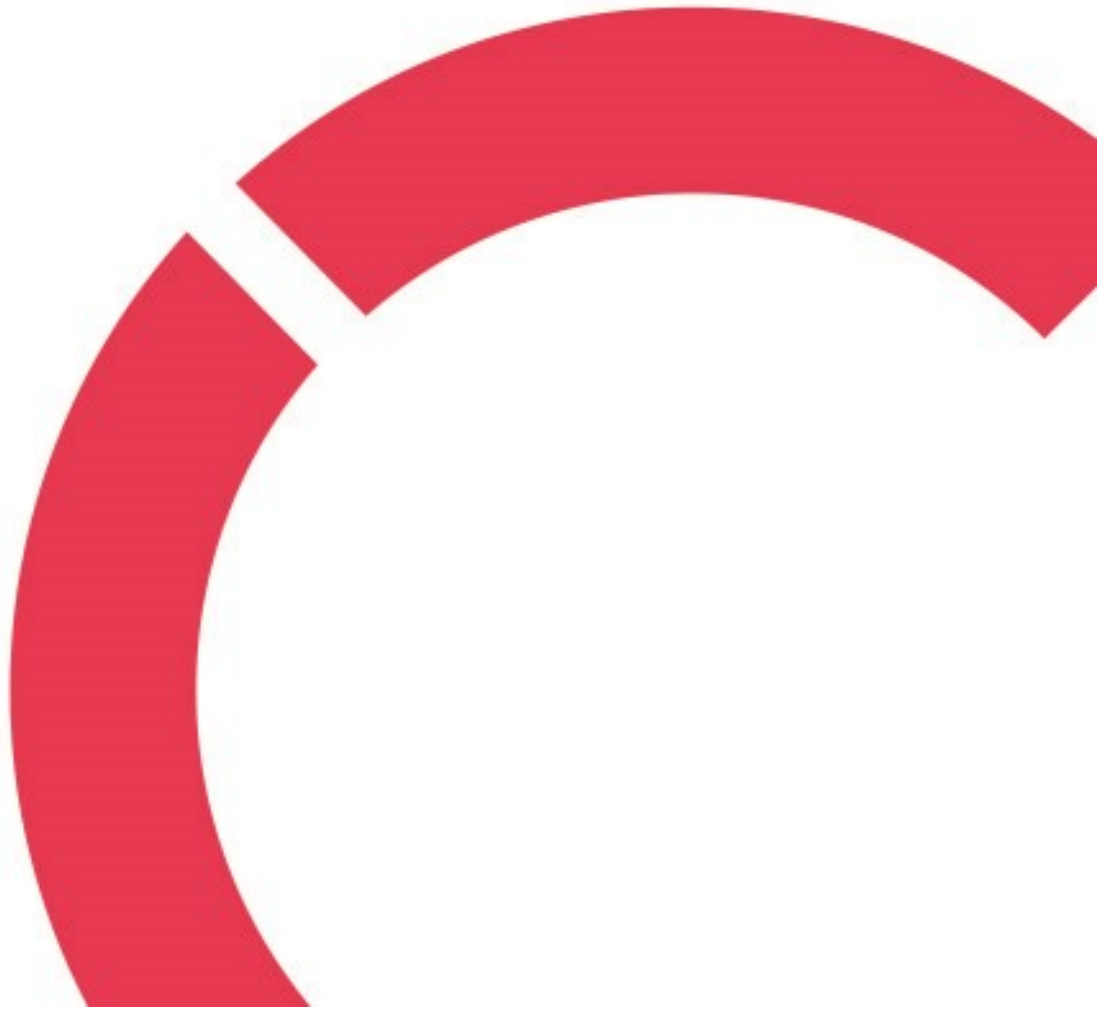


Antti Äijälä

TESTAUSLABORATORION ESD-SUOJAUKSEN SUUNNITTELU

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Lokakuu 2023**



Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Lokakuu 2023	Tekijä/tekijät Antti Äijälä
Koulutus Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi TESTAUSLABORATORION ESD-SUOJAUKSEN SUUNNITTELU		
Työn ohjaaja Tero Kaarlela		Sivumäärä 24 + 4
Työelämäohjaaja Jari Luukkonen		
<p>Käsiteltäessä tuotteita, joissa on staattisille sähköpurkauksille herkkiä komponentteja, on huolehdittava staattisilta sähköpurkauksilta suojautumista. Komponentit ovat nykyään entistä pienempiä ja herkempiä, minkä vuoksi ne ovat myös entistä herkempiä vikaantumaan purkauksista. Ne voivat vioittua joko näkyvästi tai piilevästi. Piilevästi vikaantuneen laitteen käyttöikä lyhenee merkittävästi ja vikaantuminen tulee esille vasta käytön aikana, ja tämä aiheuttaa ongelmia ja lisäkustannuksia laitteiden käyttäjille.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä käsitellään staattinen sähkövaraus, staattisen sähkövarauksen purkautuminen, staattisen sähkövarauksen yleisimmät purkautumismallit sekä staattiselta sähköpurkautumiselta suojauminen standardien mukaan. Esittelyssä on myös asioita, jotka tulee ottaa huomioon, kun yrityksessä ruvetaan suunnittelemaan staattisilta sähköpurkautumisilta suojautumista.</p> <p>Suunnittelin opinnäytetyössäni Mipro Oy:n testauslaboratorioon staattisilta sähköpurkauksilta suoja- tun alueen nykyisten käytänteiden ja standardien mukaisesti. Esimerkki hintojen avulla työssäni arvioidaan alueen rakentamisen kustannuksia. Henkilökunnan koulutusta helpottamaan tein koulutusmateriaalin, jota voi käyttää hyväksi koulutuksissa suunnittelussa ja toteuttaessa.</p> <p>Lähteinä on käytetty standardeja, alan kirjallisuutta sekä valmistajien ja myyjien tuotekatalogeja.</p>		
Asiasanat EPA, ESD, suojaus, suunnittelu		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date October 2023	Author Antti Äijälä
Degree programme Engineer (AMK), electrical and automation		
Name of thesis DESIGNING ESD PROTECTION FOR A TEST LABORATORY		
Centria supervisor Tero Kaarlela	Pages 24 + 4	
Instructor representing commissioning institution or company Jari Luukkonen		
