupallisesti saatavilla olevista melumittareista ovat ns. pieniä mittareita. Niissä on pieniä akkuja ja näillä laitteilla tehtävät mittaukset ovat lyhyitä noin 1-3 päivän pituisia. Jos halutaan mitata meluja pidemmällä aikavälillä, on hankittava palveluja melumittausyrityksistä tai ostettava isompia ja huomattavasti edellä mainittuja mittareita kalliimpia laitteita. (Quantifier Range- Melumittari 2014)

3.7 Melumittarin kalibrointi

"Nykyaikaiset äänimittalaitteet ovat toiminnaltaan yleisesti ottaen varsin vakaita ja luotettavia. Mittausmikrofonit ovat kuitenkin herkkiä laitteita, jotka on suunniteltu tiukkojen laatuvaatimusten mukaisiksi. Laitteet on kalibroitu APL Systemsin toimesta ennen lähettämistä asiakkaalle, mutta kalibrointi tulisi suorittaa myös niissä olosuhteissa, joissa mittaus on tarkoitus suorittaa. Kalibrointi kannattaa siis suorittaa aina ennen mittausten aloittamista. Lisäksi kalibrointi on suoritettava noin 3 kuukauden välein, sekä mittausolo-suhteiden muuttuessa huomattavasti."

(Aures 2.0 käyttöohjeet)

Melumittarien toimintakunnon varmistamiseksi ja kalibroimiseksi käytetään melukalibraattoria. Melumittarin mikrofoni asetetaan kalioraattoriin sovittimen avulla. Tämän jälkeen kalibraattorin äänen voimakkuutta voidaan mitata. Kalibraattori tuottaa normaalisti 1000 Hz:n taajuudella 94 dB äänen-

painetason. Mikäli melumittarin mittaama lukema poikkeaa paljon kalibraattorin lukemasta, melumittaus ei ole luotettava. Pienet poikkeamat voidaan korjata säätämällä melumittaria. Melumittari on kalibroitava säännöllisesti. Sillä sen kautta varmistetaan että mittaukset tehdään aina asianmukaisesti ja luotettavasti. (IEC 61672 Melumittausten standardi 2014)

4 TESTATTAVA LAITE

4.1 Melumittari AURES 2.0

“APL Systemsin Aures tuoteperheen laitteet on kehitetty ympäristömelunmittauksen tarpeisiin. Aures voi toimittaa mittaustulokset joko langattomasti tietokantaan tai olosuhteiden niin vaatiessa Aures voi toimia dataloggerina, tallentaen mittaustulokset sisäiseen muistiin, josta mittaustulokset puretaan myöhemmin jatkokäsittelyyn. Auresista on saatavilla sekä A-painotettuja melutasoja mittaava versio että täyden spektrin äänianalyysiin kykenevä versio. Aures Analyzer on APL Systemsin kehittämä ohjelmisto, joka on kehitetty Auresin tuottaman datan visualisoimiseen, tulkintaa ja raportointia helpottamaan.

Aures 2.0 keskeiset ominaisuudet ovat:

- Mittaa ja tallentaa oktaavi- ja terssikaistat
- Mittausalue 35–125 dB
- Resoluutio 0,1 dB
- PCM- koodatun äänisignaalin tallennuskapasiteetti kaksi viikkoa”

(Aures 2.0 käyttöohjeet)

Melumittaria käytetään pääosin ulkotiloissa, joissa lämpötilat voivat olla vaihtelevia. Laitteen on kestävä kuumia olosuhteita kesäaikoina ja talvella laitteen on kestävä äärimmäisiä olosuhteita niin sateen, tuulen kuin myös alhaisen lämpötilan takia.



KUVA 4. Aures 2.0 kiinnitettynä puuhun melumittausta varten. (Aures 2.0 käyttöohjeet)

Jännitelähteenä käytetään lyijyakkua tai sähköä. Ääntä vastaanottaa mikrofoni, joka sijaitsee kotelon ulkopuolella (KUVA 4). Äänisignaali siirtyy mikrofoniin mittausalukseen käsiteltäväksi, tämän jälkeen data tallennetaan muistikortille. Muistikortissa oleva data voidaan käyttää tulosten käsittelyyn ja mittauksessa saaduista tuloksista on mahdollista muodostaa raportteja, joissa kuvaillaan työn suoritusta ja mittausten lopputulosta.

Mittausaluksessa sijaitsee koko systeemin tärkein osa, mikrokontrolleri, joka käsittelee mikrofonin tuottaman datan ja lähettää sen muistikortille. Aluksessa on mikrokontrolleri, joka kuuluu alhaiseen tehokulutusryhmään ja jota käytetään erilaisissa elektronisissa sovelluksissa. Sen alhainen sähkökulutus tekee siitä yhden käytetyimmistä mikrokontrollereista. Tästä syystä se sopii hyvin esimerkiksi kannettaviin laitteisiin. Aluksessa on useita erilaisia komponentteja, kuten kondensaattoreita, vastuksia, diodeja, sulakkeita, regulaattoreita, muuntajia, multipleksereitä, kytkimiä, liittimiä ja muistikortinpaikkoja.

Testattava laite Aures 2.0 käyttää ulkokäyttöön tarkoitettua mikrofonia. Se on eristetty pehmusteella ja ohuella metalliputkella, jotka suojaavat mikrofonia ankarissa olosuhteissa kuten tuulelta, sateelta, lumisateelta ja muilta ankarilta olosuhteilta. Tätä mikrofonia voidaan kalibroida männällä poistamalla mikrofonin suojus.

Laitteen mikrofoni on suunniteltu toimivaksi paitsi kylmissä myös kosteissa olosuhteissa esimerkiksi sateisilla alueilla. Sen tarkoituksena on kestää myös hyvin vaihtelevia lämpötiloja. Mikrofoni soveltaa IEC 61672--- CLASS -standardia.

4.2 Käyttö

Melumittareita käytetään äänen ja melun mittaamiseen. Mittareita käytetään erilaisissa olosuhteissa ja niiden avulla saadaan tarkka kuva ympäristön melusta. Melun mittauksessa lähtökohtana on usein tulosten käyttötarkoitus, joka määrittää laitteelle vaatimukset. Näitä melumittauksia varten on kehitetty erilaisia standardeja, joiden avulla mittaukset voidaan suorittaa mahdollisimman tarkasti ja asianmukaisesti.

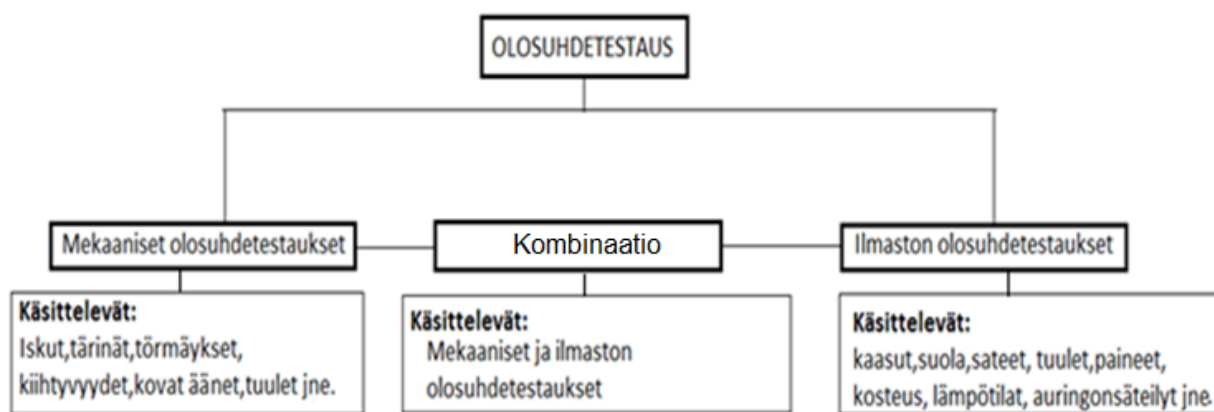
Meluasteen mittaamiseen käytetyt melumittarit luokitellaan eri luokkiin (standardin IEC 61672 mukaan). Kaikista luokista tarkimpaan 0-luokkaan kuuluvat referenssilaboratoriomittarit. 1-luokkaan kuuluvat mittarit, joita käytetään seurantamittauksiin. Tässä työssä käytetty laite kuuluu tähän 1-luokan mittareihin.

5 OLOSUHDETESTAUS

Olosuhdetestauksissa laitetta pyritään testaamaan samanlaisissa olosuhteissa, joissa testattavaa laitetta normaalisti käytetään. Esimerkiksi miten melu-astemittari kestää lämpötilamuutokset ja minkälaisen toimintahäiriön laite saa erilaisissa olosuhteissa kuten sateessa tai ympäristöissä, joissa on sähkömagneettikenttä.

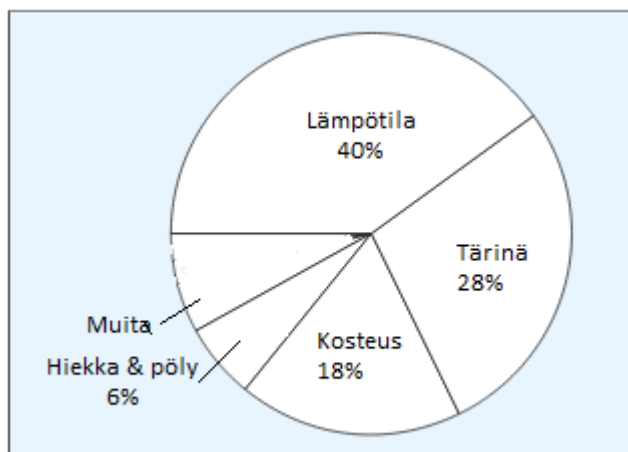
Laitteen arviointi ja toiminnallisuus eivät perustu vain niiden suorituskykyyn, vaan myös seurantaan. Valmistajille ja laitteen käyttäjille on suositeltavaa testata tuote. Testauksen jälkeen saadaan tietoa siitä, missä vaiheessa ongelmat ilmestyvät. Testien jälkeen tiedetään paremmin miten kauan laite tai komponentti pystyy toimimaan ilman häiriöitä. Toisin sanoen saadaan tietoa tuotteen vikaantumisas- teesta ja nähdään suorituskyvyn vaihtelu eri testausolosuhteissa.

