

Juha Julkunen

PLANRAY OY:N ESD-SUOJUKSEN KARTOITUS JA PARANNUS

Insinööriyö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Elektroniikan tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2003



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

INSINÖÖRITYÖ TIIVISTELMÄ

Osasto Tekniikka	Koulutusohjelma Elektroniikan tuotantotekniikka
Tekijä(t) Juha Julkunen	
Työn nimi Planray Oy:n ESD-suojauksen kartoitus ja parannus	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikkatuotanto	Ohjaaja(t) Pekka Juntunen Marko Ruusu
Aika 06.04.2003	Sivumäärä 76
Tiivistelmä <p>Tämän insinööritöön tarkoituksena oli kartoittaa ESD-suojauksen taso Planray Oy:ssä ja selvittää siinä olevat puutteet. ESD (Electrostatic Discharge) tarkoittaa staattisen sähköön purkausta, jollaisia esiintyy jokapäiväisessä elämässä jatkuvasti. Elektroniikan kehittyessä komponentit monimutkaistuvat ja niiden koko sekä johdinleveydet pienentyvät. Tämän seurauksena ne ovat entistä herkempiä tuhoutumaan staattisen sähköön purkauksessa, ja ESD-suojaukseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota.</p> <p>ESD-suojauksen kartoitus aloitettiin tutustumalla SFS-käsikirja 153:een, joka käsittelee staattisen sähköön hallintaa elektroniikkateollisuudessa. Planray Oy:n ESD-suojauksen taso kartoitettiin tekemällä yrityksessä auditointi, jossa ESD-suojaus käytiin kokonaisuudessaan läpi. Lisäksi käytiin tekemässä auditointi eräässä yrityksessä, joka on Planrayn asiakkaita. Näin saatiin tuloksille vertailupohjaa. ESD-suojaukselta oli tarkoitus kartoittaa myös resistanssimittauksilla, mutta aikataulullisista syistä sekä mittausvälineiden puuttuessa tästä jouduttiin luopumaan.</p> <p>Auditoinnin pohjalta tehtiin kaksi vaihtoehtoista parannusehdotusta. Lisäksi tehtiin valmiit mittauspöytäkirjat, joita voidaan käyttää tulevaisuudessa tehtävien mittausten dokumentointiin.</p>	
Luottamukselline n Ei	
Hakusanat ESD – suojaus, staattinen sähkö	
Säilytyspaikka Kajaanin AMK	



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

Kajaani Polytechnic

**ABSTRACT
FINAL YEAR PROJECT**

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Production Engineering of Electronics
Author(s) Juha Julkunen	
Title Mapping and Improving the ESD Protection of Planray Oy	
Optional professional studies Production	Instructor(s) / Supervisor(s) Pekka Juntunen Marko Ruusu
Date 14.04.2003	Total number of pages 76
Abstract <p>The purpose of this final year project was to map out and improve the ESD protection of Planray Oy. The abbreviation ESD stands for Electrostatic Discharge, which is a common phenomenon in everyday life. In electronic industry many components have become smaller and more complex, which means that they can be destroyed more and more easily at ESD discharge.</p> <p>Studying ESD protection was done on the basis of the SFS handbook 153. This handbook handles the control of electrostatic discharge in electronic industry and includes the ESD protection standards IEC 61340-5-1 and IEC 61340-5-2. The level of the ESD protection was mapped out by making a survey in the company. In this survey the whole ESD protection was mapped out, trying to find possible failures. A comparison survey was also made in another company, which is one of Planray's customers. Resistance measurements were also planned to be made, but unfortunately the schedule of this project and lack of proper measuring equipment made it impossible.</p> <p>On the basis of the survey results, two different solutions of improving ESD protection were made. A measurement report was also made, which Planray can use to document their ESD measurements in the future.</p>	
Confidential No	
Keywords ESD protection, electrostatic discharge	
Deposited at Kajaani Polytechnic	

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	8
2	INSINÖÖRITYÖN LÄHTÖKOHDAT	9
3	YLEISTÄ STAATTISESTA SÄHKÖSTÄ	10
3.1	Staattisen sähkövarauksen syntyminen.....	11
3.1.1	Sähkövaraus	11
3.1.2	Kosketusvarautuminen	11
3.1.3	Induktion aiheuttama varautuminen.....	12
3.2	Staattisen sähköön purkautuminen, ESD	13
3.3	Yleisimpiä ESD-purkaustyypppejä.....	13
3.3.1	Kipinäpurkaus.....	13
3.3.2	Koronapurkaus	14
3.3.3	Huiskupurkaus.....	14
3.3.4	Ihmisen aiheuttama purkaus	15
3.4	Sähköinen ylikuormitus, EOS (Electrical Overstress)	15
3.5	Staattiseen sähköön liittyviä suureita.....	16
3.5.1	Pintaresistiivisyys	16
3.5.2	Potentiaali.....	17
4	STAATTINEN SÄHKÖ ELEKTRONIICASSA.....	18
4.1	Tyypilliset komponenttien vikaantumismekanismit	18
4.1.1	Bulk breakdown	18
4.1.2	Thermal secondary breakdown	19
4.1.3	Pintaläpilyönti	19
4.1.4	Läpilyönti eristeessä	20
4.1.5	Metallionnin sulaminen, elektromigraatio.....	20
4.2	Purkausmallit	21
4.2.1	Human Body Model (HBM).....	21
4.2.2	Machine Model (MM).....	22
4.2.3	Charged Device Model (CDM)	23
4.3	Komponenttien vikaantumisherkyys.....	24

4.4	Materiaalien luokittelu	25
5	SUOJAUTUMINEN ESD-PURKAUKSELTA.....	27
5.1	Staattiselta sähköltä suojattu alue (ESD Protected Area).....	27
5.1.1	EPA-maadoitus.....	28
5.1.2	Lattiapinnat.....	30
5.1.3	Työskentelypinnat ja varastohyllyt.....	31
5.1.4	Istuimet.....	31
5.1.5	Vaatetus	31
5.1.6	Käsineet ja sormisuojat	31
5.1.7	Jalkineet	32
5.1.8	Ranneke	32
5.1.9	Koneet ja laitteet.....	33
5.1.10	Työkalut.....	33
5.1.11	Kärryt ja vaunut	34
5.1.12	Ionisaattorit.....	34
5.2	Toiminta EPA-alueella	35
5.3	Pakkausmateriaalit	36
5.3.1	Pakkaustyypit	36
5.3.2	Erilliset pakkaukset.....	37
5.3.3	Yhdistelmäpakkaus	38
5.3.4	Pakkausmateriaalien luokittelu	38
5.3.5	ESD-purkaukselta suojaavat pakkaukset	38
5.3.6	Staattista sähköä poistavat pakkaukset.....	38
5.3.7	Staattista sähköä poistavat pehmustemateriaalit	39
5.3.8	Pakkausten käsittely.....	39
5.4	ESD-suojausmerkinnät.....	39
5.5	Koulutus.....	42
5.5.1	Minimikoulutus.....	42
5.5.2	Peruskoulutus.....	42
5.5.3	Erikoiskoulutus	43

6	ESD-SUOJAUKSEN KARTOITUS JA VALVONTA	44
6.1	Hallinta ja valvonta	44
6.2	Auditoinnit.....	44
6.3	Visuaaliset tarkastukset.....	45
6.4	Tarkastukset mittaamalla.....	45
6.5	Mittausmenetelmät	47
6.5.1	Lattian, työpintojen ja hyllyköiden testaus	48
6.5.2	Istuimien testaus.....	49
6.5.3	Vaatetuksen testaus.....	50
6.5.4	Jalkineiden ja rannekkeiden testaus.....	50
6.5.5	Työkalujen testaus.....	51
6.6	Mittausepävarmuuden arviointi.....	51
6.7	Mittauspöytäkirjat.....	52
7	ESD-SUOJAUKSEN NYKYINEN TASO	53
7.1	Vastuualueiden jako	53
7.2	Henkilöstön koulutus.....	53
7.3	Henkilökohtainen suojautuminen	54
7.4	EPA-alue	54
7.5	Logistiikka ja varastointi.....	57
7.6	Hallinta ja valvonta	58
8	ESD-SUOJAUKSEN PARANNUSEHDOTUKSET.....	59
8.1	ESD-suojauksen perusparannus	59
8.1.1	Vastuualueiden jako	59
8.1.2	Henkilöstön koulutus	59
8.1.3	Henkilökohtainen suojautuminen.....	60
8.1.4	EPA-alue	60
8.1.5	Logistiikka ja varastointi.....	61
8.1.6	Hallinta ja valvonta	61
8.2	ESD-suojauksen laajempi parannus.....	62
8.2.1	Henkilöstön koulutus	62
8.2.2	EPA – alue	62
8.2.3	Hallinta ja valvonta	63

8.3	Parannusehdotuksista syntyvät kustannukset	63
9	YHTEENVETO	66
	LÄHDELUETTELO	67
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Staattisen sähkön purkaus (ElectroStatic Discharge, eli ESD) on tunnettu jo kauan, esimerkiksi salamointina ukkosella ja hankaussähkön aiheuttamina epämiellyttävinä mutta ihmiselle vaarattomina sähköpurkauksina. Kuitenkin monilla aloilla on kiinnitettävä nykyisin erityistä huomiota kyseiseen ilmiöön. Esimerkiksi räjähdysaineiden parissa työskennellessä sekä elektroniikkateollisuudessa staattiset purkaukset on selvitettävä ja ehkäistävä staattisen sähkön vaikutukset.

Staattiselta sähköltä suojautuminen on nykyisin yhä tärkeämpi osa tämän päivän elektroniikkateollisuudessa. Tekniikan kehittyessä sekä komponenttitiheyden kasvaessa komponentit sekä mikropiirien johdinleveydet pienenevät. Tämän johdosta komponentit tuhoutuvat entistä herkemmin staattisen sähkön purkauksessa. Niinpä elektroniikkayrityksien tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota ESD-suojaukseen, sekä sen toimivuuden säännöllisiin tarkastuksiin.

2 INSINÖÖRITYÖN LÄHTÖKOHDAT

Tämä insinööri työ tehtiin kajaanilaiselle Planray Oy:lle, joka halusi kartoittaa ESD-suojauksensa tasoa ja parantaa siinä mahdollisesti olevia epäkohtia. ESD-suojaukseen yrityksessä oli jo kiinnitetty jonkin verran huomiota, mutta sitä haluttiin vielä parantaa. Planray on huomannut ESD-suojauksen tärkeyden elektroniikan valmistuksessa, ja haluaa suojauksen tason olevan kunnossa myös tulevaisuudessa. Lisäksi haluttiin saada myöhemmin tapahtuvia ESD-mittauksia varten mittauspöytäkirjat.

Planray Oy on vuonna 1992 perustettu Kajaanissa toimiva elektroniikka-alan yritys, jonka liikevaihto vuonna 2002 oli 2.6 miljoonaa euroa. Yritys työllistää tällä hetkellä 27 henkilöä, joista tuotantopuolella on töissä 20. Elektroniikan tuotanto näyttelee siis suurta osaa yrityksen toiminnassa. Elektroniikan tuotannossa käytetään nykyään yhä enemmän herkkiä komponentteja, jotka voivat helposti vaurioitua staattisen sähkön purkauksesta. Yrityksen tarve ESD-suojauksen epäkohtien kartoitukseen ja parantamiseen on siis hyvin perusteltua.

Planray Oy valmistaa PlanControl-lämpötilansäätölaitteita, PlanDrive-moottorihjaimia sekä Plansafe-turvavalokeskuksia. Elektroniikan sopimusvalmistusta Planray Oy tekee usealle eri taholle. Omien tuotteiden loppuasiakkaita ovat kemian-, puunjalostus- ja terästeollisuus sekä voimalaitokset. Elektroniikan sopimusvalmistuksessa asiakkaita ovat työkoneita, tietokoneita, lääkintätuotteita, analysaattoreita, ja telealan tuotteita valmistavat yritykset. Planray Oy:n tuotantolinjassa on piirikorttien valmistukseen seuraavat välineet:

- ladontakone Mydata TP9UFP
- pastanpaistokone Simatec ISSN HPAS350
- juotosuuni Ersä Hotflow 5
- annostelulaite (liima/pasta) Dima Dotmaster SMDU 5000
- ladontakone Fuji FBA
- juotoskone Ersä ETS330

3 YLEISTÄ STAATTISESTA SÄHKÖSTÄ

3.1 Staattinen sähkö ilmiönä

Staattista sähköä esiintyy aina luonnossa, mutta kyseistä ilmiötä on opittu ymmärtämään kunnolla vasta aivan viime vuosisatoina. Ilmiö tunnetaan myös nimellä hankaussähkö, joka on hyvin kuvaava nimi staattisen sähkön syntytavalle. Staattinen sähkövaraus syntyy nimittäin liikkeestä, kuten kappaleiden hankauksesta, liittämisestä tai erottamisesta. Tästä käytetään nimitystä kosketusvarautuminen. Sähköä johtavat kappale voi varautua myös induktion vaikutuksesta, jos se joutuu toisen varautuneen kappaleen sähkökenttään. Varautuneet hiukkaset tai ionisoituneet molekyylit aiheuttavat minkä tahansa kappaleen varautumisen, jos ne pääsevät kasautumaan kappaleen pinnalle.

Termi staattinen sähkö tarkoittaa kappaleessa paikallaan olevaa sähkövarausta, staattisen sähkön purkaus taas tarkoittaa varauksen nopeaa siirtymistä kappaleesta maahan tai toiseen eri potentiaalissa olevaan kappaleeseen. Varauksen nopeaa siirtymistä nimitetään mm. sähköiskuksi, ja se ilmenee usein kipinöintinä, tai esim. ukkosen kyseessä ollessa salamointina.

Staattisia sähkövarauksia syntyy ympäristössä jatkuvasti, mm. jokainen ihminen toimii usein staattisen sähkövarauksen kuljettajana. Kuivissa olosuhteissa ihmiskehosta on mitattu jopa yli 30000 voltin jännitteitä.

3.2 Staattisen sähkövarauksen syntyminen

3.2.1 Sähkövaraus

Materiaalit koostuvat atomeista, jotka taas koostuvat protoneista, neutroneista ja elektroneista. Protonit ovat positiivisesti varautuneita hiukkasia, elektronit puolestaan negatiivisesti varautuneita, neutroneilla ei ole sähkövarausta. Normaalitilassa atomissa on yhtä monta protonia ja elektronia, joten sen kokonaisvaraus on nolla. Atomin varaus muuttuu, kun se luovuttaa tai ottaa vastaan elektroneja. Jos atomi ottaa vastaan elektroneja, on se negatiivisesti varautunut. Vastaavasti luovuttamalla elektroneja varaus on positiivinen.

Atomien varautumismekanismit ovat erittäin monimutkaisia, varautumiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten materiaalien kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, epäpuhtaudet ja kosteus sekä kappaleiden välinen sijainti ja kontakti.

3.2.2 Kosketusvarautuminen

Kosketusvarautumista tapahtuu kahden kiinteän aineen, kahden nestemäisen tai kiinteän ja nestemäisen aineen rajapinnassa. Kaasuissa tätä ei tapahdu, mutta kaasun sisältämät hiukkaset tai nestepisarot voivat varautua. Kappaleiden liittäminen, erottaminen tai hankaaminen aiheuttaa elektronien liikettä atomien välillä, jolloin toinen kappale saa positiivisen ja toinen negatiivisen varauksen. Kappaleiden varautumisherkkyys riippuu siitä, kuinka helposti kappaleen atomit luovuttavat tai ottavat vastaan elektroneja.

