

Opinnäytetyö (AMK)
Tietoliikenteen koulutusohjelma
Sulautetut järjestelmät
2015

Marko Tuomola

STAATTISEN SÄHKÖN HALLINTA MATKAPUHELINHUOLLOSSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Tuomola

STAATTISEN SÄHKÖN HALLINTA

Huollettaessa elektronisia laitteita, kuten matkapuhelimia, on huoltoyrityksen tärkeää huolehtia asianmukaisesta ESD-suojauksesta. ESD (Electrostatic Discharge) tarkoittaa staattisen sähkön varauksen purkausta. ESD-suojauksella tarkoitetaan laitteiden suojausta staattisen sähkön varauksen purkautumiselta. Laitteiden kehittyessä komponentit ovat aiempaa pienempiä ja monimutkaisempia, joten ne ovat myös alttiimpia purkauksien aiheuttamille vaurioille. Laitteiden altistuessa staattisen sähkön purkaukselle saattavat ne vikaantua tai niiden toimintakyky heiketä. Tästä on huoltoyritykselle taloudellista haittaa ja siihen on kiinnitettävä aiempaa enemmän huomiota.

Tässä opinnäytetyössä rakennetaan SCF Huolto Oy:n Salon toimipisteelle EPA-alue, sekä laaditaan ESD-toimintaohjeet henkilökunnalle, jotta yrityksen toiminta on ESD-suojauksen osalta laatujärjestelmän mukainen.

Vaadittavan ESD-suojaustason laatimiseksi käytin standardien ja laitevalmistajan hyväksymiä toimintamalleja.

Työssä esitellään staattinen sähkö ilmiönä, sekä sen tyypillisimmät purkausmallit tällä alalla. EPA-alueen rakentamisen jälkeen suoritetaan laitevalmistajien ja standardin edellyttämät mittaukset ESD -suojauksen toimivuudelle.

Ulkopuolisen auditoinnin lopputuloksena SCF Huollon ESD-suojausjärjestelmä on vaadittavalla tasolla, ja yritys saa jatkossakin toimia laatusertifioituna.

ASIASANAT:

ESD, EPA, suojamaadoitus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information Technology| Embedded Systems

2015 | 39

Tiina Fern

Marko Tuomola

ELECTROSTATIC CHARGE CONTROL

When servicing mobile phones and other electric devices, a service center must maintain proper Electrostatic Discharge (ESD) -protection. ESD is the discharge of electrostatic charging. ESD-protection stands for protection for ESD. While devices are developing, their components inside are also becoming much smaller and complicated, which means that they are more sensitive to static discharging.

After being exposed to electrostatic discharge, these components might start malfunctioning and their performance might deteriorate. Such issues can be very costly for a service company and they must be addressed and resolved immediately.

The purpose of this thesis was to produce an ESD Protected Area for SCF Huolto Oy and also create the required ESD-directive for the quality management system.

To achieve the required ESD-protection level, ESD-manufacturing methods of manufacturers and standards were utilized.

The theoretical part of this thesis introduces the effects of electrostatic charge and its most typical discharging mechanisms.

The EPA-area was also tested and measured to check if they meet the manufacturers and standards requirements.

The final result of the audit was that the, ESD-protection system of SCF Huolto is at the required level and the company is still quality certified.

KEYWORDS:

ESD, EPA, discharging

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
JOHDANTO	7
STAATTINEN SÄHKÖ	8
2.1 Staattinen sähkö ilmiönä	8
2.2 Staattisten sähkövarausten syntyminen	9
2.3 Triboelektrinen sarja	10
2.4 Resistiivisyys	10
2.5 Kosteuden vaikutus resistiivisyyteen	11
2.6 Materiaaliluokitukset	11
2.7 Sähköisen kentän voimakkuus	12
2.8 Varausten siirtyminen ja syntyminen käytännössä	12
2.8.1 Indusoituminen	13
2.8.2 Ionisoituminen	13
2.9 Resistanssin ja henkilövarauksen mittaustekniikat	14
2.9.1 Resistanssi maahan	14
2.9.2 Pintaresistiivisyys	14
2.9.3 Systeemiresistanssi	14
2.9.4 Henkilön varautuminen liikkeessä	14
STAATTISEN SÄHKÖN ERI PURKAUSMALLIT	16
3.1 HBM-malli	16
3.2 MM-malli	16
3.3 CBM-malli	17
VIKAANTUMISMEKANISMIT	19
4.1 Bulk Breakdown	20
4.2 Thermal secondary breakdown	20
4.3 Pintaläpilyönti ja läpilyönti eristeessä	20
ESD-SUOJAUKSEN TOTEUTTAMINEN	21
5.1 ESD-koordinaattori	21
5.2 Henkilökunnan kouluttaminen	21
5.2.1 Tuotannon ulkopuoliset työntekijät	22

5.2.2 Tuotannon työntekijät	22
5.3 EPA-alueen kontrollointi	23
5.4 Resistanssimittari ja kentänvoimakkuusmittari	23
5.5 Standardit	24
EPA-ALUE JA SEN MERKITSEMINEN	25
MITTAUSTEKNIIKAT	29
7.1 Lattia - ja työpinnan mittaaminen	29
7.2 Rannekkeet	29
7.3 Tuolit	29
7.4 Vaatteet	29
MITTAUSTULOKSET	30
YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34

KÄYTETYT LYHENTEET

CBM	Charged Device Model, kappaleen purkautumismalli
EPA	ESD Protected Area, staattisen sähkön purkauksilta ja varautumiselta suojattu alue
ESD	Electrostatic Discharge, staattisen sähkön purkaus
ESDS	Electrostatic Discharge Sensitive, staattisen sähkön purkautumiselle herkkä (laite, komponentti tai vast.)
HBM	Human Body Model, Ihmiskehon purkautumismalli
MM	Machine Model, Koneen purkautumismalli

JOHDANTO

SCF Huolto Oy on vuonna 2004 perustettu matkapuhelinhuolto. Se toimii yhtenä Suomen suurimmista huoltoyrityksistä huoltaen kymmenien eri laitevalmistajien laitteita, merkittävimpinä yhteistyökumppaneina Microsoft, Samsung ja Sony.