Tuotteen valmistuksessa laatu on yleensä ratkaiseva tekijä. Ilmentyvät häiriöt ja ongelmat tuotteen markkinoille tulon jälkeen tuovat suuria jälkikustannuksia ja maineen häviöitä. (Olosuhdetestauksen määrittely 2005)



KUVIO 1. Olosuhdetestausten jako. (Olosuhdetestauksen määrittely 2005)

Olosuhdetestaukset jaetaan kolmeen ryhmään (kuvio 1): mekaaniset olosuhdetestaukset, ilmaston olosuhdetestaukset ja yhdistetyt testaukset. Mekaanisissa olosuhdetestauksissa laiteeseen kohdistetaan ulkoisia mekaanisia kosketuksia mm. iskuja, törmäyksiä, pudotuksia jne. Ilmaston olosuhdetestauksissa laiteeseen vaikutetaan mm. lämpötilamuutoksilla ja kosteudella. Kombinaatiotestaus on yhdistetty testaus, jossa käytetään molempia mekaanisia sekä ilman vaikutuksia.



KUVIO 2. Diagrammi esittää olosuhteiden vaikutusta elektroniisiin laitteisiin ja komponentteihin prosentteina. (Olosuhdetestauksen määrittely 2005)

Olosuhteista eniten vaikutusta on lämpötilalla, tärinällä ja kosteudella (kuvio 2). Näitä testauksia varten on kehitetty erilaisia standardeja kuten IEC ja MIL. IEC standardit ovat tarkoitettu elektronisille laitteille ja komponenteille. IEC 16. julkaisussa on lista olosuhdetestausten perusmenettelyistä. Nämä standardit ovat voimassa pääosin Euroopassa ja Yhdysvalloissa.

Jokaisella tuote- ja komponenttivalmistajalla on omat tavat testata valmistetut tuotteet. Alla on esitetty esimerkki vastuksen testaus standardista IEC-60068-2-1.

Tarkoituksena oli monitoroida vastusten toimintaa kylmässä kaapissa ($-55\pm 3^{\circ}\text{C}$) niin kuin tässä työssä on tarkoitus tehdä myös koko laitteen kanssa. Käyttöjännitteen arvo on 40-45V ja testauksen kesto on 96 tuntia. Testauksen aikana jännitteen arvoa voidaan muuttaa, se ei kuitenkaan saa ylittää maksimi käyttöjännitteen arvoa (max. 50V). Valmistajan datalehden mukaan testaus onnistui ja vastuksessa ei tapahtunut merkittävää muutosta.

IEC 60068-2-1 standardi kattaa testauksia kylmissä olosuhteissa. Standardeja on paljon ja ne ovat tarkoitettu laitteille ja komponenteille joita käytetään ankarissa olosuhteissa. IEC 60721 on standardi joka kattaa muutkin olosuhteet (lämmin, kosteus, tuuli jne.). (Kansainvälinen standardi IEC 60068-2-1, 2007)

TAULUKKO 3. Taulukossa on esitetty lämpötilan vaikutus herkkiin osiin. (Olosuhdetestauksen määrittely 2005)

OLOSUHDE	LAITTEEN OSAT	VAIKUTUS	... -(-40°C)	HERKKIÄ OSIA JA MATERIAALEJA
Alahinen lämpötilahauraus	Metallit	Vahinko	Alhainen lämpötila	Kuutiokiteiset (esim. Cu,Mu) ja Zn,Ti, Mg ja niiden seokset
	Muovit	Vahinko	Alhainen lämpötila & kosteus	Kiteiset korkealla lasituslämpötilalla (esim.selluloosa, vinyyl-kloridi), myös ei-kiteiset, joilla on alhainen juostavuus (esim. styreeni, metyylipolymeeri, urea-
Vuon vapautuminen	Vuon höyrystyminen riippuu lämpötilasta	Häiriö	Alhainen lämpötila	Eryteisesti osat jotka ovat painettu alustaan(esim. kytkimet,liittimet)

Lämpötilan aiheuttamat viat IEC ja MTL standardin mukaan. Yllä mainitussa taulukossa esitetään komponenttien ja laitteiden herkkät osat, joihin alhainen lämpötila vaikuttaa eniten (taulukko 3). Vaikka standardissa on annettu vain pieni osa esimerkeistä, voidaan päätellä että, alhainen lämpötila vaikuttaa kaikkiin osiin, mutta se aiheuttaa enemmän vikoja herkissä kohdissa. (Olosuhdetestauksen määrittely 2005)

6 EMC-TESTAUS

6.1 EMC:n määrittely

Sähkömagneettinen yhteensopivuus (eng. EMC electromagnetic compatibility) tarkoittaa laitteen tai järjestelmän kykyä toimia luotettavasti ja virheettömästi erilaisissa sähkömagneettikentän käyttöympäristöissä.

”EMC- testauksien avulla voidaan testata kaikenlaisia tuotteita ja laitteita mm:

- Radio- ja tietoliikennelaitteet
- Auton elektroniikka
- Lääketieteelliset laitteet
- IT-laitteet
- Kodintuotteet ja kaupalliset tuotteet
- Kotitalousvälineet ja moottorikäyttöiset työkalut (kotitalous ja teollisuus)
- Valonlähteet
- Laboratoriovälineet
- Sähkökäyttöiset työkalut
- Raskaat teollisuustuotteet
- Rakentamisessa tarvittavat työkoneet ja laitteet
- Turvallisuusjärjestelmät ja hälyttimet
- Rautateillä tarvittavat laitteet
- Terveys-, kuntoilu- ja kauneustuotteet” (EMC- testaus 2013)

Elektromagneettiseen yhteensopivuuteen kuuluu pääsääntöisesti kaksi tärkeintä asiaa. Ensimmäinen huolenaihe ovat laitteen päästöt, jotka liittyvät halumattomaan sähkömagneettikentän tuottoon ja sen rajoittamiseen. Toinen ongelma on laitteen koskemattomuus näiden päästöjen vaikutuksessa, eli ”immunitetti” jonka avulla laite pystyy suojelemaan toimintaansa.

Vaikka EMC ongelmat ja päästöt eivät kuulu jokapäiväiseen keskusteluun ja ihmisten huolenaiheisiin kuten esimerkiksi lasten leluihin tai ruokaan verrattuna, silti näiden sähkömagneettikentän yhteensopivuushäiriöiden takia monet valmistajat ovat lopettaneet tuotteidensa myynnin, koska laiteille ei suoritettu tarvittavia EMC- testaukset.

EMC – testauksiin kuuluvat mm:

- Emissio-testaus
- Immunitetti-testaus
- Johtuvat häiriöt (AC ja DC)
- Nopeat transientit/ purskeet
- Syöksyaallot
- Jännitealentavat, vaihtelut ja katkokset
- Sähköstaattinen purkaus
- Verkkotaajuinen magneettikenttä
- Sähköturvallisuus- testausjärjestelmä. (EMC–testausmenetelmät 2014)

CE- merkintää hankittaessa tuotteelle järjestetään muitakin testauksia ja varmistetaan, että laite ei riko turvallisuuskäytösäännöksiä. Melumittausta varten Aures 2.0 laitetta käytetään esim. junaradan vierellä. Junat käyttävät sähköä ja siellä missä on sähköä, on myös sähkömagneettikenttä. Junan kulkiessa ohi, laiteeseen voi kohdistua sähkömagneettisia häiriötä jotka aiheuttavat laitteen toimimattomuutta.

Toiminta ongelmia laitteen kanssa on ilmennyt silloinkin kun laite on ollut käytössä mainituissa ympäristöissä. Esimerkiksi ajoittain SD-korttien toiminta lakkasi häiriötilanteissa. Käyttökokemuksien perusteella ongelman aiheuttajasta ei ole saatu sataprosenttista varmuutta, sillä laite on joskus toiminnut ongelmitta samankaltaisissa toimintaympäristöissä.

Sähkömagneettisäteily voi olla hyvin haastavaa määrittää, sillä se vaikuttaa keinoilla joita on vaikeata havaita. Käyttäjät voivat suorittaa testejä viikkoja tai kuukausia löytämättä virheiden lähteitä, eli ymmärtämättä mistä ongelma johtuu. Kerran kun ongelma on havaittu, ei tarkkaa varmuutta ole saatu, koska elektromagneettiset häiriöt voivat olla vaikea erottaa muista kohinalähteistä. (EMC-testausmenetelmät 2014)

Tämän perusteella on mahdotonta sanoa, että jokaisen testauksen jälkeen pystytään löytämään viat ja ratkaisut, sillä sähkömagneettiset häiriöt voivat olla monimutkaisia ja niiden ongelmaratkaisun ”kaava” ei ole yksinkertainen. Joskus vianetsintä prosessi on hyvin pitkä ja siihen kuuluu erialaisia kokeita. (Elektromagneettiset häiriöt, Herzan 2014).

6.2 Sähkömagneettiset häiriöt

Sähkömagneettiset häiriöt (eng. Electro Magnetic Interference = EMI) aiheuttavat toimintahäiriöitä muille elektronisille laitteille. Nämä häiriöt voivat tulla ihmisten tekemisistä laitteista tai luonnon ilmiöistä kuten auringosta tai maan magneettikentästä. Mutta suurin osa näistä ongelmista aiheutuu magneettikentästä joka syntyy koneista tai elektronisista laitteista.

Sähkömagneettikentän lähteitä voivat olla mm.