Taulukossa 1 on esitetty triboelektrinen sarja, joka kertoo materiaalien varautumisherkkydestä. Mitä kauempana materiaalit ovat toisistaan taulukossa, sitä herkemmin ne synnyttävät sähkövarauksen. Sarjan keskellä olevat puu, paperi ja puuvilla ovat käytännössä neutraaleja materiaaleja, sillä ne eivät varaudu merkittävästi ilmankosteuden ollessa yli 20 %.

Varauksen voimakkuus riippuu siis materiaaleista sekä kappaleiden erotusnopeudesta. Myös ilmankosteus sekä lämpötila vaikuttavat suuresti varauksen syntyyn; kuivassa ilmassa varauksen voimakkuus on huomattavasti suurempi kuin kosteassa.

Taulukko 1. Triboelektrinen sarja

+	Ilma
	Kädet
	Asbesti
	Jäniksen turkki
	Lasi
	Hiukset
	Nylon
	Villa
	Silkki
	Alumiini
	Paperi
	Puuvilla
	Puu
	Meripihka
	Nikkeli, kupari
	Sinkki
	Messinki, hopea
	Kulta, platina
	Polyesteri
	Polystyreeni, styrox
	Polyuretaani, vaahtomuovi
	Polyeteeni
	Polypropeeni
	PVC
	Silikonit
	Teflon

3.2.3 Induktion aiheuttama varautuminen

Kaikkia varautuneita kappaleita ympäröi sähkökenttä. Kun tähän sähkökenttään tuodaan varautumaton kappale, se vetää puoleensa vastakkaismerkkistä varausta ja kappale varautuu sähkökentän vaikutuksesta, välitöntä kosketusta ei tarvita. Tätä ilmiötä kutsutaan induktiovarautumiseksi, ja se on yhtä yleinen varautumistapa kuin kosketusvarautuminen

3.3 Staattisen sähkön purkautuminen, ESD

Kun varautuneet kappaleet erotetaan toisistaan tai varautunut kappale koskettaa maapotentiaalia, varaus purkaantuu nopeasti. Jollei sopivaa purkauskanavaa löydy, tietyt eristeet saattavat säilyttää varauksen jopa kymmeniä tunteja. Varaukset tasoittuvat aina, koska atomi pyrkii luontaiseen neutraaliin tilaan.

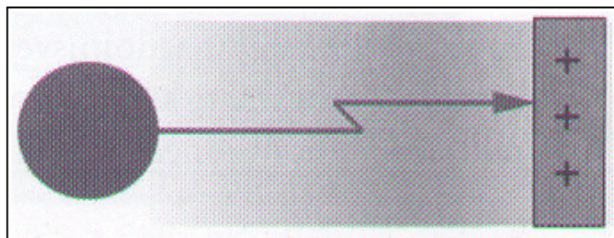
Staattisen sähkön purkauksia tapahtuu jatkuvasti, mutta useimmat niistä ovat ihmiselle mahdottomia havaita. Purkauksien havaitsemiseen vaikuttavat ympäristöolosuhteet sekä aistien herkkyys, esim. tuntoaistilla havaittava purkaus on jännitteeltään noin 3000 V, ja kipinän syntymiseen tarvitaan 5000 V jännite.

Rajussa staattisen sähkön purkauksessa sähkövirran voimakkuus kasvaa erittäin voimakkaasti, ja hetkelliset tehopiikit voivat olla erittäin suuria. Ihminen ei kuitenkaan tietävästi voi menehtyä staattisen sähkön purkaukseen, koska purkauksen kokonaisenergiamäärä jää matalaksi sen lyhyen keston takia.

3.4 Yleisimpiä ESD-purkaustyyppöjä

3.4.1 Kipinäpurkaus

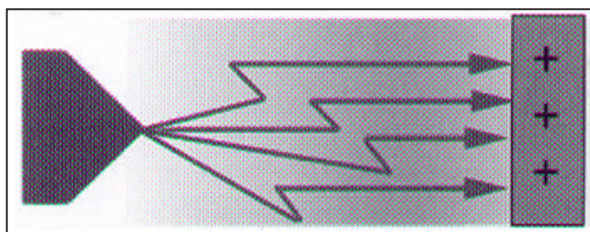
Kipinä on kahden johteen välillä tapahtuva sähköinen purkaus (kuva 1). Se muodostaa kappaleiden välille purkauskanavan, jossa kulkee hyvin suuri virta. Purkauskanavan lämpötila saattaa nousta kymmeniin tuhansiin asteisiin. Purkaus on hyvin nopea ja energiamäärältään suuri, joten se voidaan havaita näkyvänä kipinä. Tyypillinen esimerkki kipinäpurkauksesta on ihmisen sormen ja metallin välillä tapahtuva purkaus.



Kuva 1. Kipinäpurkaus [2]

3.4.2 Koronapurkaus

Koronapurkaus (kuva 2) voi syntyä johteisiin, joissa on teräviä kohtia tai reunoja. Purkaus tapahtuu, kun maadoitettu johde siirtyy voimakkaasti varautunutta kappaletta kohti, purkauskanavia muodostuu kuitenkin kipinäpurkauksesta poiketen useita. Purkauksen aiheuttaa terävässä kohdassa oleva voimakas sähkökenttä, joka ylittää ilman läpilyöntivoimakkuuden (3 MV/m). Koronapurkaus on energiamäärältään pienempi kuin kipinä, mutta sopivissa olosuhteissa purkauksen hehkumisen voi havaita.



Kuva 2. Koronapurkaus [2]

3.4.3 Huiskupurkaus

Huiskupurkaus voi syntyä, kun tylppä maadoitettu kohde lähestyy varautunutta eristettä, esim. ihmisen sormen lähestyessä muovista pintaa. Purkaus on kestoltaan lyhytaikainen, ja kipinäpurkauksesta poiketen varauksista vapautuu vain pieni osa, joten kappaleet jäävät eri potentiaaleihin myös purkauksen jälkeen. Huolimatta purkauksessa vapautuvasta pienemmästä energiamäärästä, myös huiskupurkaus voi tuhota elektronisia komponentteja.

3.4.4 Ihmisen aiheuttama purkaus

Jos ihmiskeho on eristetty maasta, ihmiskehoon syntyy helposti haitallisia staattisen sähkön varauksia, jotka myös säilyvät pitkään. Varautuminen voi tapahtua monella eri tavalla, esim. kävely lattialla, tuolista nouseminen, muovien käsittely tai jopa varautuneen kappaleen lähellä seisominen aiheuttaa kehon varautumisen. Taulukossa 2 on esitetty joitakin ihmisen toimien seurauksena syntyviä varausjännitteitä. Varaus purkautuu ihmisestä yleensä energiamäärältään suurena kipinä, joten riski elektronisten komponenttien vaurioitumiseen on huomattava.

Taulukko 2. Varausjännitteitä

Tapahtuma	Ilmankosteus	
	Rh=10-20%	Rh=65-90%
Kävely kokolattiamatolla	35000 V	1500 V
Kävely vinyylilattialla	12000 V	250 V
Muovipussin nosto työtasolle	20000 V	1200 V
Työtuolista nouseminen	18000 V	1500 V

3.5 Sähköinen ylikuormitus, EOS (Electrical Overstress)

EOS-vika on luonteeltaan hyvin samanlainen kuin ESD-purkauksesta aiheutunut vikaantuminen. Komponentille haitallinen sähköenergia voi syntyä valmistusprosessissa monista eri lähteistä. Potentialieroja saattaa esiintyä esim. juottimen kärjen sekä komponentin välillä, ladonta- ja juotoslinjoissa, kuljettimissa ym. laitteissa johtavilla pinnoilla. Sähkölaitteet voivat aiheuttaa sähköisiä ja sähkömagneettisia jännitepiikkejä. Sähköinen ylikuormitus voi jossain tapauksessa myös tapahtua komponentissa sisäisesti, jos se joutuu värähtelemään suorituskyvyn ääriarajoilla.

EOS-vika voi olla myös sähköturvallisuusriski, jos ylikuormitus johtuu esim. sähköverkon tai sähkönsyötön häiriöstä. Sähkölaitteiden maadoitus on rakennettava sähköturvallisuusmääräysten mukaisesti. Laitteiden ja työkalujen testaus olisi hyvä järjestää säännöllisesti, ja aina ennen kuin käsitellään hyvin herkkiä komponentteja. Yleisenä sääntönä voidaan pitää, etteivät yli 0,5 V:n jännitepiikit ole sallittuja.

3.6 Staattiseen sähköön liittyviä suureita

3.6.1 Pintaresistiivisyys

Materiaalit luokitellaan usein resistiivisyyden perusteella, vaikka sähköjohtavuus ei ole verrannollinen materiaalien varautumiseen. Tämä johtuu mittausteknisistä syistä. Pintaresistiivisyys kuvaa kuitenkin hyvin materiaalien ominaisuuksia, sillä materiaalin sähköjohtavuus vaikuttaa varauksen purkausaikaan.

Pintaresistiivisyyttä ei pidä sotkea pintaresistanssiin, joka on toinen yleisesti käytetty mittaussuure. Resisttiivisyyden arvo poikkeaa resistanssin arvosta siten, että siinä otetaan huomioon myös mittauselektrodin geometria, jolloin erilaisilla antureilla tehdyt mittaukset ovat keskenään vertailukelpoisia.

Pintaresistiivisyys voidaan laskea kaavasta:

$$\rho = \frac{U}{I} * k = \frac{U}{I} * \frac{2\pi}{\ln \frac{r_{ulko}}{r_{keski}}} = R * \frac{2\pi}{\ln \frac{r_{ulko}}{r_{keski}}}$$

k = käytettävän mittauselektrodin geometriakerroin

r_{ulko} = ulkoelektrodin säde

r_{keski} = keskielektrodin säde

Pintaresistiivisyyden yksikkö on sama kuin pintaresistanssilla, eli ohmi (Ω). Joskus on kuitenkin selvyyden vuoksi hyvä käyttää merkintää Ω/\square (ohmi/neliö), vaikka merkinnällä ei olekaan fysikaalista perustaa.

3.6.2 Potentiaali

Potentiaali eli jännite-ero voidaan mitata yleensä vain johteista. ESD-mittauksissa potentiaali on lähes käsitteellinen, sillä jännite-eroja jotka esiintyvät eristeissä ja niiden sähkökentissä on lähes mahdoton määritellä tarkasti. Sähköstaattisessa varauksessa syntyvä jännite-ero on kuitenkin tärkeä suure ilmiössä ja sen ymmärtämisessä.

4 STAATTINEN SÄHKÖ ELEKTRONIIKASSA

Elektroniikkateollisuudessa staattinen sähkö aiheuttaa laitteiden ja komponenttien vikaantumista sekä virhetoimintoja. Puolijohteiden sekä muiden elektronisten komponenttien vaurioitumisriski on nykyisin kasvanut huomattavasti, koska integrointiaste on kasvanut sekä komponenttien koko ja johdinleveydet ovat pienentyneet. Vaurioita on usein mahdoton havaita visuaalisessa tarkastuksessa, tutkiminen on muutenkin vaikeaa ja edellyttää kalliita mittalaitteita.

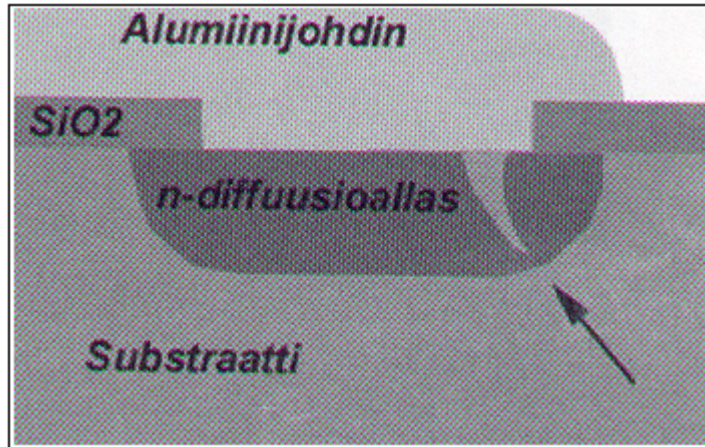
Riskien välttämiseksi on varmistettava, ettei suuria jännitteitä pääse syntymään herkkien komponenttien lähistöllä, eivätkä komponentit pääse kosketuksiin jännitteiden kanssa. Tämä voidaan toteuttaa oikeilla materiaalivalinnoilla sekä työskentelytavoilla. Kokonaisuutta, joka on rakennettu suojaamaan yrityksen tuote alusta loppuun ESD/EOS-vikaantumiselta, kutsutaan ESD-suojaukseksi.

4.1 Tyypilliset komponenttien vikaantumismekanismit

Staattisen sähköön purkaus voi vikaannuttaa komponentin usealla eri tavalla. Pääasiassa kuitenkin vikaantuminen johtuu joko komponentin johtimien sulamisesta ja höyrystymisestä tai mikropiirien rakenteiden välisissä eristeissä tapahtuvista läpilyönneistä.

4.1.1 Bulk breakdown

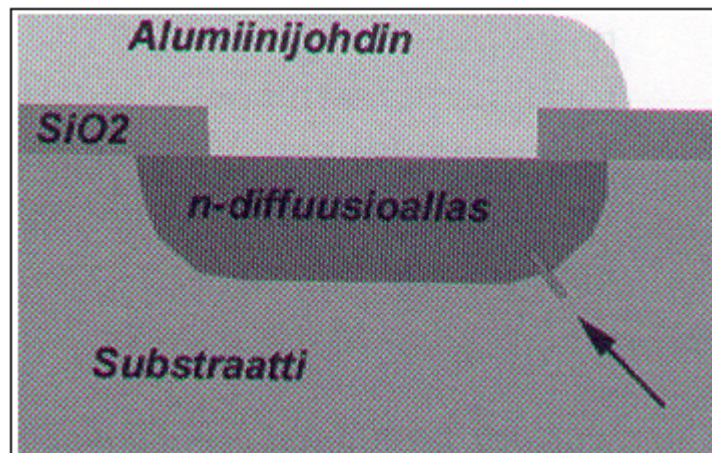
Puolijohdemateriaalissa tapahtuu läpilyönti (kuva 3), jossa voimakas virtatiheys aiheuttaa lämpötilan nousua. Läpilyönti aiheuttaa puolijohdemateriaalin lejeeroitumista ja metallin seostumista diffuusioaltaaseen.



Kuva 3. Bulk breakdown [2]

4.1.2 Thermal secondary breakdown

Puolijohteen PN-liitokseen nopeasti kohdistuva suuri jännite aiheuttaa läpilyönnin. Pulssin suuri virrantiheys saa aikaan voimakkaan lämpötilan kasvun läpilyöntikohdassa, ja PN-liitokseen syntyy resistiivistä vuotoa (kuva 4).