Elektronisia laitteita huoltaessa on aina tarpeen ottaa huomioon laitevalmistajien vaatimukset ja staattisen sähkön hallintaan liittyvät asiat. Staattisen varauksen purkautumisen aiheuttamat riskit on otettava huomioon aina siitä hetkestä eteenpäin, kun laite saapuu huoltoon, siihen asti kun se huollon valmistuttua lähtee takaisin asiakkaalle.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää staattisen sähkön perusteet. Niiden avulla tavoitteena on saavuttaa SCF Huollolle kevyt, mutta sekä ajan että laatuajattelun mukainen ESD-suojaus.

Työn tuloksia tarkistellaan laitevalmistajan edustajan suorittamalla ulkopuolisella auditoinnilla. Auditoinnista saatu palaute vaikuttaa suoraan SCF Huollon toimintaan ja saatu palaute on huollolle todella tärkeää, jotta se voi toimia entistä tehokkaammin.

STAATTINEN SÄHKÖ

2.1 Staattinen sähkö ilmiönä

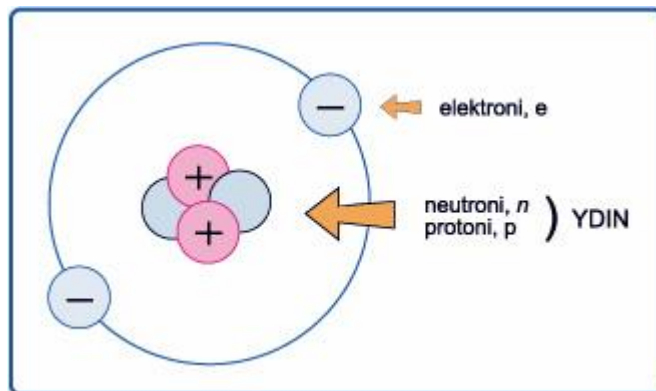
Staattinen varaus on käytännössä elektronien epätasapaino jonkin materiaalin pinnalla. Elektronien epätasapaino luo sähkökentän, joka purkautuessaan saattaa vaikuttaa purkauksen kohteen ominaisuuksiin ja vaurioittaa sitä. Staattinen sähkö purkaus (ESD) on tunnettu jo hyvin pitkään, mutta se ei ole vaikuttanut kovin merkittävästi jokapäiväiseen elämäämme. Arkisessa elämässä purkaukset on huomattavissa lähinnä pieninä sähköpurkauksen aiheuttamina sähköiskuina. Nykyisin tilanne on muuttunut ja staattinen sähkö on otettava huomioon useilla aloilla. Erityisesti elektroniikassa on oltava selvillä staattisen sähkö aiheuttamista vaikutuksista ja siitä, kuinka nämä voidaan ehkäistä. Elektroniikkateollisuudessa pintaliitostekniikan käyttöönotto ja erityisesti integrointiasteen nopea kasvu johtivat ongelman laajuuden ja suojaustoimien todellisen merkityksen tiedostamiseen 1990-luvulla. (Viheriäkoski 2001, 10.)

Staattista varausta kontrolloidaan purkamalla se hallitusti. Hallitsematon purkaus saattaa aiheuttaa vaurioitumisia komponenteissa. Yleisesti varaus syntyy, kun kaksi eri materiaalia erotetaan toisistaan. Esimerkiksi kävellessä varaus syntyy jalkineen ja lattiapinnan välillä. Varauksettomat materiaalit koskettavat toisiaan ja erotessaan varautuvat. Ihminen pystyy aistimaan varastoituneen staattisen purkauksen, jos varauksen jännite on yli 3000 V. Yli 3000 V:n purkauksen pystyy tuntemaan, yli 4000 V:n purkauksen voi kuulla napsahdusta muistuttavana äänenä ja yli 5000 V:n purkauksen pystyy näkemään valokaarena. Esimerkiksi käveleminen muovimatolla saattaa aiheuttaa jopa 35 000 V:n varautumisen. (Viheriäkoski 2001, 10.)

2.2 Staattisten sähkövarausten syntyminen

Staattiset sähkövaraukset syntyvät liikkeestä. Kappaleiden hankaaminen, liittäminen ja erottaminen toisistaan aiheuttavat alkeishiukkasten liikettä ja atomien järjestyksen muutoksen. (Viheriäkoski 2001, 13.)

Atomin rakenne koostuu protoneista, elektroneista ja neutroneista. Protoneilla on positiivinen sähkövaraus, elektroneilla negatiivinen sähkövaraus ja neutronit ovat varauksettomia. Ennen varautumistaan materiaalien atomeilla on protoneja ja elektroneja yhtä suuri lukumäärä, joten se on sähköisesti neutraali. Protonien ja elektronien sähkövaraus on yhtä suuri, mutta vastakkaismerkkinen. Kaikki materiaalit muodostuvat atomeista. Kuvassa 1 on kuvaus atomin varauksesta. (Viheriäkoski 2001, 12.)



Kuva 1. Atomin varautuminen (Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos 2013.)

Varautumisen tapahtuessa atomien välillä siirtyy elektroneja. Luovuttaessaan elektroneja varaukseltaan neutraali atomi saa positiivisen varauksen, kun taas atomin saadessa ylimääräisiä elektroneja se varautuu negatiivisesti. Yksinkertaistetussa esimerkissä asia on näin, alkeisvarauksen laskeminen ei kuitenkaan ole näin helppoa jos atomilla on useita elektroneja. (Viheriäkoski 2001, 12.)

Varautuvat materiaalit on luokiteltu niiden varautumisominaisuuksien perusteella. Tämä sarja on nimeltään triboelektrinen sarja. Sarjassa voimakkaimmin keskenään varautuvat materiaalit on sijoitettu kauimmaksi toisistaan.

2.3 Triboelektrinen sarja

Eri materiaalit varautuvat eri tavoin. Materiaalit on jaettu eri ryhmiin, jotka perustuvat niiden sähköisiin ominaisuuksiin. Näitä ominaisuuksia tutkimalla on päädytty triboelektriseen sarjaan (kuva 2), jossa materiaalit on jaoteltu niiden varautumistaipumuksiensa perusteella. Materiaalit, jotka ovat sarjassa kauempana toisiaan, varautuvat voimakkaammin, kun ne kosketuksen jälkeen erotetaan toisistaan. Sarjan positiivisessa päässä olevat materiaalit pyrkivät luovuttamaan elektroneja, kun taas negatiivisessa päässä olevat materiaali pyrkivät vastaanottamaan niitä.



Kuva 2. Triboelektrinen sarja (Static electricity and static eliminator resource site 2015)

2.4 Resistiivisyys

Mittausteknisistä syistä materiaalit luokitellaan usein resistiivisyyden perusteella, vaikka materiaalien varautuminen ei ole verrannollinen sähköjohtavuuteen.