- Viestintälaitteet
- Hissit
- Raskaat koneet
- LVI-laitteet ja koneosat
- Magneettikuvauslaitteet (sairaaloissa)
- Radiosignaalit
- Aurinko
- Ajoneuvoliikenne

Nämä häiriöt voivat vaikuttaa mihinkä tahansa sovellukseen tai laitteeseen. Esimerkiksi yleiset laitteet, jotka mittaavat sähköisiä ominaisuuksia kuuluvat puolijohderyhmään. Näillä voidaan tehdä esim. wifi- ja puhelintestauksia. Samankaltaiset laitteet mittaavat pieniä määriä sähkövirtoja. Silloin kun niihin kohdistuu pienikin määrä sähkömagneettisia häiriöitä muista lähteistä, voivat nämä laitteet aiheuttaa häiriöitä ja virheitä mittauksissa. Tapauksissa joissa sähkömagneettikentän häiriöt ovat muuttuvia, häiriöt voivat huonontaa mittausten toistuvuutta.

Toiseen laitteistoryhmään joka on hyvin herkkä magneettikenttähäiriöille kuuluvat laitteet jotka itse käyttävät sähkömagneettikenttää niiden tunnistusjärjestelmässä. Yleisin järjestelmä on magneettikuvaus, joka on lääketieteellinen kuvantamismenetelmä, joka perustuu ydinmagneettiseen resonanssiin. Samaan ryhmään kuuluvat myös elektronimikroskoopit: skannauselektronimikroskooppi (eng. scanning electron microscopy = SEM) ja voimasiirtomikroskooppi (eng. transmission electron microscopy = TEM). Siitä syystä että näiden systeemien olennainen toiminta perustuu elektronien liikkumiseen, magneettikentän vaikutus voi tuottaa ongelmia oikean laitteen toimintaan.

Niin kuin muiden häirintälähteiden kanssa, paras ratkaisu on: ”löydä vika ja korjaa se!”. Eli, jos mahdollista, sähkömagneettikentän lähde pitää sammuttaa heti tai ainakin yrittää vähentää sen elektromagneettista emissiota. Jos tämä ei ole mahdollista lähde pitää siirtää kauas laitteesta tai laite on sijoitettava tarpeeksi kauas sähkömagneettikentästä. Silloin kun on välttämätöntä sijoittaa laite sähkömagneettikentän läheisyyteen, EMI (eng. Electro Magnetic Interference) olisi hyvä eristää laite ympäristöstä. Tämä voidaan tehdä maadoittamalla oikein, rakentamalla Faradayn häkki laitteen ympärille tai asettamalla emission aiheuttaja eristyshuoneeseen.

Jos nämä ratkaisut eivät toimi, aktiivinen EMI-kumoamissysteemi voidaan ottaa käyttöön. EMI-kumoamissysteemi tuntee sähkömagneettisen kentän, joka tulee laitteeseen ja se pystyy tuottamaan vastakentän joka peruuttaa tulevat häiriöt. Tämä systeemi on paras mahdollinen suoja sähkömagneettikenttähäiriöitä vastaan. (Elektromagneettiset häiriöt, Herzan 2014).

TAULUKKO 4. Taulukossa on esitettyä sähkömagneettisten kenttien lähteitä. (Säteilylähteet ja altistuminen 2004)

Lähde ja Taajuusalue	Tyypillinen teho, jännite tai virta	Käyttötarkoitus	Suurimpia altistumisarvoja
Voimajohdot 50Hz ja yliaallot	600 – 1000 A 110 – 400 kV	Sähkönsiirto	1m korkeudella maasta: Johdon alla 2-10 kV/m ja 0,1-1,3μT
Kiinteistömuuntamo 50Hz ja yliaallot	500 A	Sähkön jakelu	asunnon lattian rajassa 100 - 200μT
Sähköjunat 50Hz ja yliaallot	10 – 30 kV	Joukkoliikenne	Työntekijät: 10 - 800 μT Matkustajat: 1 - 65 μT
Valokaariuuni 50Hz ja yliaallot	50 MW	Metallin sulatus	Muutaman metrin etäisyydellä elektrodista 1 – 5 mT

Tuotesuojaportti 100Hz – 100 kHz	-	Varkauden esto	Porttien välissä 40 – 140 μ T
Magneettikuvauslaite 0-127MHz	-	Diagnostiikka	Potilas: 0,2 – 3T
Suurtaajuuskuumennin 13,5MHz – 27MHz	10 – 250 kW 3 – 15 kW	Liimankuivaus, muovinsauma	Tehollisarvo 140V/m
Keskipitkäaaltoasema 0,525 – 1,6MHz	600 kW	Yleisradiolähetys	90 V/m 45 metrin etäisyydel- lä
Lyhytaaltoasema 5,95 – 26,1 MHz	500 kW	Yleisradiolähetys	2m korkeudella maasta: 0,16A/m
ULA – asema 87 – 108 MHz	10 – 50 kW	Yleisradiolähetys	Antennin sisällä 20-60W/m ²
TV – asema 174 – 790MHz	1 – 50 kW	TV - lähetys	Antennin sisällä 20-40W/m ²
Langattomat verkot	Sovelluksesta riippu- en	Langaton tiedon- siirto	-
Matkapuhelimen tukiasema 925 – 2170 MHz	5 – 30 W	Viestintä	Pääkeilassa antennin (20W) etupuolella 10 metrin päässä 1W/m ²
Matkapuhelin 880 – 1980 MHz	0,125 – 0,25 W	Viestintä	Päässä 0,5 – 2W/kg
Mikroaaltouuni 2450 MHz	1500 W	Ruoan lämmitys	Puolen metrin etäisyydellä alle 1W/m ²
Tutka 0,15 – 15 GHz	1 kW	Ilma- ja merival- vonta, meteorologia	Alle 10m etäisyydellä anten- nin edessä 500W/m ²

Rautatieliikenne aiheuttaa monimuotoisen sähkömagneettisen kenttäympäristön käytettävistä menetelmistä riippuen (taulukko 4). "Rautateiden sähköistäminen aloitettiin Suomessa 1960-luvun loppupuolella. Sähköistettyjen rataosuuksien pituus Suomessa on noin 2 000 km, ja rautateillä on liikenteessä yli 100 sähköveturia ja lähiliikenteessä on lähes saman verran sähkömoottorijunia (Sm-junia). Sähkökantaverkosta otettava suurjännite (110 kV/50 Hz) muunnetaan rautateiden syöttö- asemilla 25 kV jännitteeksi, joka siirretään sähköradan ajojohtimiin. Sähköveturin ja sähkömoottorijunan ajomoottorien virta vaihtelee välillä 300–600 A ajettaessa eri nopeuksilla. Kiihdytyksen aikana moottorivirta on lähes 1 000 A." (Säteilylähteet ja altistuminen 2004)

6.3 EMC-direktiivi

Sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevalla EMC- direktiivillä 2004/108/EY säilytetään tavoitteet, jotka takaavat laitteiden vapaan liikkuvuuden ja luovat hyväksyttävän sähkömagneettisen ympäristön yhteisön alueella.



KUVA 5. Laitteiden aiheuttamat sähkömagneettikentät. (Laitteiden aiheuttamat sähkömagneettikentät)

Kaikki elektroniset laitteet aiheuttavat sähkömagneettikenttää niiden ympärillä (kuva 5), ne voivat myös häiritä toisen laitteen toimintaa.

EMC- direktiivin päätavoite on säännellä laitteistojen sähkömagneettista yhteensopivuutta. Sen tavoitteen saavuttamiseksi on laadittu seuraavat säännöt:

1. Soveltamisala mahdollistaa sen, että valmistajat tai muut tahot voivat nopeasti päättää, kuuluuko heidän laitteistonsa EMC- direktiivin soveltamisalaan, ja jos se kuuluu, onko kyseessä laite vai kiinteä asennus.
2. Olennaiset vaatimukset sisältävät katsauksen pakollisiin vaatimuksiin.
3. Laitteiden vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely antaa tietoa seuraavista asioista: normaalit EMC arvioinnin vaiheet; tiedottamis- ja asiakirjavaatimukset; EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus ja CE- merkintä. Tarkempaa opastusta annetaan EMC- arvioinnille, jossa yhdenmukaistettuja standardeja ei käytetä tai ne eivät kata kaikkia suojausvaatimuksia.
4. Menettelyt kiinteille asennuksille antavat tietoa kiinteille asennuksille tarvittavista olennaisista vaatimuksista ja asiakirjoista, mukaan lukien erityisesti tiettyyn kiinteään asennukseen sijoitettavan laitteen käyttö.
5. EMC- direktiivin toimeenpano liittyy kansallisten toimivaltaisten viranomaisten velvollisuuksiin varmistaa vain vaatimukset täyttävien laitteiden käyttö yhteisössä
6. On ilmoitettava tarkastuslaitokset, niiden roolit, valinnat, koordinoinnit ja valitusten käsitteilyt.” (EMC- direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas)

Mainittu opas (EMC- direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas) on hyvin looginen ja se sopii käyttäjille, jotka haluavat varmistaa että laitteet täyttävät EMC – direktiivin säännöt.

Direktiivin soveltamisoppaassa sanottiin, että komponentin ja laitteiden käyttöohjeissa pitää olla saatavilla kaikki tarpeelliset tiedot.

Tässä direktiivissä on mainittu myös säännöt, jotka kattavat kaikki havaintoesimerkit joihin kuuluvat mm:

- ”sähkö- ja elektroniikkakomponentit, jotka ovat virtapiirin osia
- vastukset, kondensaattorit, induktiokelat, suodattimet
- diodit, transistorit, tyristorit, triacit
- integroidut piirit
- yksinkertaiset sähkömagneettiset releet
- valodiodit
- yksinkertaiset termostaatit
- kuvaputket.” (EMC- direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas)

EMC direktiivissä mainittiin, että EMC- arviointi on yksinomaan valmistajan vastuulla. Valmistaja on vastuussa lopullisen laitteen vaatimustenmukaisuudesta.

”EMC- direktiivissä asetetaan pakollisia ”olennaisia vaatimuksia”, jotka on muotoiltu yleisesti kaikille sen soveltamisalaan kuuluville laitteistoille (laitteille ja kiinteille asennuksille).