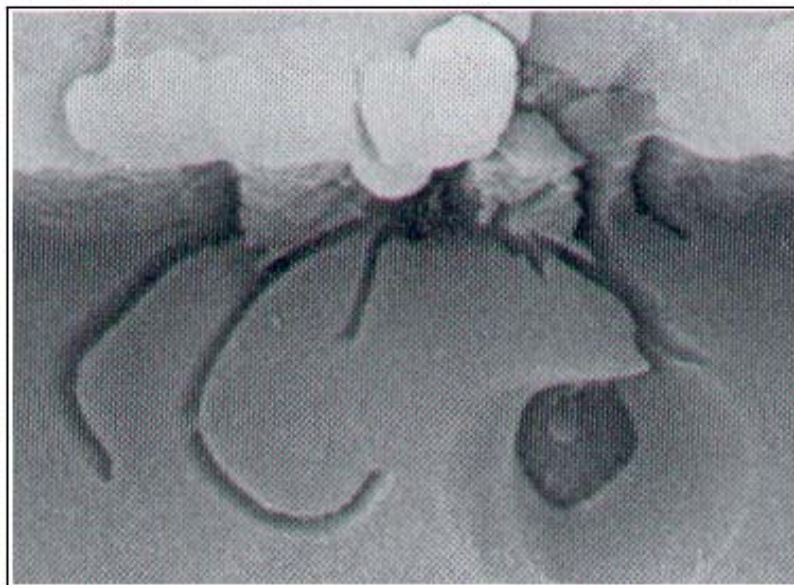
Kuva 4. Thermal secondary breakdown [2]

4.1.3 Pintaläpilyönti

Lähekkäin olevien johteiden välillä voi tapahtua ns. pintaläpilyönti, joka tyypillisesti etenee eristeen pinnalla liukupurkauksena. Pintaläpilyönnissä metalli siirtyy höyrystymällä aikaansaaden joko oikosulkuja tai vuotovirran kasvua.

4.1.4 Lämpilyönti eristeessä

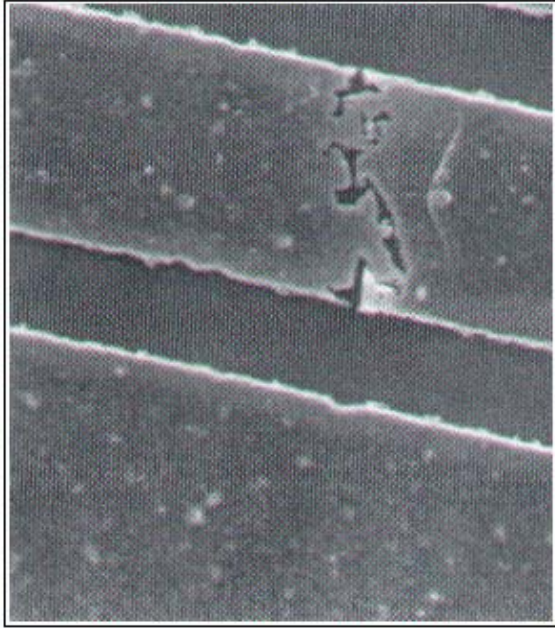
Ylijännitteen aiheuttama lämpilyönti voi eristeessä sulattaa elektrodeina toimivia materiaaleja, jotka höyrystyvät oksidiin syntyneen reiän sisälle aiheuttaen oikosulkuja tai resistiivistä vuotoa (kuva 5).



Kuva 5. Lämpilyönti oksidikerroksessa [2]

4.1.5 Metalloinnin sulaminen, elektromigraatio

Suuri virrantiheys voi sopivissa olosuhteissa aiheuttaa johtimen sulamisen, tai jopa katkaista johtimen (kuva 6). Ilmiötä voi verrata tavallisen sulakkeen toimintaan vikatilanteessa.



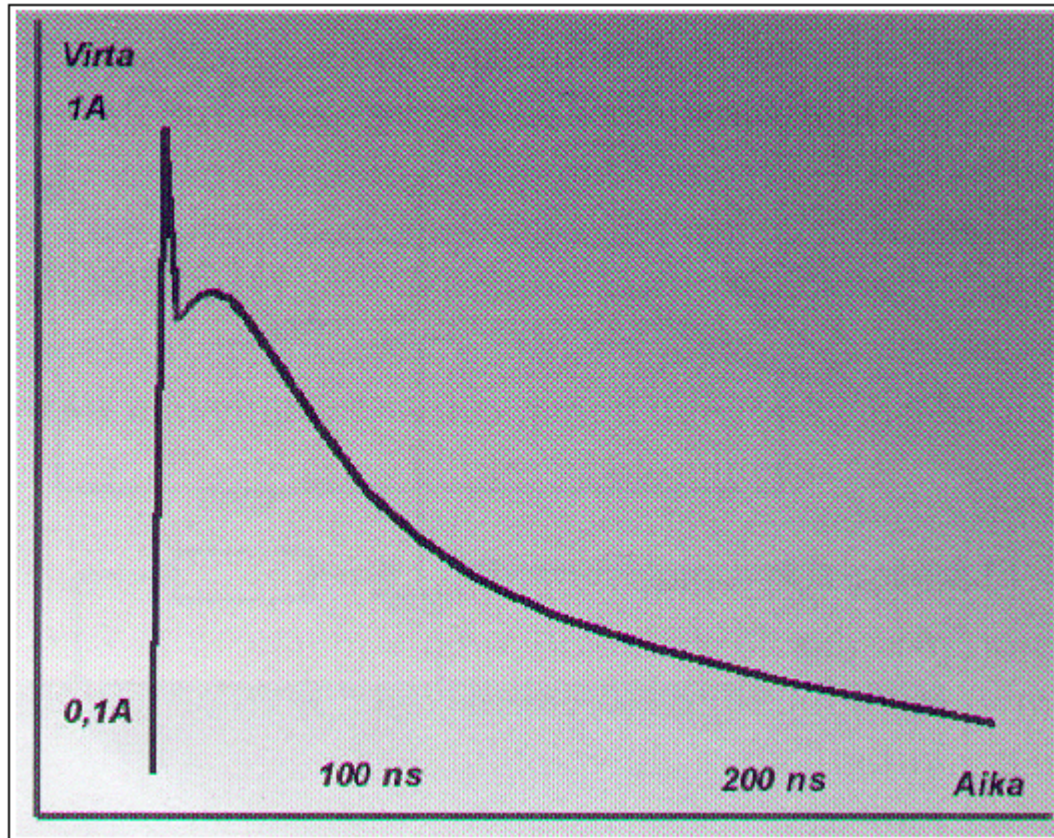
Kuva 6. Elektromigraatio [2]

4.2 Purkausmallit

Elektroniikkateollisuudessa ESD-purkaus voi tapahtua monella eri tavalla, esim. ihmisestä, ladontakoneesta jne. Näitä purkausmekanismeja pyritään selventämään ja havainnollistamaan purkausmallien avulla.

4.2.1 Human Body Model (HBM)

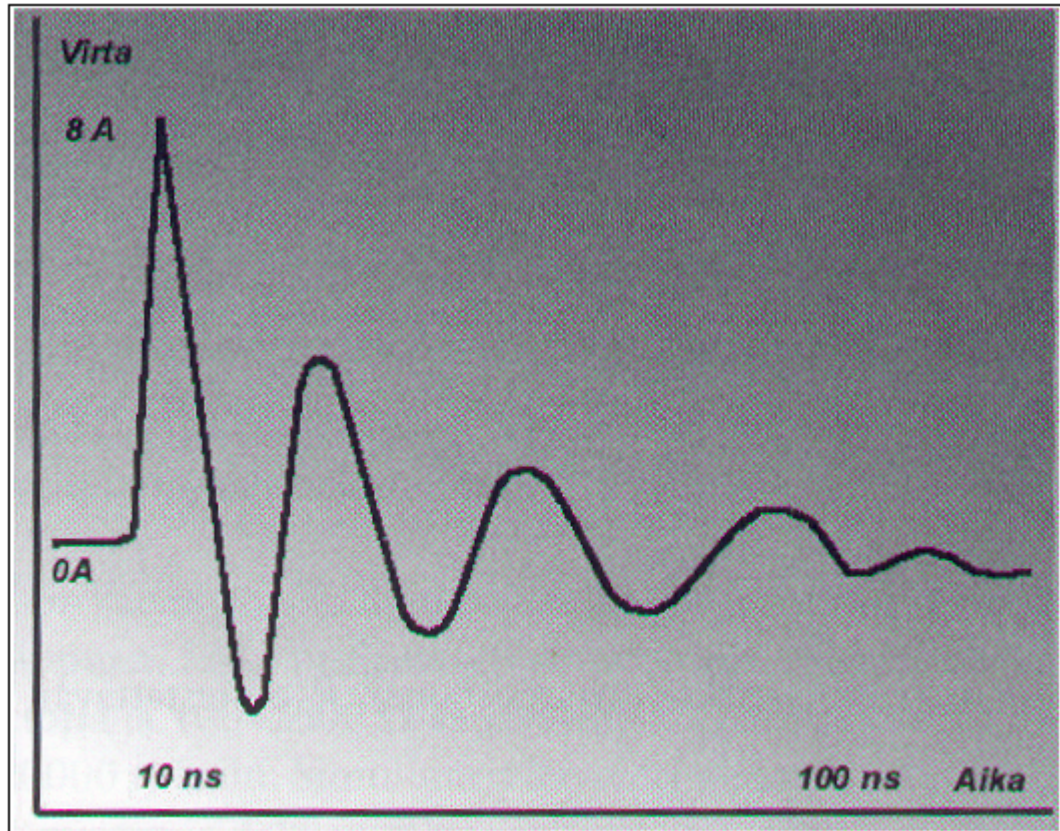
Kun voimakkaasti varautunut henkilö koskettaa maadoitettua johdetta, varaus purkautuu nopeasti. Komponenteille haitallisen ESD-purkauksen kesto vaihtelee tyypillisesti muutamista nanosekunneista satoihin nanosekunteihin. Koska ihmiskehon kapasitanssi ja ihon resistanssi vaihtelevat, on komponenttien valinta simulointiin vaikeaa. ESD-purkauksen simuloinnissa käytetään kytkentää, jossa on 80 – 250 pF kondensaattori sekä 100 – 2500 Ω sarjavastus, jännite on välillä 500 – 20000 V. Ihmiskehon mallia käytetään komponenttien vikaantumisherkkyyden testaamiseen sekä pakkausmateriaalien suojausominaisuuksien määrittämiseen. Esimerkki tyypillisestä HMB-purkauksesta on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Tyypillinen human body model – purkaus [2]

4.2.2 Machine Model (MM)

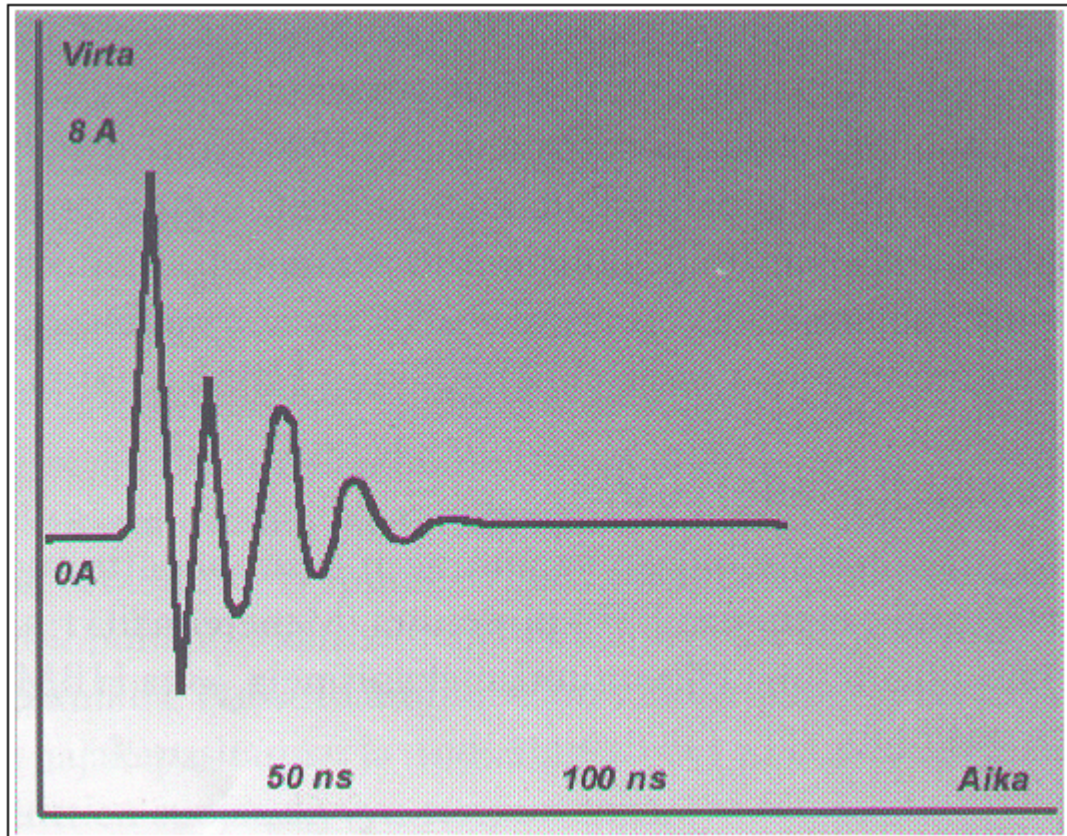
Tuotantolinjalla voi esiintyä HMB-mallia huomattavasti tehokkaampia ja vaarallisempia ESD-purkauksia. MM-mallissa simuloidaan tilannetta, jossa johtava kappale on ensin varautunut indusoitumalla ja sen jälkeen joutunut kosketuksiin komponentin kanssa. MM-mallissa kytkentä on samankaltainen kuin HMB-mallissa, ainoastaan sarjavastusta ei ole mukana rajoittamassa virran kulkua. Menetelmää käytetään komponenttien suojauskyvyn testaamiseen. Tyypillinen machine model-purkaus on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Tyypillinen machine model – purkaus [2]

4.2.3 Charged Device Model (CDM)

CDM-mallilla simuloidaan tilannetta, jossa varautunut komponentti koskee maapotentiaalia ja aiheuttaa ESD-purkauksen. Myös CDM-mallissa kytkennässä ei ole virtaa rajoittavaa sarjavastusta, joten tehopiikki on voimakas. Pulssi on lyhykestoinen ja energialtaan pieni, joten komponentin sisäiset suojausrakenteet eivät välttämättä ehdi toimia. Menetelmällä voidaan tutkia nopeiden pulssien aiheuttamia vikaantumismekanismeja, joita HBM- ja MM-menetelmillä ei saada testattua. Tyypillinen CDM-purkaus on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Tyypillinen charged device model – purkaus [2]

4.3 Komponenttien vikaantumisherkyys

Komponenttien vikaantumisherkyteen vaikuttavat monet tekijät, kuten valmistustekniikka, piirin integrointiaste, koko ja mitoitus, eristeiden ja johteiden väliset etäisyydet sekä mahdolliset komponentin sisäiset esim. diodeilla toteutetut suojarakenteet. Vikaantumisjännitteet voivat vaihdella 10 voltista jopa 25000 volttiin riippuen komponentin tyypistä. Taulukossa 3 on esitetty muutamien komponenttityyppien vikaantumisjännitteitä.

Taulukko 3. Tyypillisiä vaurioitumisjännitteitä

Puolijohteen tyyppi	Tyypillinen vaurioitumisjännite (V, HBM)
Herkät erikoiskomponentit	10...100
Teho Mosfet	100...300
MOS VLSI (ennen v.1990)	400...1000
HC- ja samankaltaiset perheet	1500...3000
CMOS, A – sarja	1000...2500
CMOS, B – sarja	2000...5000
Lineaari – MOS	800...4000
Vanhan sukupolven bipolaari	600...6000
Nykyaikainen Bipolaari	2000...8000
Teho – bipolaari	7000...25000
Kalvovastus	1000...5000

4.4 Materiaalien luokittelu

Käytettävien materiaalien luokittelu on tärkeää, jotta osattaisiin käyttää oikeanlaista materiaalia kuhunkin tarkoitukseen. Standardin IEC 61340-5-1 mukaan kaikki materiaalit voidaan luokitella seuraavalla tavalla niiden sähkönjohtokyvyn mukaan.