Resistiivisyys on yksi staattisen sähkön tärkeimmistä mitattavista suureista, koska sähkönjohtavuus vaikuttaa varauksen purkausaikaan. Resistivisyys ja resistanssi eivät kuitenkaan ole sama asia, resistivisyys on materiaalin ominaisuutta kuvaava suure. (Viheriäkoski 2001, 15.)

2.5 Kosteuden vaikutus resistiivisyyteen

Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa materiaalien johtavuuteen. Kuivissa olosuhteissa materiaalien valintoihin on käytettävä enemmän huomiota. Suhteellisen ilmakehän kosteuden noustessa materiaalien ominaisuudet yleensä paranevat. (Viheriäkoski 2001, 17.)

2.6 Materiaaliluokitukset

Käytettävät materiaalit on luokiteltu ominaisuuksiensa perusteella eri luokkiin. Materiaalit on jaettu eristäviin, varausta poistaviin, johtaviin, sekä varautumattomiin.

- Eristävien materiaalien pinta voi varautua voimakkaasti joko luovuttaen tai saaden elektroneja. Samalla kappaleessa voi olla erisuuruisia tai jopa polariteetiltaan vaihtelevia varauksia. (Viheriäkoski 2001, 17.)
- Varausta poistavat materiaalit ovat riittävän johtavia tasoittaakseen varaukset kohtuullisessa ajassa, siksi niitä suositellaan käytettäväksi juuri staattiselta sähköltä suojautumiseen. (Viheriäkoski 2001, 18.)
- Johtavat materiaalit varautuvat triboelektrisesti samoin kuin eristeet. Pienen resistiivisyyden johdosta syntyneet varaukset tasoittuvat nopeasti myös kosketuksesta muihin kappaleisiin. (Viheriäkoski 2001, 18.)
- Täysin varautumattomat materiaalit ovat usein erityisaineilla käsiteltyjä tai päällystettyjä, jotka eivät kuitenkaan rajoita energian siirtymistä materiaalin läpi. (Viheriäkoski 2001, 18.)

2.7 Sähköisen kentän voimakkuus

Ajoittain EPA-alueella käytetään materiaaleja, jotka ovat staattisesti varautuvia. Tästä johtuen varautuville materiaaleille on laadittu vaadittavat suojaetäisyydet, minimivälimatkat pisteeseen, jossa ESD-herkkää laitetta voidaan käsitellä. Suojaetäisyys on suoraan verrannollinen varautuvan materiaalin pinta-alaan. Taulukossa 1 on esitetty pinta-alaan suhteutettu minimisuojaetäisyys kohteeseen, jossa ESDS-laitetta käsitellään. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011)

Taulukko 1. Varautuvan materiaalin sijoittelu. (Armeka Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011)

Varautuvan materiaalin pinta-ala	Minimi suojaetäisyys ESDS-laitteeseen
25 cm ²	25 cm
100 cm ²	50 cm
300 cm ²	100 cm
Kuljetuslaatikko, muovinen	500 cm

2.8 Varausten siirtyminen ja syntyminen käytännössä

Erilaisia tapoja materiaalin varautumiseen on monia. Materiaali voi varautua esimerkiksi indusoitumalla, ionisoitumalla tai suoralla kosketuksella.

Taulukossa 2 on lueteltu erilaisia varautumistapoja ja ilman suhteellisen kosteuden vaikutuksia niihin. Ilman kosteuden noustessa saattavat materiaalit, jotka normaaleissa olosuhteissa varautuisivat voimakkaasti, antaa sellaisia tuloksia, että niitä voisi luulla ominaisuuksiltaan paremmiksi.

Taulukko 2. Ilman suhteellisen kosteuden vaikutus varautumiseen (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011., SFS-käsikirja 2002.)

Varautumistapa	Potentiaali, V	
	Kuiva ilma RH 10-20%	Kosteaa ilma RH 60-80%
Kävely kokolattiamatolla, keho	>20000	>2500
Kävely PVC-pintaisella lattialla, keho	>2000	>600
Nostolavojen siirtäminen PVC-lattialla	>10000	>2000
Koneellinen pakkaus/muovikelmu pahvilaatikon ympärille	>5000	>1000
Polyuretaanipehmusteiselta tuolilta nouseminen	>5000	>1000
Kävely johtavilla jalkineilla varausta purkavalla lattialla	<50	<5
Tavallisen kuplamuovin erottaminen rullasta	>20000	<3000
Eristävän teipin erottaminen rullasta	>15000	<2500
Aerosolin suihkutuspöly johtavalle pinnalle	>10000	>2000

2.8.1 Indusoituminen

Tuotaessa varautuneen kappaleen lähelle varautumaton kappale, vetää se puoleensa vastakkaismerkkistä varausta ja kappale polarisoituu, tapahtuu sähköinen influenssi eli sähköstaattinen induktio. Indusoituminen on yhtä yleistä kuin varautuminen suoraan kosketuksesta. (Viheriäkoski 2001, 23.)

2.8.2 Ionisoituminen

Ionisoituminen voi tapahtua säteilyn, lämmön tai suuren sähkökentän vaikutuksesta. Ioni tarkoittaa atomia, josta yksi tai useampi elektroni on poistunut. (Viheriäkoski 2001, 23.)

2.9 Resistanssin ja henkilövarauksen mittaustekniikat

2.9.1 Resistanssi maahan

Maadoitusresistanssi mitataan eristysvastusmittarilla ja maadoituselektrodilla kytkemällä eristysvastusmittarin toinen napa ESD-maahan ja sijoittamalla maadoituselektrodi mitattavalle pinnalle. (Viheriäkoski 2001, 83.)

2.9.2 Pintaresistiivisyys

Kahden pisteen välisen resistanssin (engl. Point to Point) mittauksissa käytetään samoja elektrodeja kuin maadoitusresistanssin mittauksissa. Mittaus suoritetaan sijoittamalla molemmat maadoituselektrodit mitattavalle pinnalle, mittausignaalin kulkiessa eristysvastusmittarin kautta. Jos kyseessä on esimerkiksi lattiapinta, on mittaus hyvä suorittaa käsitellen samaan aikaan kahta eri vuotaa. Näin varmistutaan myös lattiasaumojen johtavuudesta. (Viheriäkoski 2001, 84.)