Olennaisten vaatimusten täytyminen on pakollista. Ne sitovat juridisesti kaikkia EMC- direktiivin soveltamisalan piiriin kuuluvia laitteistoja. Ainoastaan vaatimukset täyttäviä laitteistoja saa yhteisön alueella saattaa markkinoille ja/tai ottaa käyttöön.

EMC- direktiivi ei sisällä lisävaatimuksia (esimerkiksi tuotteen laatua koskevia).”

(EMC- direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas)

6.4 Sähkömagneettikentän vaikutus laitteisiin

Sähkö- ja elektroniikkalaitteet vaikuttavat toisiinsa, kun ne ovat yhdistettyinä toistensa kanssa tai sijoitettuina toistensa läheisyyteen. Tätä häirintää voi tapahtua esimerkiksi television lähellä olevan toisen koneen vaikka pesukoneen toiminnassa. EMC:n vaatimukset on suunniteltu pitämään nämä häiriöt ja vaikutukset hallinnassa. Samalla tavalla autoissakin on elektronisista osia, jotka voivat aiheuttaa toisille laitteille teknisen vian. Sen takia on hyvin tärkeää arvioida näiden järjestelmien laatua ja toimintaturvallisuutta EMC- ohjesääntöjen avulla. (Sähkömagneettikentän yhteensopivuus 2013)

EMC- standardit on kansainvälisesti kehitetty kahta tarkoitusta varten. Ensinnäkin ne säätelevät laitteen osien elektromagneettisia päästöjä, ja toiseksi ne turvaavat laitteen vastustuskykyä elektromagneettiselle häirinnälle. Jokaisen valmistajan on välttämätöntä tietää, onko käytössä oleva tuote yhteensopiva muiden sähkölaitteiden kanssa. Yhteensopivuuden varmistamiseksi hallitukset ovat tuoneet markkinoille EMC- standardit ja toimintaohjeet. Sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) koskevan direktiivin–2004/108/EY avulla turvataan, että sähkö- ja elektroniikkalaitteet tuottavat vain rajoitetun määrän radiotaajuista häiriötä niin, että se ei vaikuta muihin laitteisiin.

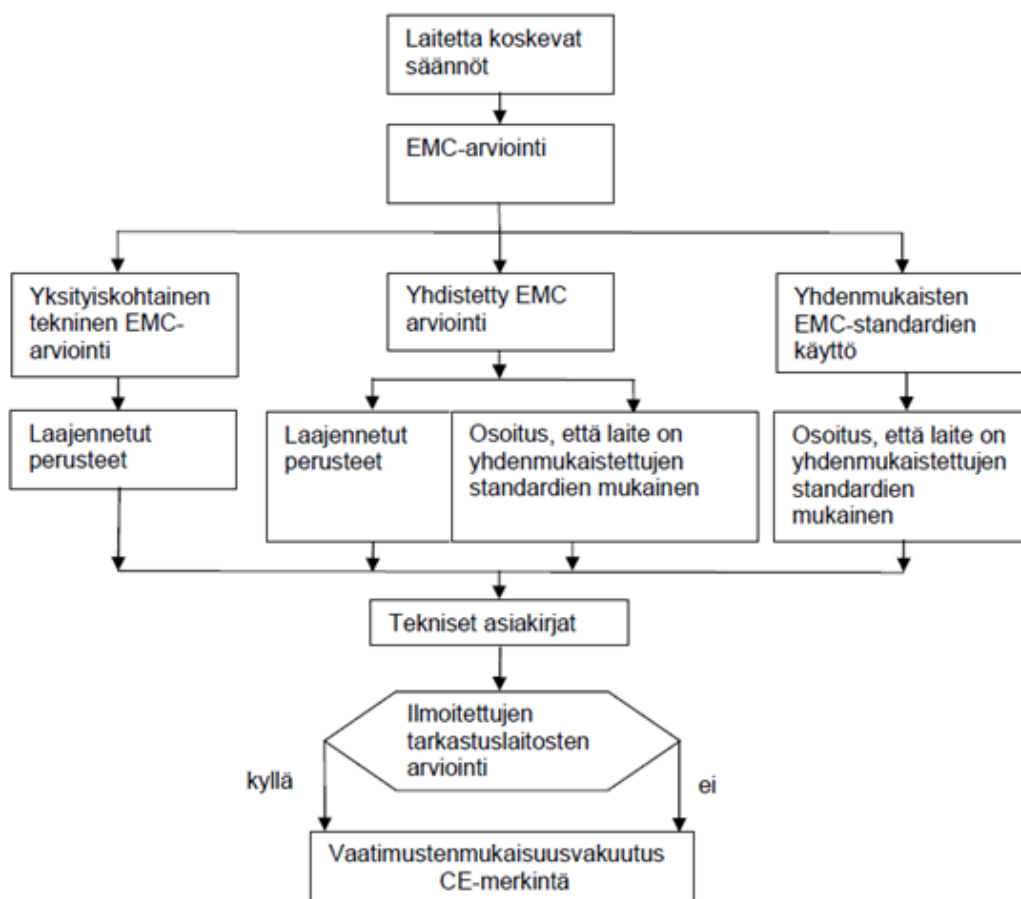
Käytännössä kaikki sähköllä toimivat laitteet vaikuttavat toisiinsa jos ne asetetaan lähekkäin.

(Sähkömagneettinen yhteensopivuus, EU- komissio 2014)

6.5 EMC-testaukset ja CE-merkintä

“Valmis laite on mikä tahansa laite tai yksikkö, joka suorittaa tietyn tehtävän ja jolla on oma laitekotelo. Valmistajaa pidetään EMC- direktiivissä tarkoitettuna laitteena, jos se on tarkoitettu loppukäyttäjälle, jolloin sen on täytettävä kaikki direktiivin säännökset. Jos valmis laite on tarkoitettu vain teollisuuskokoonpanoihin sijoitettavaksi muihin laitteisiin, se ei ole EMC- direktiivin tarkoittama laite eikä direktiivi näin ollen koske sitä” (EMC- direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas)

EMC (eng. Electro Magnetic Compatibility) ovat kokeita, joiden avulla testataan tuotteen sähkömagneettista yhteensopivuutta. Kokeissa saadaan selville miten sähkömagneettikenttä vaikuttaa tuotteeseen, esim. tässä projektissa tuotetta testattiin Savonia AMK:n EMC laboratoriossa. Toisin sanoen näiden testien jälkeen voidaan muodostaa tarkempi kuva siitä, kuinka laite suoriutuu ympäristöissä joissa sähkömagneettikentän voimakkuus vaihtelee. (Testattavuuden suunnittelu 2014)



KUVIO 3. Laitteiden vaatimustenmukaisuuden menettely. (EMC- direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas)

Jotta testattava laite läpäisisi kaikki EMC vaatimukset, sen pitää käydä läpi kaikki yllämainitut arvioinnit (kuvio 3). Sen jälkeen EMC- direktiivin mukaan valmistajan on laadittava tekniset asiakirjat, jotka osoittavat laitteen olevan suojausvaatimusten mukainen. Asiakirjat sisältävät osoituksen siitä, että laite on asianmukaisten yhdenmukaistettujen standardien mukainen, tai jos yhdenmukaistettuja standardeja ei käytetä tai niitä käytetään vain osittain, osoituksen siitä, että laite on yksityiskohtaisten teknisten perusteiden mukainen. Valmistajan on ryhdyttävä kaikkiin toimenpiteisiin sen varmis-

tamiseksi, että laite on valmistettu teknisten asiakirjojen mukaisesti. Tällöin varmistetaan uuden tuotteen yhteensopivuutta muiden laitteiden kanssa esim. Bluetooth yhteys kahden laitteen kanssa. (EMC- direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas)

7 TESTAUSTEN TULOKSET

7.1 Testaussuunnitelma

Testaussuunnitelma on hyvä lähtökohta lähteä suorittamaan testausta. Jos tuote on testattu puutteellisesti se voi aiheuttaa ylimääräistä korjaustyötä ja voi viedä paljon aikaa vain ongelman syyn löytämiseen. Hyvä testausmenetelmä sisältää kaikki osa-alueet testaussuunnittelusta tulosten hyödyntämiseen asti. Kattava testausjärjestelmä mahdollistaa tehokkaamman kehitystyön ja varmistaa tuotteen toiminnan. (Elektroniikan tuotantotestaus 2008)

Ennen kuin testejä aloitettiin, laadittiin testaussuunnitelma jonka avulla suoritettiin testit määrätyn ajan ja halutulla tavalla. Testaus-suunnitelma sisälsi selostuksen miten olosuhde- ja EMC- testaus suoritettiin, merkittiin testauksen kesto, lämpötilan arvot, lämpötilan muutosnopeus, sähkömagneettikentän voimakkuudet ja aikavälit. On tärkeää, että tuotetestauksissa on käytössä yhtenäinen testaussuunnitelma jonka avulla työt helpottuvat. Näin projektiin osallistuvat henkilöt sekä projektista kiinnostuneet pystyvät seuraamaan itse projektin ja testausprosessin etenemistä. (Elektroniikan tuotantotestaus 2008)

7.2 Olosuhdetestauksen ympäristö

Olosuhdetestaus selvittää tuotteen, pintakäsittelyn ja materiaalin luotettavuutta ja soveltuvuutta erilaisissa olosuhteissa, säätestauslaitteilla ja kenttäkokeilla.

Muuttuvia parametreja ovat lämpötila, kosteus, UV-säteily ja sadetus.