Heikosti varautuva materiaali:

- Materiaali, joka hangattaessa tai irrotettaessa saman- tai toisenlaisesta materiaalista synnyttää hyvin vähän varauksia, ominaisuudella ei suoraa yhteyttä materiaalin pintaresistanssiin.

Staattiselta purkaukselta suojaava materiaali:

- Materiaali, joka rajoittaa virran kulkua ja vaimentaa ESD-purkauksesta aiheutuvaa energiaa siten, että 1000 V:n henkilöpurkauksesta vapautuva energia on enintään 50 nJ.

Staattista sähköä johtava materiaali:

- Materiaali, jonka pintaresistanssi on välillä $1 \times 10^2 \Omega$ - $1 \times 10^5 \Omega$

Staattista sähköä poistava materiaali:

- Materiaali, jonka pintaresistanssi on välillä $1 \times 10^5 \Omega$ - $1 \times 10^{11} \Omega$

Eristävä materiaali:

- Materiaali, jonka pintaresistanssi on suurempi kuin $1 \times 10^{11} \Omega$

5 SUOJAUTUMINEN ESD-PURKAUKSELTA

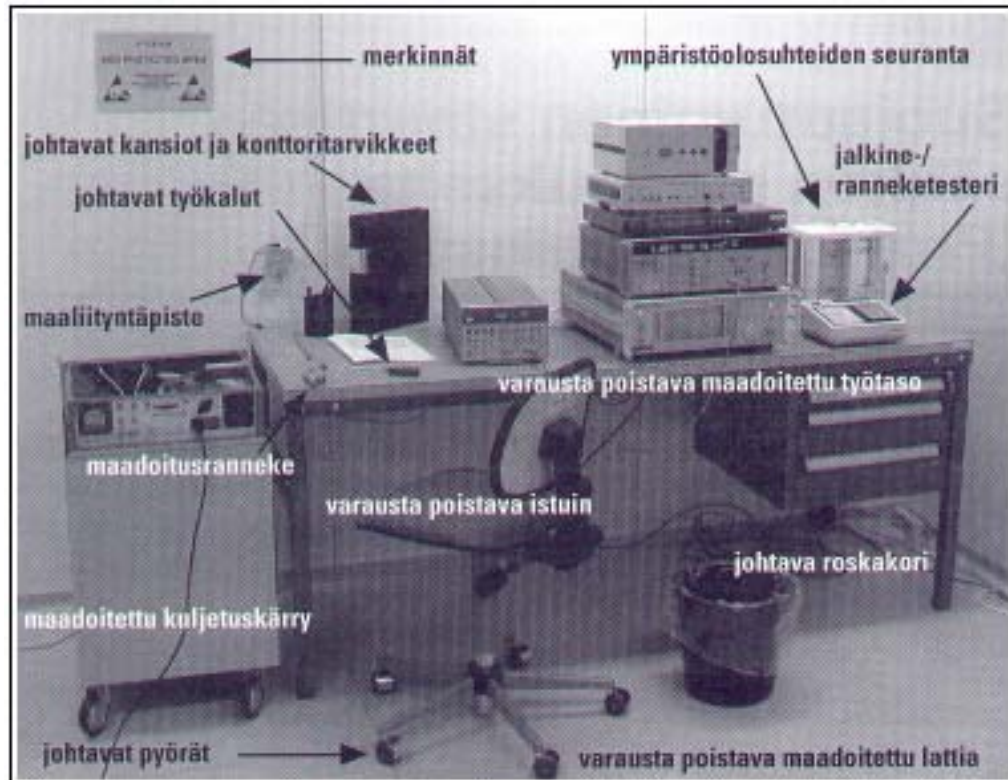
ESD-suojauksesta on pyritty tekemään standardeja, mutta alalla vallitsee tällä hetkellä suhteellisen ristiriitainen tilanne, johtuen monista standardeja valmistavista organisaatioista ja alan nopeasta kehityksestä. Suomessa on hyväksytty käyttöön IEC:n standardit IEC 61340-5-1 ja IEC 61340-5-2, jotka on vahvistettu suomalaisiksi SFS-standardeiksi tunnuksilla SFS-EN 61340-5-1 ja SFS-EN 61340-5-2.

ESD-purkaukselta suojautumisen täytyy kattaa tuotantoketjun kaikki vaiheet aina materiaalin vastaanotosta siihen saakka, kunnes valmis tuote lähtee asiakkaalle. Tämä onnistuu vain kun ESD-suojaus on kunnossa kaikkialla yrityksessä ja henkilöstö on koulutettu työskentelemään oikein ja ottamaan ESD-suojauksen tarpeellisuuden huomioon.

5.1 Staattiselta sähköltä suojattu alue (ESD Protected Area)

Staattiselta sähköltä suojattu alue eli EPA on yrityksen sisällä oleva tarkoin rajattu tila, jossa voidaan käsitellä ESD-herkkiä komponentteja. EPA-alueen toteutuksella pyritään siihen, että staattisen sähkökenttien ja -purkauksen aiheuttamat vaurioitumisriskit olisivat mahdollisimman vähäiset.

Rakenteeltaan EPA-alue voi olla mitä tahansa yksittäisestä työpisteestä aina tuhansien neliömetrien teollisuushalliin. EPA-alueella tulee aina kuitenkin olla määrätyt rajat, jotka normaalisti merkitään lattiaan värillisellä merkinnällä. Tyypillisiä EPA-alueita ovat esim. tavaran vastaanotto, komponenttivarasto, tuotantotilat, testaustilat jne. ESD-herkkien komponenttien käsittely suojaamattomana EPA-alueen ulkopuolella tulisi olla ehdottomasti kielletty. Kuvassa 10 on esitetty tyypillinen EPA-alueella sijaitseva työpiste.

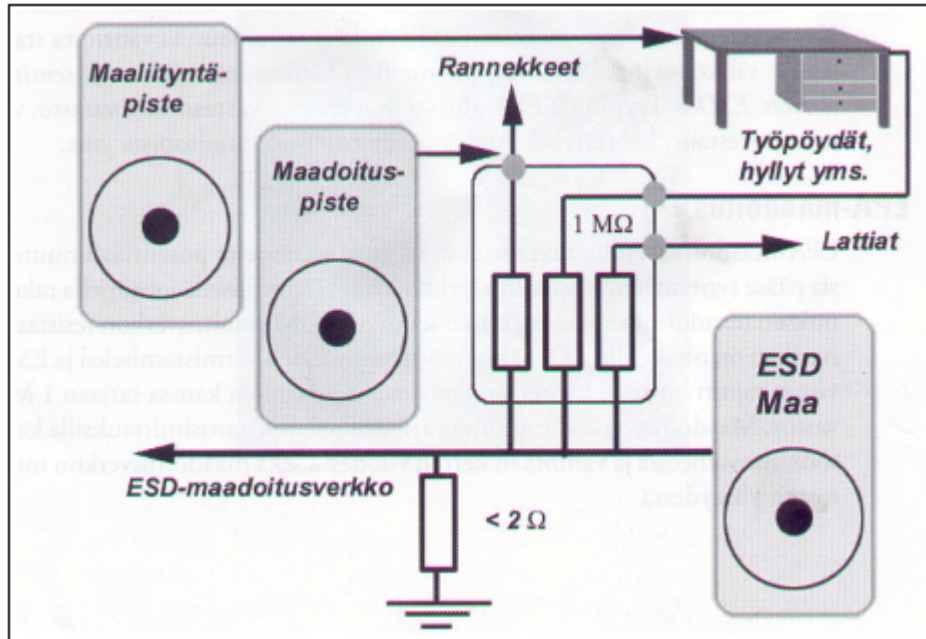


Kuva 10. Tyypillinen työpiste EPA-alueella [2]

Kaikkien EPA-alueella käytettävien tarvikkeiden ja kalusteiden tulee olla joko varausta poistavia, johtavia tai heikosti varautuvia, materiaalien vaatimukset määräytyvät käytettävän suojaustason valinnan mukaisesti. Usein suojaustaso määritellään siten, että EPA-alueella ei saa esiintyä yli 100 V staattisen sähkön jännitteitä eikä yli 10 KV/m sähkökentän voimakkuuksia.

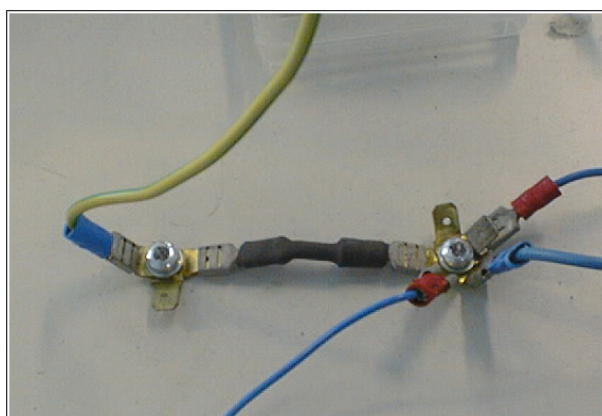
5.1.1 EPA-maadoitus

EPA-alueelle rakennetaan koko alueen kattava maadoitusverkko (kuva 11), joka estää nopeiden potentiaalimuutosten syntymisen. Maadoitusverkko kytketään erillisellä johtimella rakennuksen maadoitukseen esim. sähkökeskuksessa. Maadoitusverkon resistanssin maahan on oltava hyvin pieni, alle 2 Ω . Koska yleensä tarvitaan useita liityntäpisteitä, maadoitusverkko toteutetaan maadoituskiskoilla jotka vedetään tarpeellisiin paikkoihin rakennuksessa.



Kuva 11. EPA-maadoitusverkko [2]

Jokaisen työskentelyalueen tai -alustan läheisyyteen asennetaan maaliityntäpiste, jonka avulla voidaan maadoittaa työpöytä, työkalut sekä käyttäjä rannekkeen avulla. Maaliityntäpisteen liitin ei saa olla yhteensopiva minkään muun kuin maadoitukseen käytettävän liitinjärjestelmän kanssa. Hauenleukojen käyttöä tulee välttää, sillä ne irtoavat helposti ja ne voidaan kytkeä väärään paikkaan. Maaliityntäpisteet kytketään EPA-maadoituskiskoon $1 \text{ M}\Omega$:n vastuksella (kuva 12), jonka tarkoituksena on rajata virtaa, jos vahinkotapauksessa työntekijä koskettaa jännitteistä johdinta.

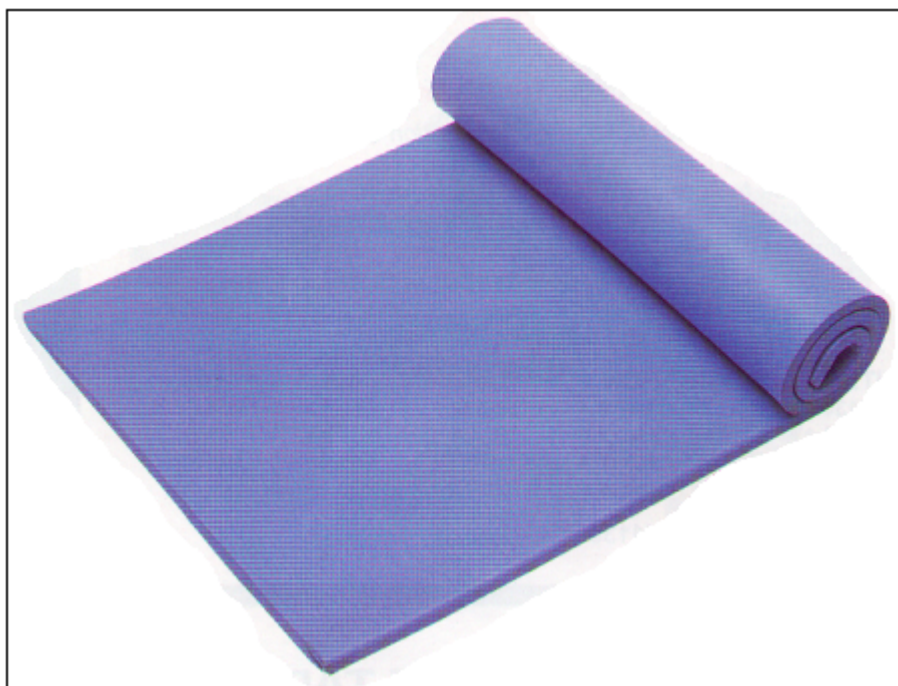


Kuva 12. Maaliityntäpisteen $1 \text{ M}\Omega$:n vastus

ESD-maadoitusjohtimet suositellaan merkittäväksi erikseen, tekstillä ESD-maa. Jos johdin toimii pelkästään ESD-tarkoituksessa, ei se saa olla kelta-vihreäraitainen, vaan musta tai läpinäkyvä.

5.1.2 Lattiapinnat

Varausta poistava lattiapinnoite (kuva 13) liitetään EPA-maahan kupariliuskoilla, ilman lisävastuksia. Lattian resistanssi maahan ei saisi ylittää arvoa $1 \times 10^9 \Omega$ (1000 M Ω), uusille lattioille suositellaan maksimiarvoa $1 \times 10^8 \Omega$ (100 M Ω), koska lattian resistanssi suurenee pinnoitteen vanhetessa. Jos lattiaa käytetään ensisijaisena maadoitusmenetelmänä (ranneketta ei käytetä), niin resistanssin tulisi olla välillä $7.5 \times 10^5 \Omega \dots 3.5 \times 10^7 \Omega$.



Kuva 13. Lattia- ja työpinnoilla käytettävää pinnoitemateriaalia [6]

5.1.3 Työskentelypinnat ja varastohyllyt

Työskentelypintojen ja varastohyllyjen materiaalin on myös oltava varausta poistavaa, se voi olla myös samaa kuin lattiassa. Nämä pinnat liitetään maahan yleensä $1\text{ M}\Omega$ vastuksella. Työskentelypinnan tai hyllyn pintaresistanssin tulee kuitenkin olla välillä $1 \times 10^4\ \Omega \dots 1 \times 10^{10}\ \Omega$, ja resistanssin maahan $7.5 \times 10^5\ \Omega \dots 1 \times 10^9\ \Omega$.

5.1.4 Istuimet

EPA-alueella käytetään johtavilla pyörillä varustettuja, varautumattomasta materiaalista tehtyjä maadoitettuja istuimia. Istuimessa tulee olla vähintään kahden pyörän muodostama yhteys maahan, erilliset maadoitusliuskat tai -ketjut eivät takaa riittävää kontaktia. Istuimen resistanssin maahan tulee olla pienempi kuin $1 \times 10^{10}\ \Omega$.

5.1.5 Vaatetus

EPA-alueella käytetään varausta poistavia työtakkeja, joiden tulee peittää kaikki tavallinen vaatetus käsivarsien ja vartalon alueella. EPA-alueella oltaessa takin tulee olla kiinni, koska tavallisiin vaatteisiin voi syntyä suuria staattisen sähkön varauksia. Varausta poistavan takin hihojen ja/tai kauluksen tulee olla kosketuksessa ihoon. Työtakin pisteestä pisteeseen (hihasta hihaan)-resistanssin tulee olla alle $1 \times 10^{12}\ \Omega$.

5.1.6 Käsineet ja sormisuoja

Staattista sähköä johtavien tai poistavien käsineiden ja sormisuojausten käytön tulisi olla välttämätöntä, kun käytetään käsityökaluja ESD-herkkien osien käsittelyyn. Jos käsineet riisutaan EPA-alueella, niitä ei tulisi laittaa ESD-herkkien osien lähelle.