2.9.3 Systeemiresistanssi

Mitattaessa systeeminresistanssia lattiapinnalta mittahenkilö seisoo aloillaan kädessään metallinen punnus. Punnus kulkee maihin eristysvastusmittarin kautta. Kehon resistanssin tulee olla 750 k Ω –35 M Ω . (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

2.9.4 Henkilön varautuminen liikkeessä

Lisäksi mitataan kehon varautumista liikkeessä. Mittaushenkilö ottaa viisi nopeaa askelta kädessään metallinen punnus. Liikkeen aikana varautuminen ei saa nousta yli 50 V:n. Standardin mukainen yläraja varautumiselle on 100 V, mutta yleisesti käytetty raja on kuitenkin alhaisempi, 50 V. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

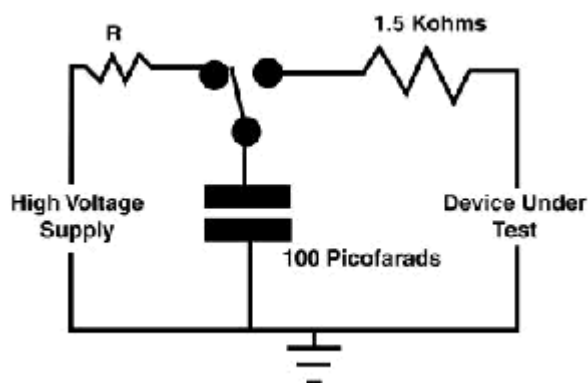
Lattiapinnoitteessa olevat mustat alueet ovat hiiltä, jotka toimivat johteena lattian pinnassa. Jos näitä alueita on liian vähän, pinnoite ei välttämättä läpäise suoritettuja mittauksia. Työpöydille, hyllyille ja muille mahdollisille laskutasoille suoritetaan samat mittaukset kuin lattialle, pois lukien henkilön varautuminen ja systeemiresistanssin mittaaminen. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

STAATTISEN SÄHKÖN ERI PURKAUSMALLIT

Staattisen sähkön purkautumiselle on useampia purkausmalleja, mutta seuraavaksi luetellut ovat niistä yleisimpiä. Matkapuhelinhuollossa työskenneltäessä yleisintä on purkautuminen suoraan ihmiskehosta eli HBM. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

3.1 HBM-malli

Varautunut ihmiskeho purkautuu kappaleeseen ja aiheuttaa vaurion. Ihmiskehon varautumista ei pysty estämään. Varautumista tapahtuu lattialla kävelemällä, vaatteita riisumalla tai varautuneita materiaaleja käsiteltäessä. HBM-purkautumismallin piirikaavio (kuva 3). Varautuminen on suuruudeltaan 100 pF. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

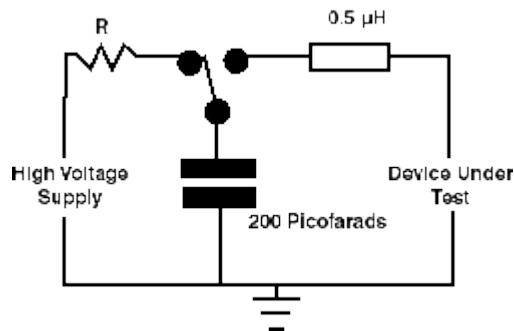


Kuva 3. HBM-malli (ESD association 2012)

3.2 MM-malli

Varautuneen koneen tai laitteen purkautuminen on suuri ongelma elektroniikkateollisuuden valmistajien parissa, jossa käsitellään suuria laitteita, jotka varautuvat ja ovat kosketuksissa laitteisiin ja komponentteihin joiden sisällä on ESDS-komponentteja. MM-purkautumismallin piirikaavio (kuva 4). Tässä mallissa varautuminen on luokkaa 200 pF eli se tarkoittaa suuruudeltaan yli jalkapallon ko-

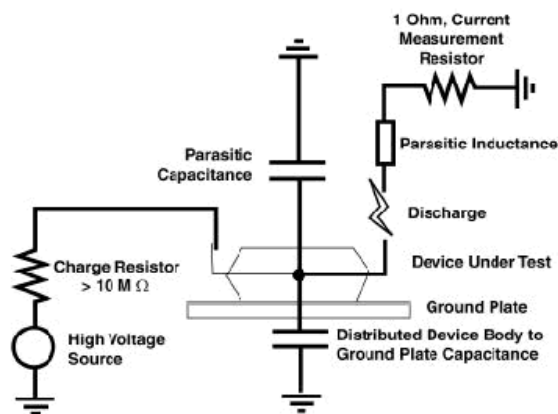
koisia esineitä, esimerkiksi suuret laakerin kuulat. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)



Kuva 4. MM-malli. (ESD association 2012)

3.3 CBM-malli

Varautuneen ESDS-laitteen purkautuminen on myös ESD-tapahtuma. Laite voi varautua esimerkiksi liukuhihnalla kulkiessaan, kun syöttölaite siirtää laitteen toisalle. Siirtyessään toista materiaalia olevalta pinnalta toiselle johtavalle pinnalle saattaa laite varautua. CBM-purkautumismallin piirikaavio (kuva 5). Työkenneltäessä ESDS-laitteiden parissa, saattaa CBM purkautuminen tulla jopa varautuneesta työkalusta. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)



Kuva 5. CBM-malli. (ESD association 2012)

Yleisin syy staattisen sähköön aiheuttamalle vauriolle on suora purkautuminen ihmiskehosta tai varautuneesta materiaalista staattiselle purkaukselle herkkään

(ESDS) komponenttiin. Ihmiskehon purkautumismalli ei kuitenkaan ole purkauksista komponenteille vaarallisin, koska purkaus on normaalisti todella pieni. Osa ihmiskehon varauksesta säilyy aina kehossa.

VIKAANTUMISMEKANISMIT

Staattisen varauksen aiheuttamien purkauksien ennustaminen on mahdotonta. Etukäteen ei voida tietää purkauksen reittiä, nopeutta tai edes sen suuruutta. Varauksen aiheuttama vaurio voi ilmetä monella eri tavoin mm. suorituskyvyn alenemisena, tilapäisinä vikaantumisina, välittömänä vikaantumisena, komponentin rikkoontuessa altistuksessa kokonaan.

Valmistajat ilmoittavat komponenteille usein ESD-herkkyyden. Taulukossa 3 on esitetty valmistajien ilmoittamia tyypillisiä ESD-herkkyyksiä.