- Kuuma-, kylmä-, kosteus-, korroosio- ja UV-rasituskokeet
- Lämpötila-alue -40 °C - +180 °C
- Kosteusalue 10 % - 100 %
- Testaustilan mitat (l*s*k) 800 x 800 x 950 mm. (Savonia AMK:n nettisivut)



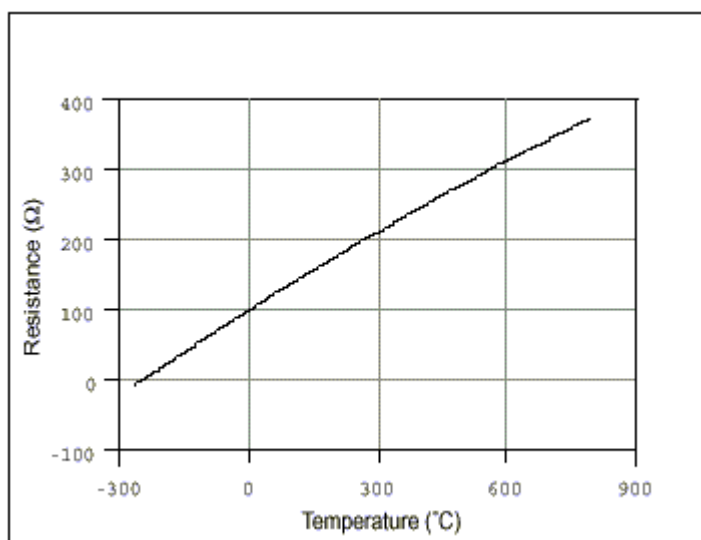
KUVA 6. Kylmäkaappi Savonia AMK:n tiloissa. (Meholli 2014)

Olosuhdetestaukset suoritettiin Savonia AMK tiloissa Technopoliksella. Kylmäkaappina käytettiin Vötsch Industrietechnik VC 4034 (kuva 9), joka on suunniteltu testaamaan erilaisia elektronisia laitteita ja komponentteja. Kaapin lämpötilarajat ovat (-40 °C)- 180 °C ja kaapille voidaan laatia ramppeja, joiden avulla suoritetaan lämpötilavaihteluja tarpeen mukaan.

TAULUKKO 5. Olosuhdetestauskaapin ominaisuudet ovat esitetty taulukossa. (Voetch olosuhdetestauskaappi)

Lämpötila-alue: (-40 °C) – (+180 °C)
Kosteusalue: 10 – 98 % rh
Kastepiste: (-3 °C) – (+94 °C)
Testaustilan tilavuus: 335 litraa
Sähkökytkentä: 400V 3/N 50Hz
Lämpötilan mittaus: Pt100
Kosteuden mittaus: Psykrometrilla
Testaustilan mitat: W580*D765x*H750mm
Ulkomitat: W865*D1595*H1780mm

Kaappi käyttää platinavastus lämpötila-anturia (RTD) Pt100 jolla on tyypillinen 100 Ω 0°C (jota kutsutaan nimellä Pt100). Vastuksen arvo muuttuu samaan aikaan lämpötilan kanssa seuraamalla nousevaa reunaa (vastus kasvaa silloin kun lämpötila laskee).

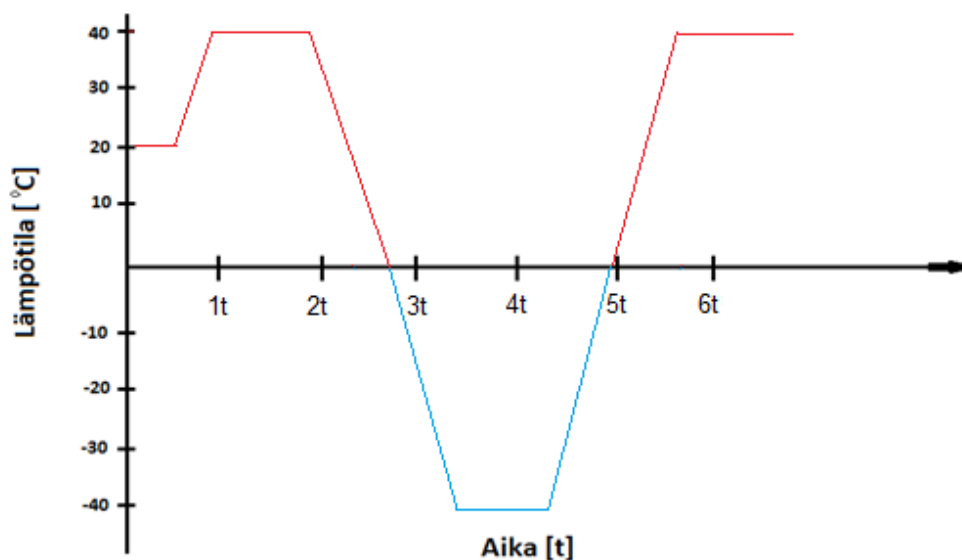


KUVIO 4. Vastus ja lämpötila ovat lineaarisia. (Vastuslämpötila-anturi, 2014)

Nämä lämpötila-anturit ovat olleet käytössä useamman vuoden ajan laboratorioissa ja teollisuudessa. Ne ovat tunnettuja tarkkuudesta, toistettavuudesta ja vakaudesta. Anturi voi mitata lämpötiloja jotka kasvavat jopa 850 °C:n asti. (Vastuslämpötila-anturi 2014)

Olosuhdetestausta suoritettiin Savonia Ammattikorkeakoulun laboratorioissa. Kaapin lämpötilamuutoskerroin on noin yksi aste per minuutti. Olosuhdetestauksen kulku:

1. Laite käynnistettiin mittaamista varten laitteen ollessa kylmässä kaapissa.
2. Alkulämpötilana käytettiin huonelämpötilaa
3. Kaappi saavutti määrätyn maksimi lämpötilan [$+40\text{ °C}$] noin kahdessakymmenessä minuutissa ja sen jälkeen pysyi tunnin ajan samassa lämpötilassa.
4. Puolen tunnin jälkeen lämpötila putosi tasaisesti, noin aste per minuutti
5. Noin tunnin päästä kaapin lämpötila oli [-40 °C] ja se pysyi tunnin ajan samassa lämpötilassa.
6. Testaus kesti 5-6 tuntia



KUVIO 5. Kuvassa on esitetty lämpötilan muutos kylmässä kaapissa. (Meholli 2014)



KUVA 7. Aures 2.0 Kaapin sisällä olosuhdetestauksen aikana. (Meholli 2014)

Melulähteenä käytetään kaapin toiminnasta aiheutuvaa hurinaa. Testauksen jälkeen SD- korttiin tallennettu dataa puretaan ja tulokset analysoidaan tietokoneohjelmalla nimeltä Audacity 2.0.5.

7.3 EMC-Testauksen ympäristö

Kuopion Technopoliksella toimiva EMC-laboratorio palvelee sähkö- ja elektroniikkateollisuuden tuotekehitysyrityksiä ja myös muiden toimialojen yrityksiä, jotka integroivat sähköisiä moduuleja tai elektroniikkaa omiin tuotteisiinsa.

”Laboratoriomme pääasialliset palvelut:

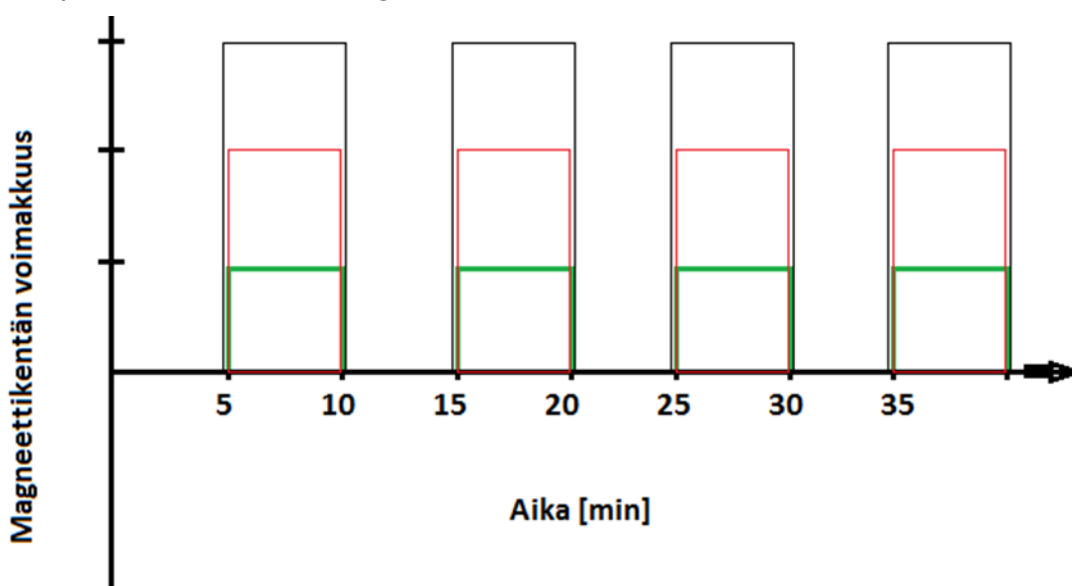
- CE-merkintään tarvittavat testauspalvelut
- Prototyypin valmistus
- Nykyaikaiset tuotekehityslaboratoriot
- Konsultointi
- Materiaalitekniset tutkimukset ja kuvantamispalvelut
- Teollinen muotoilu”. (Savonia AMK:n nettisivut)

Laboratorion testauspaikkana säteilevien häiriöiden päästömittauksissa käytetään suojattua puoli-vaimennettua huonetta, jonka pituus on 9 m, leveys 6 m ja korkeus 5,9 m. Huoneen painorajoitus on 1500 kg. Lisäksi laboratoriossa on suojattu huone johtuvien häiriöiden testauksia varten. EMC-laboratorion pääasiallisia palveluita ovat tuotteiden vaatimustenmukaisuusvaatimusten selvittäminen sekä tuotteiden vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi tarvittavat EMC- testit EU-talousalueella (CE- merkintä) seuraavien direktiivien mukaisesti:

- EMC- direktiivi
- Radio- ja telepätelaitedirektiivi (R&TTE)
- Ajoneuvojen (ESA) EMC - direktiivi
- Lääkelaitedirektiivi. (Savonia AMK nettisivut)

Testauksen suorittaminen:

1. Testattava laite ja akku antennin keskellä
2. Tasa-äänilähde (radion kohina) päällä ja melumittari käynnistettiin mittaamista varten.
3. Testaus tehtiin syöttämällä viiden minuutin välein sähkömagneettikenttä laitteeseen
4. Testaus suoritettiin tunnin ajan samalla magneettikenttävoimakkuudella.
5. Käytettiin kolmea erilaista magneettikentän voimakkuutta.