5.1.7 Jalkineet

EPA-alueella tulee käyttää varausta poistavia jalkineita (kuva 14), joiden resistanssin maahan tulee olla välillä $5 \times 10^4 \Omega \dots 1 \times 10^8 \Omega$. Tällöin maadoitusrannekkeen käyttö ei aina ole välttämätöntä, koska henkilö maadoittuu myös kenkien ja lattian kautta. Kenkien johtavuus tulee testata säännöllisesti.



Kuva 14. Varausta poistava jalkine [4]

5.1.8 Ranneke

EPA-alueella tulee aina käyttää mahdollisuuksien rajoissa kuvan 15 mukaista ranneketta ESD-herkkiä osia käsiteltäessä. Ranneke koostuu käyttäjän ranteeseen kiristettävästä hihnasta sekä johdosta, jolla ranneke kytketään maaliityntäpisteeseen $1 \text{ M}\Omega$ vastuksella. Johdossa tulee olla vähintään yksi virtaa rajoittava vastus, jonka tulee sijaita käyttäjän puoleisessa päässä. Rannekkeen resistanssi kädessäpidettynä tulisi olla välillä $7.5 \times 10^5 \Omega \dots 3.5 \times 10^7 \Omega$. Rannekkeiden johtavuus tulisi testata säännöllisesti.



Kuva 15. Ranneke [7]

5.1.9 Koneet ja laitteet

Prosessissa käytettävien koneiden ja laitteiden tulisi olla tarkoitukseen soveltuvia sekä maadoitettuja jos suinkin mahdollista. Jos laitteessa on eristettyjä osia joita ei saada maadoitettua, tulisi varausten poistoon käyttää ionisaattoria.

5.1.10 Työkalut

EPA-alueella käytetään ensisijaisesti varausta poistavia, heikosti varautuvia tai johtavia työkaluja. Sellaisia työkaluja, joissa on eristävät kädensijat, ei tulisi käyttää. Johtavia (metallisia) työkaluja käytettäessä tulisi työkalussa mahdollisesti oleva jäännösvaraus purkaa alle $10^{12} \Omega$ resistanssin kautta maahan. Tarpeen vaatiessa voidaan käyttää ionisointia varmistamaan, ettei potentiaalieroja synny. Jos ionisointi ei ole mahdollista, varauksen siirtyminen työkalun ja komponentin välillä tulee minimoida. Tämä onnistuu suurella resistanssilla, jollaisena toimii esim. maaliityntäpisteessä oleva $1 \text{ M}\Omega$ vastus, joka eliminoi nopean purkauksen syntymisen.

Juottimien ja juotinasemien kärkien tulee olla maadoitettuja, kuitenkin siten että resistanssiarvo maahan on pienempi kuin 5Ω . Tällainen maadoitus on tarpeen juottimen automaattisen lämmönsäädön mahdollisesti synnyttämien sähkökenttien vuoksi.

5.1.11 Kärret ja vaunut

Kärrien ja vaunujen tulee olla maadoitettu vähintään kahden pyörän avulla, ja niissä tulee olla maaliityntäpiste rannekkeen liittämistä varten. Resistanssin maahan tulee olla välillä $7.5 \times 10^5 \Omega \dots 1 \times 10^9 \Omega$

5.1.12 Ionisaattorit

Ionisaattoreita käytetään varausten neutralointiin, jos riittävää suojausta ei saavuteta muilla toimenpiteillä. Ionisaattorin tulee kyetä purkamaan sekä positiivinen että negatiivinen varaus ja pitämään se alle 100 V:ssa. Ionisaattorien toimintaperiaatteita on useita, ja niitä voidaan sijoittaa kohteen lähelle tai rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään.



Kuva 16. Työpisteionisaattori [5]

5.2 Toiminta EPA-alueella

EPA-alueella työskentelevien on aina pidettävä asianmukaista vaatetusta ja jalkineita. Myös mahdollisilla vierailijoilla tulee olla ESD-suojavaatetus sekä jalkineet tai maadoitusliuska (kuva 17). Syöminen, juominen, tupakointi, vaatteiden vaihto ja rasvaisten käsivoiteiden käyttö EPA-alueella on kiellettyä. Ranneketta tulee käyttää ensisijaisena maadoituskeinona aina kun se on mahdollista. Rannekkeiden ja jalkineiden johtavuus tulee testata säännöllisesti.



Kuva 17. Kenkien maadoitusliuska [7]

Työskentelypinnat ja lattiat tulee pitää puhtaina ja siisteinä. Varautuvia materiaaleja kuten paperilappuja ei saa tuoda EPA-alueelle ilman suojataskuja. ESD-herkät osat tulee säilyttää ja siirtää työvaiheesta toiseen niille tarkoitetuissa pakkauksissa. Piirilevyjä käsiteltäessä on varottava koskemasta komponentteihin, juotospisteisiin tai liitinnastoihin, viisainta on tarttua levyyn vain reunoista. Piirilevyjä ei saa pinota päällekkäin.

5.3 Pakkausmateriaalit

Pakkausmateriaalin tulee täyttää ESD-suojauksen lisäksi monta tehtävää, kuten suojata tuotetta kosteudelta, valolta sekä mekaaniselta rasitukselta. Tärkeintä on kuitenkin, etteivät pakkausmateriaalit aiheuta staattista varautumista ja ne suojaavat tarvittaessa sisältöä myös ulkoisilta sähkökentiltä. Jos pakkausmateriaali kelpaa käytettäväksi ESD-suojaukseen EPA-alueen ulkopuolella, voidaan sitä käyttää myös EPA-alueen sisällä. EPA-alueelle ei kuitenkaan saa tuoda pakkauksia, joissa on eristävä ulkopinta .

Pakkausmateriaalien ESD-suojausvaatimukset tulee asettaa herkimmän kohteessa olevan komponentin mukaan ja pakkauksessa tulee olla asialliset ESD-osien käsittelyä ja pakkauksen suojausta kuvaavat merkinnät.

5.3.1 Pakkaustyytit

ESDS-osia sisältävät pakkaukset jaetaan karkeasti kolmeen eri ryhmään:

Sisäpakkaus (Intimate packaging) on pakkaus, joka on fyysisessä kosketuksessa ESD-herkkään osaan.

Käärepakkaus (Proximity packaging), pakkaus, joka ei todennäköisesti kosketa ESD-herkkiä osia, mutta on niiden välittömässä läheisyydessä.

Ulkopakkaus (Secondary packaging), on EPA-alueella kielletty käärepakkauksen ulkopuolinen suojarahkaus, joka pidetään erillään ESD-herkistä osista.

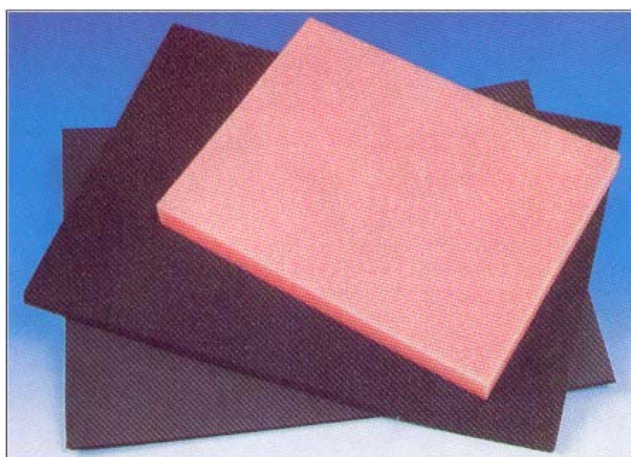
5.3.2 Erilliset pakkaukset

Pakkauskokonaisuus koostuu erillisistä osista, esim:

Ulkopakkaus: Aaltopahvia tai kartonkimuovia, jonka sisäpinta on tehty johtavaksi. Ei sallita EPA-alueella.

Käärepakkaus: Vaahto- tai kuplamuovia, joka on käsitelty staattista sähköä poistavaksi (kuva 18).

Sisäpakkaus: Metalloitu suojapussi, joka suojaa tuotetta staattisen sähkön purkaukselta (kuva 19).



Kuva 18. ESD-käärepakkausissa käytettävää vaahtomuovia [4]



Kuva 19. Metalloitu ESD-sisäpakkaus [6]

5.3.3 Yhdistelmäpakkaus

Pakkaukseen on yhdistetty useampia ominaisuuksia, esim. kuitupohjaiseen pakkaukseen on asennettu metallikalvo rakenteiden sisään ja ulkopinnalle liimattu staattista sähköä poistava pehmustemateriaali. Nykyisin pyritään käyttämään yhdistelmäpakkauksia, koska ne ovat käyttäjä- ja ympäristöystävällisempiä.

5.3.4 Pakkausmateriaalien luokittelu

Pakkausmateriaalit määritellään niiden johtavuuden mukaan staattista sähköä johtaviin (pintaresistiivisyys $\rho=1 \times 10^3 \Omega \dots 1 \times 10^6 \Omega$), staattista sähköä poistaviin ($\rho=1 \times 10^6 \Omega \dots 1 \times 10^{12} \Omega$) sekä eristäviin ($\rho > 1 \times 10^{12} \Omega$) materiaaleihin.

5.3.5 ESD-purkaukselta suojaavat pakkaukset

ESD-purkaukselta suojaavat pakkaukset ovat rakenteeltaan johtavia, metalloidulla kerroksella varustettuja suojapusseja. Metallikerros antaa luotettavan suojan (shielding) ESD-purkausta vastaan, lisäksi pakkaus on suunniteltu siten, ettei ulkopinnasta ole suoraa virtatietä pakkauksen sisään. Pakkaus soveltuu käytettäväksi ESD-herkkien osien suojaukseen EPA-alueella ja sen ulkopuolella.

5.3.6 Staattista sähköä poistavat pakkaukset

Staattista sähköä poistavat pakkaukset ovat valmistettu esimerkiksi EPS-muovista tai eperanista. Koska pakkaus ei suojaa ESD-purkaukselta, tulee pakkauksia käyttää ilman lisäsuojauksia vain EPA-alueen sisällä. Pakkaukset ovat tyypillisesti avonaisia ja tarkoitettu komponenttien tai puolivalmisteiden säilytykseen.

5.3.7 Staattista sähköä poistavat pehmustemateriaalit

Materiaalin tarkoituksena on antaa tuotteelle suoja mekaanista rasitusta vastaan aiheuttamatta kuitenkaan staattisia varauksia. Materiaalina käytetään esimerkiksi vaahto- tai kuplamuovia, joka on kemiallisesti käsitelty staattista sähköä poistavaksi.

5.3.8 Pakkausten käsittely

ESD-varotoimia tulee noudattaa tuotteen kaikissa vaiheissa tavaran vastaanottamisesta aina edelleenlähettämiseen asti. Vastaanottopisteen sekä lähettämön tulee sijaita EPA-alueen ulkopuolella. Kun tavara saapuu vastaanottoon, poistetaan ulkopakkaukset ESD-varoitusmerkintöihin asti. Tämän jälkeen ESD-suojapakkauksissa olevat tuotteet voidaan viedä EPA-alueelle, jossa voidaan poistaa loput pakkausmateriaalit.

ESD-herkät osat tulisi varastoida niin pitkään kuin mahdollista alkuperäisissä suojapakkauksissa. Kun pakkausta avataan, niin siinä olevat tarrat tulisi poistaa leikkaamalla. ESD-herkät osat tulisi aina pakata asianmukaisesti suojapakkauksiin vietäessä pois EPA-alueelta. EPA-alueella olevassa pakkaamossa ei saisi olla staattista sähköä synnyttäviä teippejä ja tarroja.

5.4 ESD-suojausmerkinnät

EPA-alueella on oltava selvästi määritellyt rajat, jotka on yleensä merkitty lattiaan pohjaväriiltään keltaisella teipillä tai nauhalla. Alue on lisäksi merkittävä kylteillä, jotka sijoitetaan näkyvälle paikalle alueelle tullessa ja sieltä poistuttaessa (kuvat 20 ja 21).



Kuva 20. ESD-suojatun alueen kyltti (pohjaväri keltainen) [4]



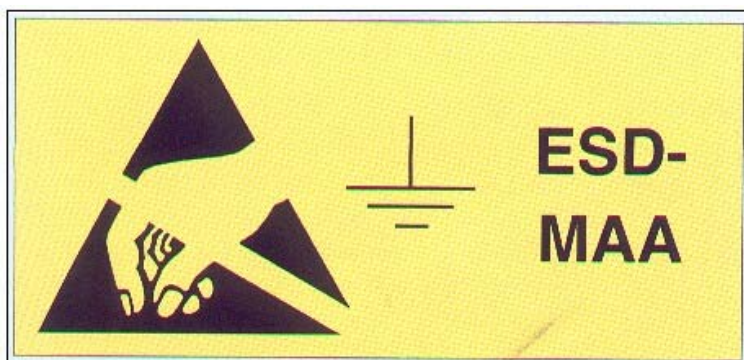
Kuva 21. EPA-alueen päättymisen ilmaiseva kyltti (pohjaväri punainen) [4]

Kaikki EPA-vaatimukset täyttävät täyttävä materiaali, kuten juottimet, vaatteet, työtuolit ym. on suositeltavaa merkitä kuvan 22 mukaisella, pohjaväritään keltaisella laitteistomerkillä.



Kuva 22. EPA-laitemerkintä [4]

EPA-alueella käytetään seuraavaa kuvan 23 mukaista keltapohjaista merkkiä ilmaisemaan EPA-maaliityntäpistettä.



Kuva 23. EPA-maaliityntäpisteen merkintä [4]

Seuraavaa kuvan 24 merkintää käytetään aina, kun tuotepakkaus sisältää ESD-herkkiä osia.



Kuva 24. ESD-pakkauksen merkintä [4]

5.5 Koulutus

Kaikkien EPA-alueella liikkuvien ja työskentelevien henkilöiden tulisi tuntee staattisen sähkön perusteet sekä tietää, mitä suojaustoimenpiteitä heidän tulisi ottaa huomioon. Vaikka ESD-suojaukset olisivat muuten kunnossa, ei niistä ole hyötyä, jos henkilökuntaa ei ole koulutettu asianmukaisesti tai asenteet ESD-suojauksen tärkeyteen ovat vähätteleviä. Koulutuksen taso ja laajuus voi vaihdella koulutettavien mukaan. Koulutetuista henkilöistä tulisi pitää yllä rekisteriä.

5.5.1 Minimikoulutus

Tämän tason koulutus tulisi antaa kaikille, joilla voi joskus olla asiaa EPA-alueelle, kuten vierailijat, asiakkaat, alihankkijat, tilapäiset työntekijät jne. Koulutus koostuu yksinkertaisista ohjeista, jotka saadaan ennen EPA-alueelle menoa. Ohjeistus voi olla esimerkiksi liitteen A mukainen.

5.5.2 Peruskoulutus

Koulutus, joka on tarkoitettu kaikille vakituisille työntekijöille jotka voivat joutua vierailemaan EPA-alueella tai jotka joutuvat mahdollisesti tekemisiin ESD-herkkien osien kanssa. Koulutuksen tulisi sisältyä uudelle työntekijälle osana työhön perehdyttämistä. Koulutuksen olisi hyvä sisältää teorian lisäksi myös käytännön esimerkkejä. Kokeen pitämällä koulutuksen päätteeksi saataisiin palautetta koulutuksen tehokkuudesta. Tarpeen vaatiessa tulisi järjestää kertausta, ainakin silloin, jos otetaan käyttöön uusia prosesseja, tekniikoita tai laitteita. Koulutus voi olla sisällöltään esimerkiksi seuraavanlainen:

- Johdanto, jossa esitellään koulutuksen tavoitteet ja esimerkkejä ESD:n aiheuttamista ongelmista.
- Staattisen sähkön fysikaaliset perusteet, ESD-purkautuminen sekä staattisen varautumisen teoriaa.
- ESD-purkauksen vaikutukset komponenteille.
- ESD-purkaukselta suojautuminen, kuinka toimia oikein EPA-alueella, pakkauksien käsittely sekä merkinnät.
- ESD-tarkastukset ja mittaukset, standardit ja vaatimukset.