Taulukko 3. Komponenttien tyypillisiä ESD-herkkyyksiä. (SFS-käsikirja 2010)

Puolijohdetyyppi	Tyypillinen vaurioitumisjännite V, HBM
Teho MOSFET	100 - 300
CMOS, B-sarja	2000 - 5000
CMOS, A-sarja	1000 - 2500
Lineaari - MOS	800 - 4000
Vanhan sukupolven bibolaari	600 - 6000
Nykyaikainen bibolaari	2000 - 8000
Teho-bibolaari	7000 - 25000
Kalvovastus	1000 - 5000

Vikaantumiset voidaan jakaa kahteen pääryhmään, välittömiin ja piileviin vikoihin. Huoltotyöskentelyssä ensin mainittuihin pystytään vaikuttamaan ennen, kuin huollettava laite päätyy takaisin kuluttajalle. Jos laite on altistunut purkaukselle ja siihen jää piilevä vika, jota ei saada laitetta testattaessa ilmenemään, on todennäköistä että laite kulkeutuu kuluttajalta takaisin huoltoon myöhemmin. Tämä tarkoittaa kaikille osapuolille lisää kuluja.

4.1 Bulk Breakdown

Bulk breakdown tarkoittaa parametrimuutoksista aiheutuvaa läpilyöntiä, jossa lämpötila kasvaa suuren virrantiheyden takia. Läpilyönti aiheuttaa puolijohdemateriaalin lejeeroitumista ja metallin seostumista diffuusioalueeseen tai päinvastoin. (Viheriäkoski 2001, 35.)

4.2 Thermal secondary breakdown

Thermal secondary breakdown-termillä kutsutaan suuren jännitteen aiheuttamaan läpilyöntiä PN-liitoksessa. Pulssin suuri virrantiheys aiheuttaa voimakkaan lämpötilan kasvun läpilyöntikohdassa. PN-liitokseen syntyy resistiivistä vuotoa, koska suuresta nopeudesta johtuen lämpö ei ehdi siirtyä laajemmalle piiriin. (Viheriäkoski 2001, 35.)

4.3 Pintaläpilyönti ja läpilyönti eristeessä

Pintaläpilyönti etenee tyypillisesti eristeen pinnalla liukupurkauksena. Lähekkäin olevien metallien tai johteiden välillä tapahtuva läpilyönti saa aikaan oikosulkuja ja vuotovirran kasvua. Ylijännitteen aiheuttama läpilyönti eristeessä voi sulattaa elektrodeina toimivia materiaaleja. (Viheriäkoski 2001, 35.)

ESD-SUOJAUKSEN TOTEUTTAMINEN

Suojauksen toteuttamisen eri osa-alueita ovat henkilöstön kouluttaminen, tekniset toimenpiteet eli huollon rakentaminen staattisen suojauksen kannalta, sekä oikean toimintamallin laatiminen. Työntekijöiden toimenkuvat on määritelty jokaisen henkilön kohdalla erikseen yrityksen toimesta.

5.1 ESD-koordinaattori

ESD-koordinaattori on henkilö, joka vastaa huollon staattisen sähkön hallinnasta. Koordinaattorin perimmäisenä toimenkuvana on huolehtia, että huollon sisäinen huoltoprosessi vastaa laitevalmistajien vaatimuksia. Koordinaattori toimii yhdessä yrityksen johdon kanssa. Tässä tapauksessa yrityksen johtoryhmästä nimettiin yksi henkilö huolehtimaan kaikista tarvehankinnoista ja muista suojauksen aiheuttamista kuluista. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

ESD-koordinaattorin tehtävänä on huolehtia myös yrityksen sisäisistä auditoinneista. Auditoinneissa mitataan huollossa käytettävät laitteet, työkalut ja työpis- teet, joilla työtä tehdään. Kaikille näille on annettu raja-arvot valmistajien toi- mesta ja niitä tulee noudattaa. Mittaustulokset dokumentoidaan tietokantaan, josta ne on myöhemmin käytettävissä tulevia ulkoisia auditointeja silmällä pitä- en.

Vastuualueena on toimipisteen laitteiston ylläpitäminen staattisen sähkön suo- jauksen kannalta, EPA-alueen yleisen kunnon, työpisteiden sekä työntekijöiden vaatetuksen tarkistukset, mittaukset ja dokumentointi.

5.2 Henkilökunnan kouluttaminen

ESD-koordinaattorin tehtävänä on kouluttaa yrityksen henkilöstö toimimaan suojauksen vaatimin tavoin. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen huollettavien

laitteiden kanssa tekemisissä oleva henkilö on käynyt työtehtäviinsä nähden tarpeellisen määrän ESD-koulutusta.

5.2.1 Tuotannon ulkopuoliset työntekijät

Tuotannon ulkopuolisilla työntekijöillä tarkoitetaan henkilöitä, jotka eivät työskentele aktiivisesti EPA-alueella. Tällaisia henkilöitä ovat logistiikan ja varaston työntekijät sekä johtotehtävissä toimivat henkilöt.

ESD-koulutuksen painopiste näillä henkilöillä on alueella liikkumisessa sekä asioissa, jotka ovat alueella kiellettyjä. Tuotannon ulkopuoliselle työntekijälle selvitetään ESD-suojauksen perusteet, eli se minkä takia suojausta vaaditaan ja miten staattisen sähkön purkautuminen syntyy käytännössä. Tällä tavoin esimerkiksi alueella usein nopeasti asioita toimittavat logistiikan henkilöt tunnistavat mahdolliset riskit, kuten vääränlaiset pakkausmateriaalit.

5.2.2 Tuotannon työntekijät

Tuotannossa työskenteleville henkilöille on tärkeää ESD-suojauksen perusteiden lisäksi selvittää, he voivat omilla työtavoillaan vaikuttaa staattisen varauksen syntymiseen ja sen hallittuun purkautumiseen. Työntekijälle annetaan toimintamalli, jota noudattamalla pystytään varmistumaan, että varausten hallitsemattomat purkautumiset on pystytty minimoimaan. Myös mahdollisten varausta keräävien komponenttien tai työkalujen sijoittelu on ennalta määritelty. Näin mahdolliset sattumat saadaan suljettua pois.

Vierailijoita ei kouluteta EPA-alueella toimimiseen erikseen. Yrityksen edustaja vastaa EPA-alueella vierailevista henkilöistä. Vierailijoille annetaan asianmukaiset asusteet alueella liikkumiseen sekä opastus alueella kielletyistä asioista mm. syömisestä, juomisesta ja tupakoinnista.