KUVIO 6. Testausta suoritetaan kolmessa eri tasossa. (Meholli 2014)

Testaus suoritettiin Savoina AMK: ssa eristetyssä huoneessa. Yllä olevassa kuvassa on esitettyinä kolme erilaista magneettikentän voimakkuutta joiden avulla laitetta testataan. Yhtä voimakkuutta käytetään yhdessä testissä eli niitä voimakkuuksia ei vaihdella saman testin aikana. Testeihin meni 4 tuntia.



KUVA 8. Aures 2.0 laitettiin antennin keskellä testauksen aikana. (Meholli 2014)

7.4 Komponenttien lämpötilavaatimukset

Ennen testausten aloittamista käytiin läpi laitteeseen kuuluvat komponentit tarkistamalla niiden valmistajien sivuilta täyttävätkö kaikki komponentit lämpötila vaatimukset ja sähkömagneettikentän yhteensopivuuden säännöt. Tuotteen kaikkien komponenttien tulee toimia virheettömästi ääriolosuhteissa. Laitteen toimintaympäristön lämpötila voi vaihdella suuresti. Laitteen toimintaympäristön lämpötila voi maksimissaan laskea jopa $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai nousta jopa $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Tässä projektissa kuitenkin keskitytään pakkasen vaikutukseen laitteen toimintaan. Laitteen pääkäyttöalue tällä hetkellä on Pohjoismaat joissa lämpötila harvoin nouse yli $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Komponenttien maksimi käyttölämpötilalla tässä projektissa ei ole suurta merkitystä. Tarkistamalla kaikkien laitteen komponenttien lämpötilavaatimukset laadittiin taulukko johon on merkitty yleisesti ottaen laitteen komponentit ja yllämainitut vaatimukset.

TAULUKKO 6. Komponenttien lämpötilavaatimukset. (Meholli 2014)

Komponentti	Lämpötila vaatimukset[$(-40^{\circ}) - (40^{\circ})$]
Kondensaattorit	✓
Vastukset	✓
Diodit	✓
Sulakkeet	✓

Kelat	✓
Ledit	✓
Jumperit	✓
Mikrofoni	x
Mikrokontrolleri	✓
Regulaattorit	✓
Muunnattajat (AD/DA)	✓
Multiplekserit	✓
Kytkimet	✓
Vahvistimet	✓
Liittimet	x
SD - korttipaikka	✓

Komponentit on esitetty yleisnimellä johtuen sovituista salassapitosopimuksista APL:n kanssa. Taulukossa vihreällä merkityt komponentit ovat läpäisseet lämpötilavaatimukset ja punaisella sen sijaan eivät. Tutkimus on tehty erikseen jokaisesta komponentista ja tiedot on saatu vastaavan valmistajan datalehddestä.

Punaisella merkityt komponentit eivät täyttäneet lämpötilavaatimuksia. Kyseiset komponentit ovat suunniteltu toimivaksi pakkasasteissa, mutta kuitenkin Suomessa lämpötilat talvella voivat mennä jopa alle (-40 °C) mutta niiden käyttölämpötila raja oli (-25 °C) - (85 °C). Eli ero on suuri kun huomataan että yksi – kaksi astetta voi merkitä paljon kun kyseessä on herkkä laitteen osa. Datalehdessä varastointilämpötilaksi oli merkattu (-50 °C), mutta toimintalämpötilan alaraja on -40 °C.

Taulukossa on esitetty yleisesti kaikki laitteen komponentit ja siihen on merkitty lämpötilavaatimusten täytyminen. Jotkut liittimet eivät täyttäneet lämpövaatimuksia sillä ne oli suunniteltu olosuhtiin (-25 °C) - (85 °C). Liittimet jotka liitävät johtoja ja muita aluksia toisille aluksille tunnetaan nimellä levyjohtoliitin (eng. wire to board connector).



KUVA 9. Liitin (eng. Head connector). (yleinen kuva liittimestä, google)

Sen suoja on valmistettu polybutyleenitereftalaatista (PBT), joka kuuluu polyesteriperheeseen ja on 30% lasikuidulla täytetty. Itse liittimet (piikit) on valmistettu messingistä (kuparin ja sinkin seos) ja kullatusta nikkelistä. Eli piikit on rakennettu metalleista ja metallit tunnetaan lämpölaajenemisilmiöstä joka tarkoittaa sitä että niiden tilavuus pienenee tai vastaavasti kasvaa lämpötilan muutoksesta johtuen. Lämpölaajeneminen voi johtaa siihen että liitin ei toimi kunnolla sillä kylmässä lämpötilassa metallit kutistuu, sen jälkeen piikit eivät kunnolla koske toisen liittimen päätä ja näin se voi aiheuttaa liitosongelman. Silloin kun laite on päällä kylmissä olosuhteissa liittimet luonnollisesti lämpenevät virran kulusta johtuen, mutta silloin kun laite lakkaa toimimasta esim. akusta ei tule virtaa enää, siinä tapauksessa lämpö joka on jäänyt laitteen sisälle tai mainittuun liittimen läheisyydelle voi muuttua kosteudeksi kylmän ilman kontaktista johtuen.

7.5 Muut huomautukset

7.5.1 Mikrofoni

Tutkimuksen aikana käytiin läpi kaikkien komponenttien lämpötilavaatimukset ja huomattiin että laitteeseen integroitu mikrofoni ylittää halutut lämpöraajakset. Sen käyttölämpötilasuositus on merkitty olevan (-30 °C) – 80 °C. Eli ero on suuri kun otetaan huomioon että yksi – kaksi astetta voi merkitä paljon kun kyseessä on herkkä laitteen osa. Datalehdessä varastointilämpötilaksi oli merkattu (-50 °C), mutta alin käyttölämpötila on -30 °C.

TAULUKKO 7. Ulkokäyttömikrofonin tekniset tiedot. (S.lähde)

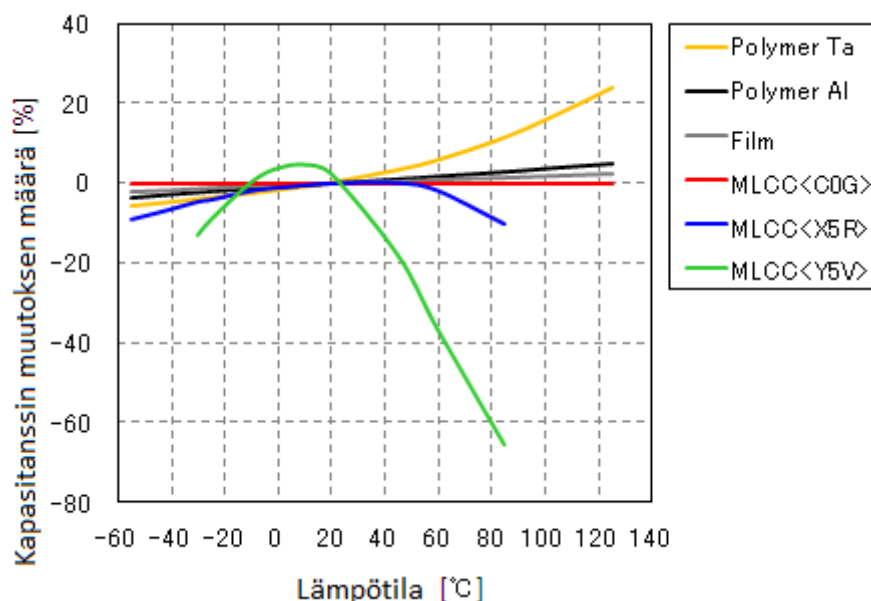
Ulkokäyttömikrofoni (X- malli)	
<i>Herkkyyys</i>	40mV/Pa - 50mV/Pa
<i>Halkaisija</i>	10mm-20mm
<i>Taajuusvaste</i>	20Hz – 20kHz
<i>Dynaaminen alue</i>	18 – 130 dB
<i>Polarisaatiojännite</i>	0 V
<i>Virtalähde</i>	4mA

Mikrofoni soveltaa IEC 61672 CLASS standardia ja se on tutkitusti luotettava, mutta ainut ongelman sen käytön suhteen on se, että mikrofonin toimivuuteen ei voida enää luottaa jos ilman lämpötila vaihtelee nopeasti aiheuttaen kosteusmuutoksia tai käy alle mainitun lämpötila- arvon. Mikrofoni voi olla hyvin herkkä myös sähkömagneettikentän vaikutuksille. (Mikrofonit 2013)

7.5.2 Kondensaattorit yleensä

Työn aikana kävi ilmi että kaikista komponenteista kondensaattorit ovat sensitiivisimpiä kylmissä olosuhteissa. Joissakin komponenteissa niiden arvo muuttuu lämpötilan vaikutuksesta. Laitteessa on

suuri määrä kondensaattoreita, vastuksia, liitimiä ja regulaattoreita. Lämpötilan vaikutus riippuu myös komponentin ominaisuuksista ja rakenteesta.



KUVIO 7. Kuvassa on esitetty erilaiset kondensaattorit ja niiden kapasitanssin muutos. (Capacitance change rate 2012)

Yksi esimerkki lämpötilan vaikutuksesta on esitetty kuvassa numero 15 jossa on erilaisista materiaaleista valmistetut kondensaattorit ja kuvasta nähdään selvästi miten paljon vaikutusta lämpötilalla on esim. MLCC<Y5V> kondensaattoriin jonka rakenne on keraaminen ja monikerroksinen. Lämpötilan vaikutus kapasitanssiin muutokseen on mitätöntä esimerkiksi kondensaattorissa jonka rakenne on polymeeriseosta.