5.5.3 Erikoiskoulutus

Erikoiskoulutusta annetaan peruskoulutuksen päälle tarpeen vaatiessa esimerkiksi asennus-, korjaus- ja kenttähuoltohenkilöstölle. Koulutuksen määrä ja sisältö vaihtelee kulloisenkin tarpeen mukaan.

6 ESD-SUOJAUKSEN KARTOITUS JA VALVONTA

6.1 Hallinta ja valvonta

ESD-asioiden hallintaan ja valvontaan tulisi nimetä yrityksessä erityinen ESD-koordinaattori, jonka vastuulla olisi kaikki ESD-herkkien osien käsittelyyn liittyvät asiat. ESD-koordinaattori voi olla päätoimisesti tehtävää hoitava, tai virkaa muiden töiden ohella sivutoimisesti hoitava.

ESD-koordinaattorin tulisi tehdä ainakin seuraavia asioita:

- suorittaa ESD-tarkastuksia ja katselmuksia sekä ylläpitää tarkastuksien pöytäkirjoja ja aikatauluja
- valvoa yrityksen ESD-suojauksen tasoa
- laatia ja ylläpitää luetteloja ESD-laitteista ja niiden tarkastuksista
- varmistaa että henkilökunta on asianmukaisesti koulutettua ja pitää yllä koulutusrekisteriä, tarvittaessa järjestää koulutusta
- avustaa ESD-ongelmatapauksissa

6.2 Auditoinnit

Auditoinnin eli laatukatselmuksen suorittaa joko ulkopuolinen taho tai se tehdään yrityksen sisällä. Auditoinnin tarkoituksena on löytää suojautumiseen liittyviä parannusehdotuksia sekä poikkeamia suositellusta käytännöstä, ja sen pohjalta tehdään korjausehdotuksia ja pyritään suojaustason parantamiseen. Auditoinnit olisi hyvä tehdä säännöllisesti, tällöin voidaankin puhua myös määräaikaikatselmuksesta.

Hyvin tehty auditointi vaatii aina ennakkovalmistelua ja tarkasteltavien kohteiden valintaa sekä rajausta. Auditoinnin sisältö voi olla esimerkiksi liitteen B sekä auditoinnissa käytettävä pöytäkirjalomake SFS-käsikirja 153:n mukainen (liite C)

6.3 Visuaaliset tarkastukset

Visuaalisilla tarkastuksilla varmistetaan, että EPA-alueen ESD-suojaukset ja varotoimet ovat kunnossa. Tarkastuksia tulisi suorittaa mielellään päivittäin, ESD-koordinaattorin tai jonkun tehtävään nimetyn henkilön toimesta. Myös henkilökunnan olisi hyvä suorittaa tarkastukset päivittäin omalla työpisteellään.

Päivittäisiin tarkastuksiin tulisi kuulua:

- Maadoitusjohtojen liitosten tarkastus
- Onko EPA-alueelle joutunut sinne kuulumattomia esineitä tai materiaaleja (esim. tavalliset kärkyt, työasut, paperiniput yms. staattista sähköä synnyttävät esineet.)
- ESD-kärkyjen pyörien tarkastus (esim. mahdolliset kiinni tarttuneet teipit ja purukumit)
- Henkilöstön toiminta, rannekkeiden käyttökuri

6.4 Tarkastukset mittaamalla

ESD-mittaukset voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään, suuntaa antaviin mittauksiin sekä toistettaviin mittauksiin. Toistettavat mittaukset tehdään laboratorio-olosuhteissa ja ne liittyvät usein esimerkiksi tuotekehitykseen. Seuraavassa keskitytään suuntaa antaviin mittauksiin, joita tehdään yrityksessä mm. valvontatarkoituksissa.

Valvontamittauksia voidaan suorittaa joko pistokokeina tai järjestelmällisesti säännöllisin aikavälein, esim. auditoinnin yhteydessä. Esimerkiksi vaatteiden mittaus voidaan suorittaa satunnaisten pistokokeiden muodossa, kun taas lattioiden johtavuus olisi hyvä tarkastaa säännöllisesti. Valvontamittausten tulokset esitetään tyypillisesti hyväksytyt/hylätty-periaatteella ja itse mittausjärjestelyt pyritään saamaan mahdollisimman yksinkertaisiksi.

Mittauksia tehtäessä on otettava huomioon olosuhteiden muutokset ja muut epävarmuustekijät, jotta ei tehtäisi virheellisiä tulkintoja. Yleisesti käytettäviä mittaolosuhteita ovat noin 23°C lämpötila sekä ilmankosteudet 12, 25 ja 50%. Olosuhteet olisi hyvä muuttaa sopiviksi esim. rakennuksen ilmastointia säätämällä, jolloin mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia myös muualla tehtyjen mittausten kanssa.

Säännölliset mittaukset ja tarkastukset

Päivittäin tai viikoittain

- Rannekkeiden ja jalkineiden mittaus ennen EPA-alueelle siirtymistä

Kuukausittain

- näytetarkastuksena suoritettavat maadoituksen toiminnan mittaukset
 - o Työtasot, kuljetusvaunut, lattiat, hyllyt, istuimet, juottimet tuotantolinjan laitteet, maaliityntäpisteiden vastukset ym.
- Mahdollisten ionisaattorien toiminnan tarkastus

Puolivuositain

- Näytetarkastuksena suoritettavat staattisten sähkökenttien kentänvoimakkuusmittaukset, EPA-alueen merkintöjen tarkastus, vaatetuksen johtavuuden mittaukset

Vuosittain

- ESD-koordinaattorin määrittelemät tarkastukset ja katselmukset, esimerkiksi EPA-alueen perusteellinen läpikäynti.

6.5 Mittausmenetelmät

ESD-mittauksissa tärkeimpiä mitattavia suureita ovat pintaresistanssi, resistanssi maahan sekä varauksen purkautuminen. Yleisin menetelmä on mitata maadoitusresistanssia sekä pisteestä pisteeseen tai pinnasta pintaan-resistanssia. Resistanssin mittaukseen tarkoitettut mittalaitteet sekä anturit ovat halvempia sekä helpommin saatavilla kuin varauksen purkautumismittarit, mittausten tekeminen on myös hyvin paljon yksinkertaisempaa. Lisäksi resistanssilla ja varauksen purkautumisella on hyvä korrelaatio keskenään lukuun ottamatta hyvin suuria resistansseja. Yli $10^{10} \Omega$ resistansseilla tulisi mitata myös varauksen purkautuminen.

Tehtäessä kattavia mittauksia tulisi mittauksiin tulisi ottaa mukaan myös sähkökentän voimakkuuden mittaus, jolla voidaan löytää mahdolliset staattisia sähkövarauksia synnyttävät ongelmakohteet ja -materiaalit. Mittauksiin soveltuva kentänvoimakkuusmittari on esitetty kuvassa 25. Kaikkien mittaustulosten resistanssin raja-arvot on esitetty liitteessä D. Mittauksia suoritettaessa tulisi huomioida myös lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus ja vakioida ne, että mittaustulokset olisivat vertailukelpoisia edellisten mittausten kanssa.



Kuva 25. Kentänvoimakkuusmittari EFM-022/R [4]

6.5.1 Lattian, työpintojen ja hyllyköiden testaus

Lattioiden säännöllisissä tarkastuksissa tulee suorittaa vähintään kolme kahden pisteen välistä pintaresistanssimittausta aluetta kohden ja yksi maadoitusresistanssin mittaus/10 m². Mittaukset suoritetaan tarkoitukseen soveltuvalla eristysvastusmittarilla (kuva 26) jossa on mittausalueet ainakin 10 V ja 100 V jännitteille.



Kuva 26. Eristysvastusmittari Megger BMM 2000 ESD [4]

Mittaaminen aloitetaan 10 V jännitteellä, ja jos saatu mittaustulos on alle 10⁵ Ω se hyväksytään. Jos resistanssi ylittää em. arvon, siirrytään käyttämään 100 V mittausjännitettä. Mittausantureina käytetään IEC 61340-5-1 ESD - standardin mukaisia palkki- tai rengassydänelektrodeja (kuva 27). Pisteestä pisteeseen-resistanssit mitataan kahdella anturilla, maadoitusresistanssin mittauksessa toisen anturin tilalla on ESD-maahan kytketty maadoitusjohto. Työpinnoista ja hyllyköistä mitataan vastaavalla tavalla pintaresistanssi sekä resistanssi maahan. Mittauksia tehdessä tulisi huomioida mitattavan pinnan puhtaus, sillä se saattaa vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin.



Kuva 27 Mittausantureita [4]

6.5.2 Istuimien testaus

Työtuolien resistanssi maahan mitataan istuinosasta samalla menetelmällä ja antureilla kuin lattioiden resistanssi. Mittaus tapahtuu EPA-alueen johtavalla tai varausta poistavalla lattialla, tai vaihtoehtoisesti johtavan metallilevyn päällä. Jos istuimessa on erillinen maadoituspiste, resistanssi mitataan mittauselektrodin ja tämän pisteen väliltä, tällöin istuin asetetaan eristävälle (resistanssi yli $10^{14} \Omega$) alustalle.

Selkänojan maadoitusresistanssi voidaan mitata kääntämällä tuoli vaakasentoon ja kytkemällä maadoitusjohdin istuimen runkoon. Myös pisteestä pisteeseen resistanssi mitataan istuinosasta ja selkänojasta. Mittaaminen aloitetaan 10 V jännitteellä, ja jos saatu mittaustulos on alle $10^5 \Omega$ se hyväksytään. Jos resistanssi ylittää em. arvon, siirrytään käyttämään 100 V mittausjännitettä. Tuolien muoviosien soveltuvuus voidaan mitata kentänvoimakkuusmittarilla. Vaunut ja kärryt joita käytetään ESD-herkkien osien kuljetukseen voidaan mitata samalla periaatteella.

6.5.3 Vaatetuksen testaus

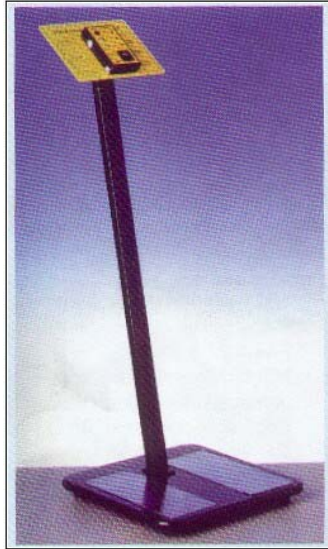
Testattava vaatekappale asetetaan sekä pisteestä pisteeseen- että maadoitusresistanssia mitattaessa eristävälle alustalle (resistanssi yli $10^{14} \Omega$). Mittaukset suoritetaan palkki- tai rengassydänelektrodeilla samaan tapaan kuin esim. lattioiden mittaukset. Pisteestä pisteeseen resistanssi mitataan esim. hihasta hihaan tai lahkeesta lahkeeseen.

Vaatetuksen mittaustulokset ovat monesti vain suuntaa antavia, sillä mittausturvin ja kankaan välisen kontaktin luotettavuus jää arvailujen varaan. Mittauskertoja toistamalla ja mitattavaa kappaletta vaihtamalla voidaan saada kuitenkin tilastollinen käsitys mittaustuloksesta. Mittausjännitteet ja resistanssiarvot ovat samat kuin lattioiden ja istuimien mittauksissa.

6.5.4 Jalkineiden ja rannekkeiden testaus

Jalkine- ja ranneketesterit (kuva 28) toimivat yleensä mittausturvinjännitteellä 8 V-100 V. Suositeltavaa olisi kuitenkin käyttää testeriä jonka jännite on välillä 8 V-30 V, jolloin varmistetaan käyttäjän turvallisuus. Mitattaessa ranneke asetetaan normaalisti käteen ja kytketään rannekkeen johto mittariin, jonka jälkeen painetaan mittarissa olevaa metallista käsikosketuslevyä. Useat mittarit ilmaisevat tuloksen hyväksyty/hylätty-periaatteella, mutta jos käytössä on resistanssiarvon ilmoittava mittari, tulee käyttäjän odottaa kunnes tulos on asettunut. Resistanssin tulee olla välillä $7.5 \times 10^5 \Omega \dots 3.5 \times 10^7 \Omega$.

Jalkineiden testauksessa käyttäjä seisoo toinen jalka johtavalla vähintään 30x30 cm kokoisella levyllä, ja painaa samalla mittarin käsikosketuslevyä. Kumpikin jalkine tulee testata erikseen. Mittaustulos ilmoitetaan samalla tavalla kuin rannekkeen testauksessa, resistanssin tulee olla välillä $1 \times 10^5 \Omega \dots 1 \times 10^8 \Omega$.



Kuva 28. Ranneke- ja jalkinetesteri [4]

6.5.5 Työkalujen testaus

Johtavia työkaluja voidaan mitata suuntaa antavasti ranneke- ja jalkinetesterillä, toinen vaihtoehto on käyttää varauslevyllä varustettua varausanalysointia. Tässä menetelmässä maadoitettu henkilö koskettaa työkalulla varattua levyä, jonka purkaus aika mitataan. Varausta poistavien ja heikosti varautuvien työkalujen mittaukset on vaikea toteuttaa ilman laboratorio – olosuhteita luotettavasti. Työkalujen resistanssin tulisi olla alle $1 \times 10^{12} \Omega$, ja varauksen purkautumista mitattaessa varauksen tulisi purkautua 10 %:n alkuarvosta alle kahdessa sekunnissa.

6.6 Mittausepävarmuuden arviointi

Käytännön valvontamittauksia tehtäessä ei ole tarpeen suorittaa mittausepävarmuuden arviointia, sillä mittauskohteita on yleensä paljon ja yksilöllinen analysointi ei ole järkevää. Tarkkoja tuloksia ja toistettavuutta haluttaessa epävarmuudet on kuitenkin analysoitava ja laskettava. Epävarmuutta määriteltäessä käytetään esimerkiksi tilastollisen epävarmuuden

menetelmää, yksinkertaisimmillaan mittaustulokseksi voidaan hyväksyä mittaustulosten keskiarvo.

6.7 Mittauspöytäkirjat

Suoritetuista mittauksista tulisi tehdä mittauspöytäkirja, joka dokumentoidaan mittauksien jälkeen. Näin voidaan myöhemmin seurata esim. lattian kunnon kehitystä resistanssiarvojen perusteella. Ehdotus mittauspöytäkirjan pohjaksi on liitteenä E. Mittauspöytäkirjan tulee sisältää ainakin seuraavat asiat:

- Mittauksen suorittaja, yhteystiedot ja päiväys
- mittauspöytäkirjan numero
- Käytettyjen mittalaitteiden tyypit ja sarjanumerot
- Kuvaus mittaustyyppistä ja -menetelmästä
- mittausolosuhteet (lämpötila ja ilman kosteus)
- mittaustulokset ja niiden mahdolliset epävarmuudet

7 ESD-SUOJAUKSEN NYKYINEN TASO

ESD-suojauksen nykyinen taso Planray Oy:ssä kartoitettiin tekemällä perusteellinen auditointi, jossa tutustuttiin koko tuotantolinjan ESD-suojaukseen aina tavaran saapumisesta lähettämöön. Jotta lähtötasolle saatiin vertailupohjaa, käytiin tekemässä vertaileva auditointi (liite F) eräässä yrityksessä, jolle Planray Oy toimii alihankkijana.