5.3 EPA-alueen kontrollointi

EPA-aluetta kontrolloidaan säännöllisesti. Tarkistettavat asiat on jaoteltu periodeihin tarpeellisuuden mukaan. Tarkistuksia tehdään päivittäin, kuukausittain, puolivuositteittain ja vuosittain. Tarkistusten vastuu on päivittäistarkistuksissa huoltohenkilöillä itsellään, muut tarkistukset ovat kaikki ESD-koordinaattorin vastuulla:

- Päivittäin suoritetaan rannekkeiden toiminnan testaus aina ennen käyttöä. Kuljettaessa EPA-alueelle tulee aina testata jalkineiden toimivuus. Visuaalinen tarkkailu mahdollisista muutoksista, esimerkiksi uudet materiaalit.
- Kuukausittain suoritetaan maadoitusmittaukset; työtasot, kuljetusvaunut, lattiat, hyllyt, istuimet, juottimet yms. Ionisaattorien toiminnan tarkistus.
- Puolivuositteittain suoritetaan kuukausittaisten mittauksien lisäksi myös kentänvoimakkuusmittaukset, EPA-alueen merkintöjen tarkistukset, vaate-tuksen ja jalkineiden kokonaisuudoitusketjun mittaukset.

Vuosittain tehtävät mittaukset määrittelee ESD-koordinaattori. Edellä mainittujen lisäksi yleisiä tarkastettavia kohteita ovat mm. henkilökunnan ESD-tietouden taso pistokokein.

5.4 Resistanssimittari ja kentänvoimakkuusmittari

SCF Huollolla on käytössään Monroe Electronicsin valmistama resistanssimittari sekä Electro Tech System Inc:n valmistama kentän voimakkuusmittari.

Molempia mittareita huollolla on kahdet kappaleet, jotka kalibroidaan puolen vuoden sykleissä. Näin mittarit pysyvät koko ajan kalibroituina ja sellaista tilannetta ei pääse syntymään, että mittareita ei olisi saatavilla tai niiden kalibrointi olisi mennyt umpeen.

5.5 Standardit

Suojausmenettelyssä noudatetaan seuraavia standardeja:

- Standardi IEC 61340-4-1 (2010).
- Standardi IEC 61340-5-1 (2010).
- Standardi IEC 61340-5-2 (2010).

EPA-ALUE JA SEN MERKITSEMINEN

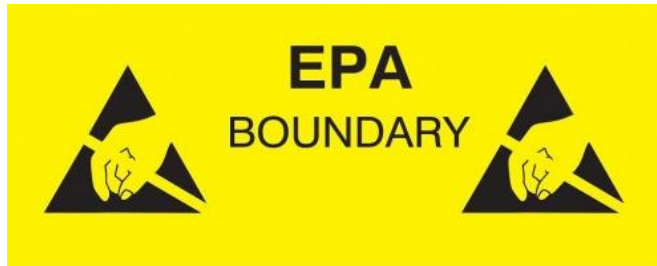
EPA-alueeksi kutsutaan aluetta, jossa käsitellään staattisen sähkön purkautumiselle herkkiä laitteita ja/tai osia. Alue voi olla rajattu huomioteipein, mutta sen tulee myös olla merkittynä kylteillä, jotka ovat näkyvällä paikalla alueelle saavuttaessa, siellä oltaessa sekä sieltä poistuttaessa. ESD-suojatulla alueella kaikki johtavat ja varautuva materiaali on kytkettävä maapotentiaaliin, tämä pitää sisälleen myös alueella työskentelevän henkilön. EPA-alueella käytettävien materiaalien tulee olla heikosti varautuvia, varausta poistavia tai johtavia. Materiaalit, jotka voidaan todeta suojauksen kannalta haitallisiksi, esimerkiksi varautuvat materiaalit, on sijoitettava alueen ulkopuolelle. Jos kuitenkin varautuvaa materiaalia tai vastaavasti alueelle sopimatonta työvälinettä on käytettävä, tulee ko. artikkelin sijoittelun olla standardin mukainen. Oikeanlaista menettelyä käytettäessä staattisen purkauksen riskit saadaan minimoitua. Varautuvan artikkelin oikeanmukaisesta sijoittelusta kerrotaan luvussa 2.7.

EPA-alueella kulkevilla henkilöillä tulee olla asianmukaiset varusteet, joka tarkoittaa huoltohenkilön kohdalla puolijohtavia jalkineita ja varausta poistavaa työasua. Pitkien hiusten tulee olla kiinni. Alueella hetkellisesti vierailevat henkilöt maadoittavat itsensä kenkiin asetettavilla maadoitusliuskoilla ja pukeutuvat varausta poistaviin suojatakkeihin.

Vierailijoiden tulee myös pitää näkyvässä henkilökorttia, joka ilmoittaa muille alueella työskenteleville henkilöille, että alueella on henkilö, joka ei mahdollisesti ole saanut siellä toimimiseen tarvittavaa koulutusta. Jokainen alueella jollakin tasolla toimiva henkilö on saanut omiin työtehtäviinsä suhteutetun ESD-toimintamallin.

Mainittavia riskitekijöitä ovat uudet materiaalit, joita tämän kaltaisessa huolto-toiminnassa tulee kuukausittain uusia. Materiaalien varautuminen ja purkautuminen tulee mitata, jolloin todetaan voiko materiaalia käsitellä EPA-alueella. Materiaalit on merkitty eri symbolein. EPA-alue on merkitty kyltein ja teipein. Aina alueelle kuljettaessa tulee testata jalkineet.

EPA-alue on rajattu yleensä kyltein, sekä teipein. Merkinnät ilmoittavat alueelle saapumisesta, alueella olemisesta, sekä alueelta poistumisesta. Saavuttaessa EPA-alueelle, on alueen raja merkitty kyltillä (kuva 6). Kyltti on huomioväritään keltainen. Alueen raja on saatettu merkitä myös muillakin tavoin, kuten esimerkiksi teipein lattiassa.



Kuva 6. EPA-alueelle saapuminen. (Spice Technologies 2015)

Alueen sisällä käytettävä huomiokyltti varmistaa alueella liikkuvalla henkilölle, että on edelleen EPA-alueen rajojen sisäpuolella (kuva 7). Kyltti on huomioväritään keltainen.



Kuva 7. EPA-alueella oleskelu. (Spice Technologies 2015)

Poistuttaessa EPA-alueelta on alueen raja merkitty huomiokyltillä (kuva 8). Kyltti on huomioväritään punainen.