7.5.3 Junan aiheuttama sähkömagneettikenttä

”Säteilylähteet ja altistuminen” raportissa todettiin että rautatieliikenne aiheuttaa monimuotoisen sähkömagneettisen kentän. Tutkimuksessa oli käynyt ilmi että useimmissa Euroopan maissa nimelistajuus on 50 Hz, mutta esim. Ruotsissa ja Norjassa junat toimivat 16 2/3 Hz taajuudella ja Italiassa tasavirtaa (DC) käyttäen. ”Rautateiden sähköistäminen aloitettiin Suomessa 1960-luvun loppupuolella. Sähköistettyjen rataosuuksien pituus Suomessa on noin 2 000 km, ja rautateillä on liikenteessä yli 100 sähköveturia ja lähiliikenteessä on lähes saman verran sähkömoottorijunia (Sm-junia). Sähkökantaverkosta otettava suurjännite (110 kV/50 Hz) muunnetaan rautateiden syöttö- asemilla 25 kV jännitteeksi, joka siirretään sähköradan ajojohtimiin. Sähköveturin ja sähkömoottorijunan ajomoottorien virta vaihtelee välillä 300–600 A ajettaessa eri nopeuksilla. Kiihdytyksen aikana moottorivirta on lähes 1 000 A”. (Säteilylähteet ja altistuminen 2008)

TAULUKKO 8. Taulukossa on esitetty magneettivuon junassa. (Säteilylähteet ja altistuminen 2008)

Mittauspaikka	Mittauskohta ja -tilanne	Magneettivuon tiheys, $\mu\text{T (rms)}$
Ohjaamo	joutokäynti	0,3–0,4
	tasainen ajo	1,1–3,6
	kiihdytys, välikäytävän ovella	7–40
Ohjaamojen välikäytävä	tasainen ajo, 1 m korkeudella	6–260
	tasainen ajo, 20 cm korkeudella	70–800
	joutokäynti, eri korkeuksilla	0,2–130

Eli kuten taulukosta nähdään junan sisällä ja sen ympärillä on sähkömagneettista kenttää. Toisessa junan sähkömagneettikentän voimakkuudesta tehdystä tutkimuksesta kävi ilmi että junan lähellä ja ympäristössä sähkömagneettisen kentän voimakkuudet ovat suurempia kuin osattiin olettaa. Tutkimuksen suorittivat Halgumuge, Abeyrathne ja Mandis. Tutkimuksessa he huomasivat myös, että junan kulkiessa tunnelin läpi, tunnelin kattolamput saattoivat rikkoutua. Tämä tapaus esimerkkinä joka on hyvin samanlainen työmme kanssa. Tiedot tästä tutkimuksesta on saatu " MEASUREMENT AND ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS FROM TRAMS, TRAINS AND HYBRID CARS" raportista. Yleensä sähkömagneettikentän voimakkuus junan sisällä ja ulkona on noin 10mG. Mainittu arvo vastaa hyvin suorittamiemme testauksia, sillä testaus suoritettiin juuri samoilla arvoilla. Testauksen aikana ylitettiin annetut arvot tarkoituksellisesti, koska haluttiin nähdä minkälaista muutosta laitteen käytössä tapahtuu.

7.5.4 Kotelon eristys

Kotelo on alumiiniseosta, joka on harmaaksi pulverimaalattu. Sen tilavuus on 25cm*17cm*11cm ja siihen on asennettu ruuvipidikkeet, joilla laite pystytään ripustamaan haluttuun paikkaan kuten: puuhun, seinään tai vaikka metallitankoon. Kotelon ulkopuolella on: kaksi lediä, virtakytkin, mittauksen käynnistys- ja lopetuskytkin, virtasyöttö ja mikrofoni aukko.

Yksinkertaisesti suoritettussa kokeessa huomattiin että lämmin- ja kylmäilma pääsevät helposti koteloon sisälle. Testi suoritettiin yksinkertaisesti föönin puhalluksella ja laite ulos kylmään ilmaan. Testaus suoritettiin ensin mittaamalla lämpötilan Arduino- lämpömittarilla joka on hyvin herkkä tunnistamaan lämpömuutoksia. Sitten laitettiin kotelo kiinni ja föönillä puhallettiin kuumaa ilmaa kotelon ympärillä noin kolmen- viiden minuutin ajan. Lämpömuutokset olivat selviä ja sen perusteella huomattiin, että kotelon eristyksessä voi olla ongelma. Sama tapahtui laitteen joutuessa kylmään ilmaan ulkona. Kylmä ilma pääsee helposti sisään ja se on ongelma jos tuotetta käytetään kylmissä olosuhteissa saati sitten ankarissa olosuhteissa.

8 YHTEENVETO JA KEHITTÄMISSUOSITUKSET

Työn tavoitteena oli testata melumittaria. Tuotetestaus on tärkeä kaikille tuotteille ja laitteille, sillä testausten avulla saadaan enemmän tietoa, onnistuiko tuotteen toiminta niin kuin oli tarkoituksena. Tässä työssä suoritettiin EMC- ja olosuhdetestaukset.

Työn alussa tarkistettiin, täyttivätkö laitteen komponentit lämpötilavaatimukset. Lisäksi tutkittiin yleiset tiedot yhteensopivuudesta ja selvitettiin esiintyvien häiriöiden syyt. Kirjoitettiin opinnäytetyön teoriaosuus sähkömagneettikentän yhteensopivuudesta ja olosuhdetestauksista, ja laadittiin taulukko komponenttien lämpötilavaatimusten täyttymisestä. Varsinaiset testit suoritettiin huhtitoukokuussa, sillä Savonia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa oli paljon tehtäviä mittauksia. Ensimmäinen testi oli olosuhdetestaus Savonia-ammattikorkeakoulun tiloissa Technopoliksella. Testaus suoritettiin kolmena päivänä ja testauksiin kului noin 15 tuntia. Toiset EMC-testaukset suoritettiin 3-4 tunnissa samoissa tiloissa.

Tutkimusten saaduista tuloksista ja tiedoista voidaan esittää yritykselle kehittämissuosituksia. Ensimmäkin laitteessa oli integroitua osia ja komponentteja, jotka eivät täyttäneet kaikkia lämpötilavaatimuksia. Laitteen toimintaa parantaisi komponenttien (kondensaattorit ja liittimien) vaihto uusiin, esimerkiksi luotettavat ja kestävät MLCC-kondensaattorit ovat keraamisia ja monikerroksisia. MLCC-kondensaattori sopisi hyvin uuteen laitteeseen, koska kaikista markkinoilla olevista kondensaattoreista ne toimivat parhaiten kylmissä olosuhteissa, sillä niiden toimintalämpötila-alue on $-55\text{ °C} - 125\text{ °C}$ eikä niissä ole ollut käyttöongelmia. Liittimiäkin suosittelisimme vaihdettaviksi tyyppeihin, joita voi käyttää alle -25 °C lämpötiloissa.

Käytössä olevan mikrofonin toiminta tuottaa ongelmia silloin, kun lämpötila vaihtelee. Mikrofonin toimintalämpötila-alue on $-25\text{ °C} - 80\text{ °C}$. Kun ollaan tekemisissä herkkien komponenttien kanssa, $\pm 15\text{ °C}$ on suuri arvo ja se voi häiritä koko tallennussysteemiä. Mikrofonien virhemahdollisuudet kasvavat lämpötilan laskiessa.

Sähkömagneettikentän yhteensopivuutta varten laitteelle olisi hyvä asentaa Faradayn häkki. Faradayn häkki on sähköä johtavasta materiaalista valmistettu häkki tai muu yhtenäinen kuori, jota staattinen sähkökenttä, audio- tai radiotaajuinen sähkömagneettinen säteily eivät läpäise. Toisin sanoen Faradayn häkin sisäpuolella oleva sähkömagneettisen kentän lähde ei vaikuta häkin ulkopuolella eikä sähkömagneettinen kenttä pääse häkin ulkopuolelta sen sisäpuolelle. Näitä häkkeitä näyttäisi olevan käytössä myös muissakin laitteissa, esimerkiksi Pohjoisnavalla mm. pitkien lämpötilanmuutoksien seuraamista varten lämpömittarin tai muun laitteen ympärillä.

Toinen luotettava keino suojella laitetta sähkömagneettikentän vaikutuksista ja muista ulkoa tulevista häiriöistä on kunnollinen maadoitus. Jos nämä ratkaisut eivät toimi, aktiivinen EMI-kumoamissysteemi (eng. EMI cancellation system) voidaan ottaa käyttöön. EMI-kumoamissysteemi tuntee sähkömagneettisen kentän, joka tulee laitteeseen, ja se pystyy tuottamaan vastakentän, joka

peruuttaa tulevat häiriöt. Tämä systeemi on paras mahdollinen suoja sähkömagneettikenttähäiriöitä vastaan.

Laite on paikallaan mittauksen aikana mutta sitä kuljetetaan paikasta toiseen. Tärinä voi aiheuttaa komponenteille ja laitteille määrittelemättömiä ja tuntemattomia vikoja. Näitä ongelmia ei ehkä ole mietitty laitteen suunnittelussa ja tuotekehittämissä. Tulevaisuudessa olisi suositeltavaa suorittaa myös esimerkiksi muitakin testejä kuten tärinä-, ESD-, pudotus-, kosteustestejä.

LÄHTEET

Kirjat, raportit, julkaisut:

AURES MELUMITTARI, Aures melumittarin käyttöohjeet, 2014. Ei julkisesti saatavilla.