Kaikenkaikkiaan Planray:n nykyinen ESD-suojaus suhteellisen hyvällä tasolla kun sitä vertaa esimerkiksi vertailukohteen tasoon. Parantamisen varaa löytyy toki, mutta nykyisestä tasosta on helppo rakentaa todella toimiva systeemi suhteellisen pienillä parannuksilla. Seuraavissa kohdissa on kuvailtu auditoinnin sisältöä ja siinä havaittuja puutteita. Lisäksi insinööriyössä oli tarkoitus kartoittaa EPA-alue myös mittaamalla, mutta aikataulun ja sopivien mittalaitteiden puutteen vuoksi tästä täytyi valitettavasti luopua.

7.1 Vastuualueiden jako

ESD-suojaukseen varten on oikeaoppisesti nimetty kolmen henkilön muodostama toimikunta. Yksi toimikunnan jäsen toimii muiden töidensä ohella ESD-koordinaattorina EPA-alueella.

7.2 Henkilöstön koulutus

Henkilöstön koulutus on pidetty yhden kerran, jossa käsiteltiin ESD-suojauksen teoriaa sekä havainnollistettiin sitä käytännön esimerkeillä. Koulutusrekisteriä ei ole eikä kertauskoulutuksia ole pidetty. Henkilökuntaa on omasta mielestään koulutettu riittävästi.

7.3 Henkilökohtainen suojautuminen

Kaikilla henkilökuntaan kuuluvilla on asianmukaiset jalkineet sekä työtakki. Kaikki tosin eivät pitäneet työtakkia kiinni, jolloin takin alla olevat tavalliset staattisia varauksia aiheuttavat vaatteet olivat näkyvissä. Vierailijalle annettiin maadoitusliuskat, mutta ei ESD-takkia. Käytännössä useimmat vierailijat eivät käytä maadoitusliuskoja eivätkä takkia käydessään EPA-alueella. ESD-herkkiä osia käsiteltiin pääsääntöisesti oikein, tosin rannekkeita eivät käyttäneet läheskään kaikki työntekijät.

7.4 EPA-alue

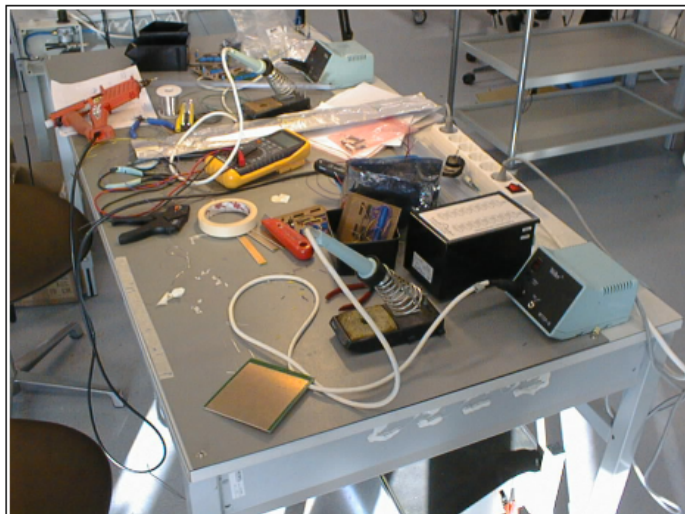
EPA-alue kattaa periaatteessa koko tuotantoketjun, sillä ESD-lattiamatto on asennettu koko matkalle aina vastaanotosta lähettämöön. EPA-alueen maadoitukset olivat visuaalisesti tarkastettuna kunnossa, lukuun ottamatta erästä ranneketta joka oli kiinnitetty maadoituspisteeseen hauenleualla. Myös juottimien maadoitus oli toteutettu virheellisesti $1\text{ M}\Omega$ vastuksen läpi, sekä yksi käytössä ollut juotin ei ollut lainkaan maadoitettu. Myöskään piirilevyjen lakkausruisku (kuva 29) ei ollut maadoitettu, ja piirilevyt lakattiin tavallisten aaltopahvilevyjen päällä. Tämä saattaa aiheuttaa ESD-purkauksia lakattaviin piirikortteihin.

EPA-alueen yleinen siisteys oli suhteellisen hyvä, papereita tosin lojui irrallaan lähes joka työpisteessä ja muutama työpiste oli epäsiisti (kuva 30). Myös ESD-herkille osille tarkoitetuissa laatikoissa oli sinne kuulumattomia papereita ilman suojataskuja. EPA-alueella oli myös jonkin verran siellä kiellettyä materiaalia, kuten tavallista muovia. Osasyynä ovat jotkut komponenttitoimittajat, jotka toimittavat komponentit tavallisiin materiaaleihin pakattuna. Neulapetitesterin muoviset osat voivat mahdollisesti olla varautuvia, samoin roskakorit jotka olivat

tavallista muovia. Viallisten tuotteiden merkintä oli toteutettu tarralapuilla, jotka voivat synnyttää varauksia.



Kuva 29. Piirilevyjen lakkausruisku



Kuva 30. Epäsiisti työpiste

Komponenttien ja piirilevyjen säilytys oli toteutettu asiallisesti maadoitetuissa hyllyissä sekä kärryissä, tosin yksi hyllykkö ei ollut maadoitettu. Osa kärryistä oli itse modifioitu tavallisista ESD-kärryiksi (kuva 31), toimivuutta ei oltu mitattu. Työtuolit olivat 80 %:sti ESD-tuoleja, ainakin kaikissa työpisteissä joissa käsitellään ESD-herkkiä osia oli tällainen tuoli. Jalkatuet olivat tavallisia, eivät

ESD-suojattuja (kuva 32). Työkaluista osa oli ESD- ja osa taas tavallisia työkaluja. Suurin osa säilytyslaatikoista oli ESD-mallisia.



Kuva 31. Itse muutettu ESD-kärry



Kuva 32. Tavallinen jalkatuki

EPA-alueen merkinnät olivat ainakin lattian osalta puutteellisia. Osa EPA-maadoitusverkon johdotuksista oli ”kotitekoisen näköisiä”. Johdotuksien ja liitosten visuaalisia tarkastuksia tehdään lähinnä satunnaisesti.

7.5 Logistiikka ja varastointi

Planray:ssa tavara tulee sekä lähtee samassa pisteessä. ESD-herkkien osien päällyspakkaukset puretaan asianmukaisesti ennen EPA-alueelle viemistä. Tavaraa joudutaan viemään EPA-alueelle myös tavallisissa pakkauksissa, mutta tämä johtuu tavarantoimittajista. Tavalliselle- ja ESD-pakkausmateriaalille on järjestetty omat säiliönsä (kuva 33), näin ESD-materiaaleja on mahdollista kierrättää. ESD-matto on koko alueella, myös tavarantoimittajissa ja lähettämöissä. Jos tavaraa joudutaan seisottamaan ennen lähettämistä on sille järjestetty asianmukainen maadoitettu hyllykkö.



Kuva 33. ESD – pakkausmateriaalin säiliö

Eräs varastotila oli melkoisen epäsiisti, kyseisestä tilasta aiottiin tosin tehdä pelkästään mekaniikkaosien varasto. Muutamissa ESD-laatikoissa oli papereita

irrallaan ilman ESD-suojataskuja, nämä saattavat aiheuttaa staattisen sähkön purkauksia. EPA-alueella oli myös tavallisia säilytyslaatikoita, joissa kuitenkin ei yleensä säilytetä ESD-herkkiä osia. Yhden varastohyllyn maadoitus oli puutteellinen.

7.6 Hallinta ja valvonta

Yrityksessä on nimetty kolmen henkilön ESD-toimikunta, jonka tehtäviin kuuluu ESD-suojauksen hoito. Dokumentointia ESD-suojauksesta ei ole tehty oikeastaan millään osa-alueella. Myöskään ESD-mittauksia ei ole suoritettu, lukuun ottamatta ranneke- ja jalkinetestausta, jolle on myös mittauksien viikoittainen seurantataulukko mittarin vieressä. Käytännössä mittauksien valvonta kuitenkin ontuu, sillä taulukko oli täyttöasteeltaan kovin vajaan näköinen. Koska käytännössä minkäänlaisia ESD-mittauksia ei ole suoritettu, ei myöskään mittauspöytäkirjoja ole tehty. Myöskään johdotuksen yms. visuaalisia tarkastuksia ei ole tehty säännöllisesti.

8 ESD-SUOJAUKSEN PARANNUSEHDOTUKSET

Tehdyn kartoituksen pohjalta tehtiin kaksi vaihtoehtoista ratkaisumallia ESD-suojauksen tason parantamiseen. Ensimmäisessä mallissa keskityttiin lähinnä laittamaan perusasiat kuntoon, toisessa mallissa ensimmäistä täydennettiin lisäämällä siihen kattavampia, ja samalla myös kalliimpia ratkaisuja.

8.1 ESD-suojauksen perusparannus

8.1.1 Vastuualueiden jako

Planray Oy:ssä on oikeaoppisesti nimetty ESD-asioiden käsittelyyn toimikunta, joka huolehtii suojaukseen liittyvistä asioista muiden töidensä ohella. Jos mahdollista yritys voisi harkita uuden työntekijän palkkaamista päätoimiseksi ESD-koordinaattoriksi, jonka työnkuvaan kuuluisi pelkästään ESD-asioiden hoitaminen.

8.1.2 Henkilöstön koulutus

Yhden kerran järjestetty henkilöstön ESD-koulutus on ollut tasoltaan kohtuullisen hyvä, mutta kertauskoulutusta olisi hyvä järjestää silloin tällöin. Jos taloon on tullut koulutuksen jälkeen uusia työntekijöitä, nämä eivät välttämättä ole saaneet koulutusta lainkaan. Tämän takia täytyy ryhtyä pitämään koulutusrekisteriä josta löytyvät koulutuksen saaneet henkilöt sekä koulutuksen määrä. Koulutuksen sisältö voi olla esimerkiksi tämän insinööriyön kohdan 6.5.2 mukainen. Lisänä koulutukseen voidaan harkita esimerkiksi Perel Oy:n ESD-tuoteluettelosta löytyvää ESD-videota. Satunnaisille vieraille annettavat

minimikoulutusohjeet tulisi jakaa vierailijoille ennen EPA-alueelle menoa, tai ne tulisi kiinnittää näkyvälle paikalle esimerkiksi ranneke- ja jalkinetesterin viereen.

8.1.3 Henkilökohtainen suojautuminen

Henkilöstöllä oli asianmukaiset työtakit ja jalkineet, mutta vierailijoille tulee järjestää kenkien maadoitusliuskojen lisäksi myös ESD-takkeja, ja valvoa että kumpiakin myös käytetään. Henkilöstön tulee pitää työtakit napitettuina ollessaan EPA-alueella. Rannekkeiden käyttökuri tulee saada sille tasolle, että aina kun ESD-herkkiä osia käsitellään on ranneke kiinnitettynä.

8.1.4 EPA-alue

EPA-alueella tulisi korjata virheellisesti hauenleualla tehdyt maadoituskytkennät. Myös juottimien virheellinen maadoitus tulisi korjata vastuksettomaksi, ja valvoa ettei maadoittamattomia juottimia käytetä. Piirilevyjen lakkaukseen käytettävä ruisku tulisi maadoittaa, ja lakkausalustana käyttää mahdollisuuksien mukaan hiiletettyä ESD-pakkauspahvia.

EPA-alueen yleiseen siisteyteen tulisi kiinnittää huomiota, varsinkin irrallaan lojuvat paperit tulisi säilöä ESD-suojataskuihin tai -kansioihin. Viallisten tuotteiden merkintä tulisi toteuttaa esimerkiksi ESD-teipillä tavallisten paperilappujen sijaan. Maadoittamattomat jalkatuet tulisi ehdottomasti vaihtaa tai modifioida maadoitetuiksi, koska nyt ESD-jalkineista ei jalkatuen kanssa työskenneltäessä ole maadoittamisen kannalta mitään hyötyä. EPA-alueen merkinnät tulisi hoitaa kuntoon ainakin lattiamerkintöjen osalta. Tähän tarkoitukseen on saatavana valmista teippiä useilta eri valmistajilta.

8.1.5 Logistiikka ja varastointi

Tämä aihealue oli yrityksessä valmiiksi jo hyvällä tasolla, ainoastaan yhden varastointihyllyn maadoitus tulisi hoitaa kuntoon. Jos tuotteet tulevat vastaanottoon tavallisissa pakkauksissa, ne tulisi mahdollisuuksien mukaan vaihtaa ESD-pakkauksiin ennen tuotantotiloihin viemistä. Tämä onnistuu tavaran vastaanotossa, koska siellä on asianmukainen lattia sekä maadoitettu työpiste. Näin vältettäisiin staattista sähköä synnyttävien materiaalien joutuminen EPA-alueelle.

8.1.6 Hallinta ja valvonta

Ranneke- ja jalkinetestaus tulisi saada viikoittain tapahtuvaksi, ja sen valvontaan tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta kaikki varmasti testaavat välineensä säännöllisesti. Käytössä oleva ranneke- ja jalkinetesterin resistanssin raja-arvot ja mittausjännitteet tulisi mitata ja tarvittaessa mittari tulisi kalibroida tai vaihtaa uuteen.

Yritykseen tulisi hankkia resistanssin mittauksiin soveltuva eristysvastusmittari sekä mittausanturit, joilla päästäisiin mittaamaan lattia- ja työpinnat sekä mahdollisesti muita kohteita, kuten työtuolit. Mittauspöytäkirjana voidaan käyttää tämän työn liitteenä E olevaa lomaketta, jolla mittaukset saadaan dokumentoitua. Varsinkin itse ESD-suojatuiksi muunnetut kärryt olisi hyvä päästä mittaamaan, jotta toimivuudesta voitaisiin olla varmoja. Mittauksia olisi hyvä suorittaa eri kohteissa näytetarkastuksina kuukausittain, laajempi mittaus tapahtuu kerran vuodessa.

ESD-koordinaattorin tulisi ottaa tavaksi tehdä visuaalisia tarkastuksia päivittäin aina käydessään EPA-alueella. Näihin tarkastuksiin lukeutuvat mm.

rannekkeiden käyttökuri, maadoitusjohdotuksien ja liitosten tarkastaminen, kärryjen ja tuolien pyörien tarkastus sekä alueelle kuulumattomien materiaalien havaitseminen.

8.2 ESD-suojauksen laajempi parannus

Kaikki perusparannuksessa esitetyt toimenpiteet pätevät myös tähän parannusehdotukseen, tässä kohdassa esitetyt toimenpiteet ovat siis lisäyksiä edelliseen kohtaan.

8.2.1 Henkilöstön koulutus

Henkilöstön koulutusta on saatavilla myös alaan erikoistuneilta yrityksiltä, joilla on tarjota joko peruskoulutusta tai tapauskohtaisesti räätälöityjä koulutuspaketteja. Henkilöstölle voisi tarjota ainakin ulkopuolisen ammattitahon järjestämän peruskoulutuksen, ja mahdollisesti erikoiskoulutusta esimerkiksi kenttäolosuhteissa työskenteleville henkilöille.