Kuva 8. EPA-alueelta poistuminen. (Spice Technologies 2015)

EPA-alueen lattiana käytetään puolijohtavaa materiaalia. Yhdessä varausta poistavien jalkineiden tai maadoitusremmien avulla saadaan kertyneelle varaukselle reitti purkautua. Huoltoalueella sijaitsevat pöydät on Trestonin ESD-suojattuja pöytiä, jotka ovat yhtenä osana maadoitusketjua. Pöytäpinnat, ylätasot, erilaiset laskutasot, sekä huollossa sijaitsevat hyllyt on myös päällystetty puolijohtavalla materiaalilla.

EPA-alueella työntekijät pukeutuvat varausta poistaviin vaatteisiin, paitoihin ja/tai takkeihin sekä käyttävät varausta poistavia jalkineita. Ainoastaan vierailijat käyttävät alueella varauksen poistamiseen tarkoitettua maadoitusliuskaa. Pitkät hiukset tulee olla kiinni, koska hiukset varautuvat ja niiden maadoittaminen ei ole käytännössä mahdollista.

Alueella liikkuvat henkilöt on jaettu koulutustasoltaan kolmeen eri ryhmään. Tuotannon ulkopuolisiin työntekijöihin, tuotannon työntekijöihin ja vierailijoihin. Ulkopuolisilla ei ole EPA-alueelle kulkuoikeutta.

ESD-yhteismaan tulee olla yhteydessä suojamaahan. ESD-maan ollessa kytkettynä suojamaahan ovat kaikki, esimerkiksi työpisteellä olevat laitteet kytkettynä samaan potentiaaliin. Tällöin potentiaalieroja ei pääse syntymään. Jos työpisteellä on esimerkiksi juotin tai kuumailmapuhallin, joka on kytketty eri potentiaaliin, saattaa pahimmassa tapauksessa potentiaaliero vaurioittaa laitetta, jossa on staattiselle purkaukselle herkkiä komponentteja. ESD-yhteismaan tulee olla selvästi merkitty. Standardi IEC 61340-5-1 kehottaa käyttämään seuraavaista symbolia ESD-yhteismaan tunnistamiseen (kuva 9).



Kuva 9. ESD-yhteismaan merkintä.

EPA-alue tulee siivota säännöllisesti. Työpisteiden siisteys on huoltajien omalla vastuulla. Siivous on toteutettu viikkosiivouksella. Siivousta valvovat eri ryhmien tiimin vetäjät sekä viime kädessä ESD-koordinaattori.

MITTAUSTEKNIIKAT

7.1 Lattia - ja työpinnan mittaaminen

IEC 61340-5-1 standardin mukaisesti lattioita tarkasteltaessa mitataan kolme kahden pisteen välisen resistanssin mittausta aluetta kohden ja yksi maadoitus-resistanssin mittaus /10 m². Mittaukset suoritetaan eristysvastusmittarilla 10 V:n jännitteellä, jos mittauskohteen resistanssi $R_x \leq 10^5 \Omega$ tai 100 V:n jännitteellä silloin, kun $R_x > 10^5 \Omega$. (Viheriäkoski 2001, 83.)

7.2 Rannekkeet

Rannekkeen ja ESD-maan välinen resistanssi mitataan resistanssimittarilla (kalibroitu yleismittari käy myös) ja resistanssin tulee olla alle 2 Ω . (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

7.3 Tuolit

Tuoleille tehdään kaksi erilaista mittausta. Resistanssi maan ja istuimen välillä, jonka avulla pystytään selvittämään tuolin rullien toiminta. Toisella mittauksella selvitetään istuimen ja selkänojan välinen johtavuus. (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

7.4 Vaatteet

Vaatteiden toimivuus mitataan pintaresistanssin avulla käyttämällä pisteestä pisteeseen -mittausta. Mittaus suoritetaan hihasta hihaan tai lahkeesta lahkeeseen. Vaate asetetaan eristävällä pinnalle, mittausta ei siis voida suorittaa työpöydällä johtavan pintamateriaalin takia. Mittauspunnukset asetetaan vaatteen päälle. Vaatteen pintaresistanssin tulee olla alle 1 G Ω . (Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S 2011.)

MITTAUSTULOKSET

Maadoitetuille kohteille on asetettu tietyt raja-arvot joihin on päästävä. Tässä tapauksessa noudatetaan SCF Huollon suurimman päämiehen sekä standardin sisältämiä raja-arvoja. Arvot ovat lähes identtiset muiden päämiesten antamien kanssa, joten SCF Huolto on päättänyt noudattaa kaikkein tiukinta standardia, näin välttämällä mahdolliset ongelmat jatkossa. Tässä työssä käsitellään mittaus-tuloksia yhden työpisteen alueelta.

Lattiaa mitattaessa mitattava pinta on kuivapesty edellisenä iltana, joten lian aiheuttamaa haittaa ei ollut havaittavissa. Resistanssit on kuitenkin mitattu myös alueelta, jossa lattiamaton kulutus on huomattavasti kovempaa kuin muu-alla huollon alueella. Näin saadaan vertailutuloksia ja tietoa siitä miten jalkineiden tuoma lika vaikuttaa alle vuorokaudessa mittaustuloksiin.

Henkilön varautuminen liikkeessä mitattiin sellaisella huollon alueella, jossa lat-tiapinnan kulutus on kaikkein suurinta. Mittauksen antama suuruus henkilön varautumiselle oli 20 V.

Lattian resistanssi maahan on 400 M Ω , lattian pisteestä pisteeseen resistanssi on 350 M Ω . Otettaessa vastaavat tulokset EPA-alueen rajalta, josta huoltohenkilökunta kulkee päivittäin keskimäärin satoja kertoja päivässä, tulokset ovat vain vuorokausi lattian puhdistuksen jälkeen yli 500 Ω huonommat. Resistanssi maahan on 950 M Ω ja pisteestä pisteeseen resistanssi 850 M Ω .

Työpöydät mitataan samalla tekniikalla, kuin lattiapinnat mutta kehonvarausmit-tausta ei luonnollisesti suoriteta. Mitattavan työpisteen resistanssi maahan on 450 M Ω . Työpöydän pinnan pisteiden välisen resistanssin ollessa 300 M Ω .