CAPACITANCE CHANGE RATE 2012. [valmistajan www-sivut]. [viitattu 2014-02-28]. Saatavissa: http://www.murata.com/products/emicon_fun/2012/10/cap_en15.html

ELEKTROMAGNEETTISET HÄIRIÖT, Herzan 2014. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-03-05]. Saatavissa: <http://www.herzan.com/applications/noise-source/emi.html>

ELEKTRONIIKAN TUOTANTOTESTAUS, 2008. Miikka Ahola [opinnäytetyö]. [viitattu 2014-04-20]. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11951/2008-04-16-25.pdf?sequence=1>

EMC – TESTAUSMENETELMÄT. Centria- tutkimus ja kehitys 2014. [yrityksen www-sivu] [viitattu 2014-03-20]. Saatavissa: <http://tki.centria.fi/Centria.aspx?id=363&p1=23&p2=347>

EMC- DIREKTIIVIN 2004/108/EY SOVELTAMISOPAS ja CE-MERKNITÄ 2007. [viitattu 2014-04-10]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/enterprise/electr_equipment/emc/guides/emcguide_may2007.pdf

EMC- TESTAUS. SGS Finalnd Oy. [yrityksen www-sivu] [viitattu 2014-04-27]. Saatavissa: <http://www.sgs.fi/fi-FI/Industrial-Manufacturing/Services-Related-to-Production-and-Products/Product-Certification/New-Machinery-Certification/EMC-Testing.aspx>

ESIMERKKEJÄ MELUTASOISTA. Lohjan kaupungin internetsivut. [viitattu 2014-04-23]. Saatavissa: <http://www.lohja.fi/Liitetiedostot/Kaupunkisuunnittelu/ymp%C3%A4rist%C3%B6yksikk%C3%B6/Melutasoja.pdf>

GM1351-MELUMITTARI. [valmistajan nettisivut]. [viitattu 2014-05-05]. Saatavissa: http://www.miniinthebox.com/fi/gm1351-digital-sound-level-meter-suuri-lcd-naytto_p1302473.html

IEC 61672 MELUMITTAUSTEN STANDARDI. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-03-23]. Saatavissa: <http://www.cirrusresearch.co.uk/blog/2012/07/iec-61672-a-standard-for-sound-level-meters-in-three-parts/>

KAAVAT, 2014. Verko-opetussivusto. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-02-03]. Saatavissa: <http://physics.tutorvista.com/waves/decibel.html>

KANSAINVÄLINEN STANDARDI IEC 60068-2-1 2007. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2014-03-08]. Saatavissa: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60068-2-1%7Bed6.0%7Den_d.pdf

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS FROM TRAMS, TRAINS AND HYBRID CARS. [verkkojulkaisu] [viitattu 2014-04-20]. Saatavissa: <http://www.deepdyve.com/lp/oxford-university-press/measurement-and-analysis-of-electromagnetic-fields-from-trams-trains-5P9igZoB0I>

MELU LASKENNAN PERUSKÄSITTEITÄ. Akukon Oy, 2014. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2014-05-11]. Saatavissa: http://www.akukon.fi/site/?lan=1&page_id=284

MELU. "Mitä melu on?". Osha 2014. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2014-05-5]. Saatavissa: https://osha.europa.eu/fi/topics/noise/what_is_noise_html

MELUSELVITYS, Promethor Oy, 2011. Ympäristömeluselvitys ruskon jätteenkäsittelylaitoksen laajennus. [viitattu 2014-04-23]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8F7EC629-3AF1-4E84-88CE-FA338AB5F2B3%7D/44200>

MELUTASOT. "Sound levels" 2013. [viitattu 2014-03-15]. [verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://topics.sae.org/noise-measurement/standards/>

OLOSUHDETESTAUKSEN MÄÄRITELY. Espec Technology Report 2005. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2014-04-25]. Saatavissa: http://www.espec.co.jp/english/tech-info/tech_info/pdf/a1/e_1.pdf

QUANTIFIER RANGE-MELUMITTARIT. [valmistajan nettisivut] [viitattu 2014-05-15]. Saatavissa: <http://www.pulsarinstruments.com/products/quantifier/#.U38sxvmSx8E>

SAVONIA AMK kotisivut: Olosuhde- ja EMC-testaus. [viitattu 2014-04-08]. Saatavissa: <https://portal.savonia.fi/amk/fi/tki-ja-palvelut/asiantuntijapalvelut/rakennusalan-palvelut/materiaalitutkimus>

SÄHKÖMAGNEETTIENTÄN YHTEENSOPIVUUS (EUROPEAN COMMISSION), 2014. [EU:n www-sivu] [viitattu 2014-02-22]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/emc/index_en.htm

SÄHKÖMAGNEETTIENTÄN YHTEENSOPIVUUS. [verkkojulkaisu] [viitattu 2014-02-22]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/EMC---sahkomagneettinen-yhteensopivuus/>

SÄTEILYLÄHTEET JA ALTISTUMINEN, 2008. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-01]. Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6/_files/12222632510021208/default/6_9.pdf

TECPEL DSL-330 MELUMITTARI. [valmistajan nettisivut]. [viitattu 2014-05-06]. Saatavissa: http://www.mittarit.fi/images/stories/melumittarit/DSL-330_esite.pdf

TERMIT, MÄÄRITELMÄT, YKSIKÖT JA PARAMETRIT. [viitattu 2014-04-23]. Saatavissa: <http://www.acoustic-glossary.co.uk/definitions-l.htm>

TESTATTAVUUDEN SUUNNITTELU 2014. Opetusmateriaali. Kuopio: Savonia Ammattikorkeakoulu [viitattu 2014-02-20]. Saatavissa: <http://www.npd-solutions.com/lifecycle.html>

TYÖMELUN RAJA- JA TOIMINTA-ARVOT [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-05-13]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_toiminta_arvot/sivut/default.aspx

VASTUSLÄMPÖTILA-ANUTRI, 2014. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-25]. Saatavissa: <http://www.thermibel.be/documents/pt100.xml?lang=en>

VOETCH OLOSUHDETESTAUSKAAPPI. [valmistajan datalehti]. [viitattu 2014-03-08]. Saatavissa: http://www.v-it.com/en/products/temperature_and_climate_test_chambers/schunk01.c.59549.en

YMPÄRISTÖMELU, MIP Electronics Oy. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-03-15]. Saatavissa: <http://www.mip.fi/cms/fi/sovellukset/melu-ja-aeaeni/melun-mittaus/325-ympaeristoemelu>

Muut apulähteet: google, wikipedia, yahoo, Komponenttien datalehdet. Valmistajien internet sivut. Kirja: "Mikrotietokonetekniikka – Sulautetut järjestelmät", tekijä: Jari Koskinen

Kuvat ja taulukot:

KUVA 1. YMPÄRISTÖMELU, MIP Electronics Oy. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-03-15]. Saatavissa: <http://www.mip.fi/cms/fi/sovellukset/melu-ja-aeaeni/melun-mittaus/325-ympaeristoemelu>

KUVA 2. GM1351-MELUMITTARI. [valmistajan nettisivut]. [viitattu 2014-05-05]. Saatavissa: http://www.miniinthebox.com/fi/gm1351-digital-sound-level-meter-suuri-lcd-naytto_p1302473.html

KUVA 3. TECPEL DSL-330 MELUMITTARI. [valmistajan nettisivut]. [viitattu 2014-05-06]. Saatavissa: http://www.mittarit.fi/images/stories/melumittarit/DSL-330_esite.pdf

KUVA 4. AURES MELUMITTARI, Aures melumittarin käyttöohjeet, 2014. Ei julkisesti saatavilla.

KUVA 5. Laitteiden aiheuttamat sähkömagneettikentät. [viitattu 2014-03-04]. Saatavissa: http://www.emtest.com/what_is/emv-emc-basics.php

KUVA 6, 7 ja 8 (Meholli 2014).

KUVA 9. Yleinen kuva liittimestä (google.fi)

KUVIO 1. OLOSUHDETESTAUKSEN MÄÄRITELY. Espec Technology Report 2005. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-25]. Saatavissa: http://www.espec.co.jp/english/tech-info/tech_info/pdf/a1/e_1.pdf

KUVIO 2. OLOSUHDETESTAUKSEN MÄÄRITELY. Espec Technology Report 2005. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-25]. Saatavissa: http://www.espec.co.jp/english/tech-info/tech_info/pdf/a1/e_1.pdf

KUVIO 3. EMC- DIREKTIIVIN 2004/108/EY SOVELTAMISOPAS ja CE-MERKNITÄ 2007. [viitattu 2014-04-10]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/enterprise/electr_equipment/emc/guides/emcguide_may2007.pdf

KUVIO 4. VASTUSLÄMPÖTILA-ANUTRI, 2014. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-25]. Saatavissa: <http://www.thermibel.be/documents/pt100.xml?lang=en>

KUVIO 5, KUVIO 6(Meholli 2014)

KUVIO 7. CAPACITANCE CHANGE RATE 2012. [valmistajan www-sivut]. [viitattu 2014-02-28]. Saatavissa: http://www.murata.com/products/emicon_fun/2012/10/cap_en15.html

TAULUKKO 1. TYÖMELUN RAJA- JA TOIMINTA-ARVOT [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-05-13]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_toiminta_arvot/sivut/default.aspx

TAULUKKO 2. ESIMERKKEJÄ MELUTASOISTA. Lohjan kaupungin internetsivut. [viitattu 2014-04-23]. Saatavissa: <http://www.lohja.fi/Liitetiedostot/Kaupunkisuunnittelu/ymp%C3%A4rist%C3%B6yksikk%C3%B6/Melutasoja.pdf>

TAULUKKO 3. OLOSUHDETESTAUKSEN MÄÄRITELY. Espec Technology Report 2005. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-25]. Saatavissa: http://www.espec.co.jp/english/tech-info/tech_info/pdf/a1/e_1.pdf

TAULUKKO 4. SÄTEILYLÄHTEET JA ALTISTUMINEN, 2008. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-01]. Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6/_files/12222632510021208/default/6_9.pdf

TAULUKKO 5. VOETCH OLOSUHDETESTAUSKAAPPI. [valmistajan datalehti]. [viitattu 2014-03-08]. Saatavissa: http://www.v-it.com/en/products/temperature_and_climate_test_chambers/schunk01.c.59549.en

TAULUKKO 6. Komponenttien lämpötilavaatimukset. (Meholli 2014)

TAULUKKO 7. Ulkokäyttömikrofonin tekniset tiedot. (S.lähde)

TAULUKKO 8. SÄTEILYLÄHTEET JA ALTISTUMINEN, 2008. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-04-01]. Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6/_files/12222632510021208/default/6_9.pdf