8.2.2 EPA – alue

Kaikki maadoittamattomat työtuolit ja jalkatuet tulisi vaihtaa ESD-mallisiin, samoin kaikki säilytyslokerit ja roskakorit yms. tavallisesta materiaalista valmistetut esineet. Vaikka näissä ei käsiteltäisikään ESD-herkkiä osia, voivat tavalliset materiaalit aiheuttaa voimakkaitakin staattisen sähkön kenttiä.

Staattisten sähkövarauksien estäminen varmistuisi huomattavasti ionisaattoreilla. Planrayn kokoisessa yrityksessä järkevintä olisi hankkia työpistekohtaisia ionisaattoreita jokaiseen työpisteeseen, jossa käsitellään erityisen ESD-herkkiä osia. Lisäksi henkilökunnan tulisi pitää ESD-käsineitä tai sormisuojausjaksia aina käsitellessään erityisen ESD-herkkiä osia.

8.2.3 Hallinta ja valvonta

Jos halutaan parempi varmuus ranneke- ja jalkinetestaukseen, tulee itse modifioitu mittari vaihtaa kunnolliseen mittariin, jonka kalibroinnin oikeellisuudesta voidaan olla varmoja. Mittauksien tulisi tapahtua päivittäin, ja myös seurannan tulisi olla kunnossa. Jos halutaan äärimmäinen varmuus, voidaan mittari yhdistää porttiin, josta ei pääse EPA-alueelle ennen kuin käyttäjä on saanut hyväksytyt mittaustulokset.

Kattavampaan EPA-alueen kartoitukseen mittaamalla tulisi hankkia resistanssimittarin lisäksi staattisten sähkökenttien kentänvoimakkuusmittari. Tällä mittarilla pystyttäisiin löytämään EPA-alueelta staattisia sähkövarauksia aiheuttavat materiaalit ja laitteet. Esimerkiksi nykyisen piikkipetitesterin muovimateriaalin aiheuttamat varaukset voitaisiin mitata kyseisellä mittarilla. Mittauspöytäkirjaksi käy sama liitteenä E oleva versio kuin resistanssimittauksiin.

8.3 Parannusehdotuksista syntyvät kustannukset

Koska suuri osa parannuksista liittyy lähinnä henkilöstön asenteiden ja toimintatapojen muutoksiin, kertyvät suurimmat kustannukset lähinnä mittalaitteiden ja ionisaattoreiden hankinnasta. Vähäisempiä kustannuksia aiheuttavat mm. ESD-kansiot papereiden säilytykseen sekä ESD-roskakorit.

Resistanssimittarit:

1. Megger BMM2000-ESD	833,00 €
Mittausanturi H116BC	145,00 €
Yhteensä	978,00 €
Edustaja Perel Oy	
2. MetrISO 2000 Test Kit	1558,80 €
Paketti sisältää mittausanturit	
Edustaja Testware Oy	
3. 3M – 701 Resistanssimittari	1522,00 €
Paketti sisältää mittausanturit	
Edustaja Yleiselektroniikka Oy	

Kentänvoimakkuusmittarit:

1. Kentänvoimakkuusmittari ESD – systems 42721	790,00€
Edustaja Testware Oy	
2. Kentänvoimakkuusmittari EFM – 022/R	930,00€
Edustaja Perel Oy	

Ionisaattorit:

1. Simco Aerostat PC, pistemäiseen ionisointiin	738,00 €
2. Simco Aerostat XC, Ionisointi kattaa koko työpöydän	856,00 €
Edustaja Perel Oy	

Ranneke- ja jalkinetestausasemat:

1. Ranneke- ja jalkinetestausasema H225FI	268,00 €
2. Ranneke- ja jalkinetestausasema H225X	405,00 €

releulostulolla, esim. sisäänpääsyportin ohjaukseen
Edustaja Perel Oy

Koulutuspaketti:

Peruskoulutuskurssi n. 3,5 h 650,00€
Edustaja Perel Oy

Muita mahdollisesti hankittavia tuotteita:

- | | |
|-----------------------------------|----------------|
| 1. Varausta johtava roskakori 17l | 16,00 €/kpl |
| 2. Varausta poistava A4-lokerikko | 12,60 €/kpl |
| 3. ESD-paperikansio A4 | 15,00 €/kpl |
| 4. Dokumenttitaskut A4 | 35,00 €/100kpl |
| 5. ESD-takki vierailijoille | 53,48 €/kpl |
- Edustaja Perel Oy

9 YHTEENVETO

Tämä insinööri työ oli mielenkiintoinen tehdä, aiheeseen joutui tosin perehtymään ruohonjuuritasolta, sillä ESD-suojaukseen ei oltu juurikaan käsitelty koulussa insinööriä aloittaessa. Tästä johtuen alkuun pääseminen tuntui melko vaikealta. Aiheesta oli myös suhteellisen hankala saada tietoa, mm. internetistä ei juurikaan löytynyt muuta kuin ESD-tuotteiden valmistajien mainoksia.

Uskon, että sain kartoitettua Planray Oy:n ESD-suojauksesta suurimmat epäkohdat, ja näin yrityksellä on mahdollisuus parantaa ESD-suojauksiaan. Tältä osin työn tavoitteissa siis pysyttiin. Alkuperäinen tarkoitus oli kuitenkin kartoittaa ESD-suojaukseen myös mittauksia tekemällä, joten lopputulos jäi hieman vajaaksi suunnitellusta, koska aikataulullisista syistä suunnitelluista mittauksista jouduttiin luopumaan.

LÄHDELUETTELO

- 1 Suomen standardisoimisliitto. SFS – käsikirja 153: Staattisen sähkön hallinta elektroniikkateollisuudessa. Helsinki: Kyriiri Oy, 2002.
- 2 Viheriäkoski, Toni. ESD: Staattinen sähkö elektroniikassa. Helsinki: Oy Edita Ab, 2001.
- 3 Lehto, Heikki & Luoma, Tapani. Fysiikka 4: Sähkö, Sähkömagnetismi. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy, 1996
- 4 Perel OY. ESD – suojaus: Tuoteluettelo ja hinnasto, 2002.
- 5 Testware. Static control materials and systems, 2002/2003.
- 6 Testware. 1000+ Items for Static Control, 2001.
- 7 Charleswater. ESD – control products, 2002.
- 8 Infineon Technologies, Nokia networks ja AV - klaffi. ESD – video: ESD – näkymätön salama.
- 9 Armeka Engineering Oy. ESD – lattioiden asennus ja hoito, 22.05.2002. [www-dokumentti]
<http://www.armekaengineering.com/infocenter/ESD-lattioiden%20asennus%20ja%20hoito.pdf>
- 10 Alajoki, Mikko., Smolander, Salla. ESD, 07.12.2001 [www-dokumentti]
<http://www.hut.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/171/Materiaali-2001/ESD.pdf>

OHJEISTUS EPA –ALUEELLE MENIJÖILLE

- Käytä aina ESD – vaatekassasta sekä – jalkineita tai maadoitusliuskaa mennessäsi EPA – alueelle.
- Jos joudut käsittelemään ESD – herkkiä osia, käytä aina maadoitusranneketta.
- Mittaa aina rannekkeen ja kenkien johtavuus ranneke- ja jalkinetesterillä ennen kuin menet EPA – alueelle, jos saat hylätyn mittaustuloksen EPA – alueelle meneminen on ehdottomasti kielletty.
- Älä vie staattista sähköä mahdollisesti synnyttäviä materiaaleja EPA – alueelle.

LIITE B

Auditoinnin sisältö:

- Vastuualueiden jako
 - Onko nimetty ESD –koordinaattoria tai muita vastuuhenkilöitä

- Henkilöstön koulutus
 - Onko henkilöstön koulutus järjestetty asianmukaisesti, pidetäänkö koulutuksesta rekisteriä.

- Henkilökohtainen suojautuminen
 - Onko jalkineet ja vaatetus kunnossa, käytetäänkö rannekkeita, onko vierailijoiden suojaus asiallinen, käsitelläänkö ESD – osia oikein.

- EPA
 - Maadoitusten tarkastaminen visuaalisesti ja/tai mittaamalla
 - Valmistuslinjan, työasemien, juottimien ym. tarkastus
 - Komponenttien säilytys ja varastointi
 - Paperit ym. EPA – alueella kielletty materiaali
 - Yleinen siisteys ja puhtaus

- Logistiikka
 - Komponenttivarastot, tavaran vastaanotto ja lähettäminen
 - Pakkausmateriaalit

- Hallinta ja valvonta
 - Dokumentointi ja ohjeet
 - Mittausmenetelmät sekä pöytäkirjat, mittalaitteiden kalibrointi.

LIITE C/1

SFS-käsikirja 153:n mukainen katselmuspöytäkirja

ESD-suojauksen katselmuspöytäkirja –			Sivu 1/Sivuja yhteensä
Päiväys	Pöytäkirjan No.....	Edellinen pöytäkirja No	
Paikka	Toiminto		
Katselmuspäivä	Seuraava katselmus ennen		
Yleistä: ESD-herkkien osien suojaus ja toiminta sekä laitteet IEC 61340-5-1:n mukaiset			
Audittoija		Asema	
Yhteenveto katselmuksesta			
Tilakoodit	Hyväksytty	Poikkeama	Ei sovellu
	S	U1 – Kriittinen / U2 – Vakava / U3 – Vähäinen	N/A
ESD-suojauksen katselmuksen tarkistuslista			
Kohde	Kappale	Tilakoodi	Suositusnumero
Huomautukset, kyltit ja merkinnät	4.1; 4.3; 4.4		
Työpinnat ja varastointihyllyt	5.2.2		
Lattiat	5.2.3		
Istuimet	5.2.4		
Vaatetus	5.2.5		
Käsineet ja sormisuojaajat	5.2.6		
Rannekkeet	5.2.7		
Jalkineet	5.2.8		
Ionisaattorit	5.2.9		
Työkalut, koneet, komponenttilaatikot ja testauslaitteet	5.2.10		
Vaunut ja kärryt	5.2.11		
Maadoitukset	5.3.2...5.3.4		
Staattiset sähkökentät	5.3.5		
Kenttätyöskentely	5.4		
Työtavat	5.5		
Pakkausten saatavuus	6		
Pakkausten käyttö	7.3; 7.4		
Hankintavaatimukset	7.2		
Koulutus: sisältö	8.1...8.5		
Koulutus: rekisterit	8.6		
Tuotteiden valinta	9.3		
Tarkistukset: menettelyt	9		
Tarkistukset: kirjanpito	9.4		

LIITE D

SFS-käsikirja 153:n mukaiset resistanssin raja-arvot ESD-mittauskohteille

Tarvikkeiden vaatimukset	Pintaresistanssi R_s tai päästä-päähän -resistanssi R_e tai pisteestä-pisteeseen -resistanssi R_p Ω	Resistanssi EPA-maahan tai maadoituspisteeseen R_g Ω	Varauksen purkautuminen (ks. huomautus 5)
Työskentelypinnat, varastohyllyt, vaunut ja kärryt	$1 \times 10^4 \leq R_p \leq 1 \times 10^{10}$ Ks. huomautus 6	$7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 1 \times 10^9$ Ks. huomautus 6	
Lattiat		$\leq R_g \leq 1 \times 10^9$ Minimiarvo Ks. huomautus 1 Ks. huomautus 2	
Istuimet		$R_g \leq 1 \times 10^{10}$	
Vaatteet	$\leq R_p \leq 1 \times 10^{12}$ Minimiarvo, ks. huomautus 1		Purkautuminen 10 %:iin alkuarvosta (enintään 1 000 V) alle 2 sekunnissa
Käsineet ja sormisuojat			Purkautuminen 10 %:iin alkuarvosta (enintään 1 000 V) alle 2 sekunnissa
Ranneke, ei kädessä		$R_p \leq 1 \times 10^5$	
Rannekkeiden maadoitusjohdot	$7,5 \times 10^5 \leq R_e \leq 5 \times 10^6$ Ks. huomautus 3		
Työkalut	Ks. huomautus 4	$R_g \leq 1 \times 10^{12}$ Ks. huomautus 1 ja 4	Purkautuminen 10 %:iin alkuarvosta (enintään 1 000 V) alle 2 sekunnissa
Ionisaattorit			Purkautuminen 1 000 V:sta 100 V:iin enintään 20 s:ssa
Järjestelmän vaatimukset			
Ranneke kädessäpidettynä		$7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 3,5 \times 10^7$	
Käsineet ja sormisuojat käytössä		$7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 1 \times 10^{12}$	
Jalkineet, jalassa, metallilevyllä		5×10^4 (1×10^5 /kenkä) $\leq R_g \leq 1 \times 10^8$ Ks. huomautus 2	

LIITE F/1

Vertailukohteessa suoritettun auditoinnin raportti

ESD-VERTAILUAUDITOINTI

RAPORTTI

17.02.2003

ESD-mittaukset:

Yritys tilaa vuosittain Perel Oy:ltä mittauksen, joka kattaa lattiat, verkostot ym. Perel antaa mittauksien jälkeen mittausraportin. Mittauspöytäkirjoja ei ole tehty. Jalkineet ja rannekkeet pyritään testaamaan viikoittain, käytännössä tämä kuitenkin lipsuu sillä minkäänlaista valvontaa tai seurantaa ei ole järjestetty. Lisäksi jalkinetesteri on viallinen, ehdottomasti uusimisen tarpeessa.

Koulutus ja vaatimukset:

Yrityksessä ei ole nimetty varsinaista ESD-vastaavaa valvomaan ESD-suojauksen toteuttamista. Käytännössä muutama henkilö hoitaa kyseistä tointa muiden töidensä ohella. Henkilökunnalle on näytetty ESD-video, mutta muu koulutus hoituu tyyliin ”tekemällä oppii”. Alihankkijoille ei ole olemassa varsinaisia standardivaatimuksia ESD-suojauksen suhteen, mutta tietyt perusedellytykset on (esim. ESD-lattia), lisäksi jokaiselle alihankkijalle on käyty tekemässä auditointi aiheesta.

LIITE F/2

Havaittuja puutteita:

Tilat olivat yleisesti suhteellisen epäsiistit, mm. papereita lojui irrallaan ilman esd-taskua lähes joka työpisteessä. Vieraille ei annettu mitään ESD-suojavaatteita tai -jalkineita. Ainakin joitakin komponentteja säilytettiin aivan tavallisessa lokerikossa (ei ESD), lisäksi yhden suojatun komponenttitelineen maadoitus oli kiinni hauenleualla. Muutama kolvi ei ollut maadoitettu ollenkaan, lisäksi joissakin työskentelytiloissa joissa herkkiä komponentteja mahdollisesti käsitellään, ei ollut ESD-lattiaa. ESD-lattia puuttui myös varsinaisen tuotantotilan käytävästä, jossa piirikortteja ym. kuljetetaan kärryillä. Työkalut olivat lähes kaikki aivan tavallista rautakauppatavaraa (paitsi ladontapisteessä). Osa työtuoleista oli aivan tavallisia, lisäksi jalkatuet eivät olleet ESD-suojattuja.

Parannusehdotuksia:

Tilojen siisteys tulisi saattaa korkeammalle tasolle, paperit pois pöydiltä. Työtuolit, jalkatuet sekä työkalut tulisi korvata vastaavilla ESD-tuotteilla. Komponenttien säilytykseen sekä henkilöstön koulutukseen tulisi kiinnittää enemmän huomiota, lisäksi voisi tulla kysymykseen ESD-vastaavan nimeäminen. Viallinen jalkinetesteri tulisi ehdottomasti uusida, ja testaukselle tulisi järjestää kunnollinen seuranta. ESD-suojauksen perusasiat olivat pääpiirteittäin kunnossa, mutta parantamisen varaa olisi vielä monella osa-alueella.

Juha Julkunen