Mitattaessa kentänvoimakkuuksia työpisteeltä ja sen välittömästä läheisyydestä ei poikkeamia ollut. Huoltopussit, joissa laitteet tulevat huoltoon varautuvat kui-tenkin lähes poikkeuksetta kymmeniä voltteja, jos ovat kosketuksissa esimer-kiksi huoltajan housuihin. Huoltopussien kohdalla on otettu käyttöön suojaus-

menettely. Otettaessa laite työn alle siirretään huoltopussit niille tarkoitettuun laatikkoon, joka on sijoitettu pöydän alle riittävän etäisyyden päähän.

Käytettävät työkalut ovat erikseen suunniteltuja ESD-työkaluja, joten mitattaessa niiden aiheuttamien varauksien purkauksia ei poikkeamia havaittu. Kaikki vääntimet ja pinsetit, joita huoltotyössä käytetään purkavat niihin asetetun positiivisen-, sekä negatiivisen varauksen hallitusti ilman poikkeamia.

Mitattaessa tuoleja suoritetaan ensin mittaukset resistanssille maahan, tuolin rullat eristetään lattian pinnasta yksitellen, jotta muut lattiapinnalla olevat artikkelit eivät vaikuta mittaustulokseen. Useimmissa tuoleissa on 5 rullaa, joista kaikista mitataan resistanssi ja niiden tuloksista lasketaan keskiarvo, jota käytetään pöytäkirjassa mittaustuloksena.

Hyväksi eristeeksi mittauksissa on havaittu käytettäväksi kenkätesterin alustaa, jolle jalkine sijoitetaan. Mittaukseen käy mikä tahansa muukin johtavaa materiaalia oleva levy, joka on eristetty lattiapinnasta. Toinen punnus asetetaan alustalle ja toinen punnus tuolin istuimelle. Selkänojan ja istuimen välinen resistanssi mitataan samalla tekniikalla, toinen punnus istuimella ja toinen selkänojalla. Punnus ei pysy selkänojan pinnalla ilman, että sitä pitelee kädessä, joten mittaus henkilön on eristettävä itsensä punnukselta. Näin mittaustulokseen ei vaikuta mittahenkilön maadoittuminen lattian kautta.

Mitattavalla työpisteellä ei ole hyllyjä, mutta siirreltävä laatikosto on maadoitettu puolijohtavalla matolla, kuten pöytäpinnat. Mittaustulokseksi on saatu 254 M Ω .

Työvaatteiden mittauksia on tutkimussyistä tehty ESD-takista sekä kahdesta erilaisesta ESD-paidasta. Paitojen välillä ei ollut suurta eroa, mutta paidan ja takin välillä on pieni, mutta huomattava ero. Tällä ei kuitenkaan ole käytännön vaikutusta varauksien purkautumiseen. Paitojen resistanssi on mitattaessa 454 M Ω ja 532 M Ω , takin tuloksen ollessa vain 100 M Ω .

YHTEENVETO

Ulkopuolisen auditoinnin avulla huoltoa arvioitaessa ei pakollisia korjauskohteita löytynyt. Ainoastaan ESD-vaatetuksen mittauskäytäntö on muutettava satunnaisesta säännölliseksi, jotta myös vaatteiden toiminnasta olisi näyttää dokumentointia.

Jotta huollon toiminta olisi teoriatasolla optimaalinen, muutaman muutoksen tekeminen antaisi huollettaville laitteille paremman suojauksen staattisen sähkön hallinnan kannalta. Nämä muutokset ovat tiedossa, mutta niitä ei ole toteutettu joko taloudellisista tai muista syistä. Huolto sijaitsee vuokratiloissa, joten kaikkia muutoksia esimerkiksi tiloihin ei voida tehdä rajattomasti. Toisena näkökulmana on, että kaikkien muutoksien tuomaa saavutettua hyötyä ei pystytä varsinaisesti mittaamaan millään olemassa olevilla mittareilla.

Muutamia muutoksia kuitenkin tehdään tulevaisuudesta. Asiakaspalvelun henkilökunnan kulku ohjataan muita reittejä. Tällä hetkellä asiakaspalveluhenkilöt kulkevat rajatulla alueella EPA-alueen läpi, mutta tarpeeton kulku ja asiakaspalvelutilan oven availu lisäävät lian kertymistä ainakin asiakaspalvelua lähimpänä sijaitseville työpisteille. Ohjaamalla kulku muuta reittiä ja hoitamalla ainoastaan pakolliset asiat EPA-alueen kautta saataisiin kulkureittiä lähimpänä olevilta pöydiltä parempia mittaustuloksia.

Tällä hetkellä huollon alueella on käytetty erilaisia ei-ESD-materiaaleja varaosien varastointiin. Suurimmaksi osaksi kyseessä ovat pahvilaatikot, joissa osat toimitetaan huoltoon. Tähän yhteyteen pahville tarvitsisi löytää korvaava materiaali, jokin antistaattinen materiaali, joka ei varautuisi käsiteltäessä. Suurin ongelma ei ole pahvin varautuminen, kun varaosat ovat paikoillaan hyllyssä.

Varautuminen tapahtuu, kun huoltaja purkaa varaosan pahvilaatikosta. Tässä yhteydessä pahvi suurella todennäköisyydellä pääsee hankaamaan huoltajan vaatteisiin ja varautuminen syntyy. Varautunut pahvi tulisi pitää suojaetäisyyden päässä herkästä laitteesta, jotta laite ei ehdi altistumaan staattisen varauksen

purkautumiselle. Varastoimalla varaosat ESD-materiaaleihin ei tällaisen purkauksen mahdollisuutta pääsisi syntymään.

Opinnäytetyössä toteutettu huollon rakentaminen alusta lähtien osoittautui mielenkiintoiseksi, sillä se poikkeaa huomattavasti valmiin työympäristön muutostöistä. Suunnitelmaa tehdessä oli myös mahdollista vaikuttaa huoltoprosessin suunnitteluun työn suorittajan näkökulmasta.

LÄHTEET

Lauronen, J. & Uusi-Heikkilä, S. 2011. Armeka Engineering: ESD Co-ordinator Training.

SFS-käsikirja 2010. ESD - Staattisen sähkön hallinta elektroniikkateollisuudessa. Suomen standardisoimisliitto SFS RY. Helsinki: SFS.

Standardi IEC 61340-4-1 (2010).

Standardi IEC 61340-5-1 (2010).

Standardi IEC 61340-5-2 (2010).

Viheriäkoski, T. 2001. ESD: Staattinen sähkö elektroniikassa. Helsinki: Oy Edita Ab.