<p>When handling circuit boards with components sensitive to static electrical discharges, it is important to take precautions against discharges. Devices and products nowadays are smaller and more sensitive, making them more susceptible to fail from discharges. The damage can be latent or visible. The service life of a latent device is significantly reduced, and the failure only becomes apparent during use, causing problems and additional costs for the users of these devices.</p> <p>This thesis covers topics related to static electric charge, discharge of static electric charge, the most common discharge patterns of static electric charge and protection against static electric discharge according to the standards. It also discusses things to consider when planning protection from static electricity discharges.</p> <p>In my thesis I designed Mipro Oy's testing laboratory to comply with current practices and standards for areas protected against static electrical discharges. Using example prices, my work estimates the costs of constructing the protected area. To make staff training easier, I also designed training materials that can be used to plan and implement training sessions.</p> <p>I have used standards, industry literature and product catalogs from manufacturers and vendors as my sources.</p>		

<p>Key words design, EPA, ESD, protection</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CDM

Charged Device Model on ESD rasitusmalli, jossa arvioidaan purkaustapahtumaa, joka ilmenee varautuneen kappaleen purkautuessa toiseen eri potentiaalissa olevaan kappaleeseen.

EPA

ESD Protected area on staattisilta sähköpurkauksilta suojattu alue.

ESD

Electrostatic Discharge on staattinen sähköpurkaus, eli staattisen sähkövarauksen purkautumisilmiö.

ESDS

Electrostatic Discharge Sensitive on staattiselle sähköpurkautumiselle herkkä laite, komponentti tai mikropiiri, jota staattisen sähköpurkaus voi vaurioittaa.

HBM

Human Body Model on ESD rasitusmalli, jossa arvioidaan purkaustapahtumaa ihmisen sormesta kappaleeseen.

MM

Machine Model on purkautumismalli, jossa arvioidaan purkausta kappaleeseen, kun kosketus tapahtuu esimerkiksi valmistuslinjalla oleviin laitteisiin tai työkaluihin.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 STAATTINEN SÄHKÖ	2
2.1 Sähkövaraus.....	2
2.2 Staattisen sähkövarauksen syntyminen	2
2.3 Varauksen syntyminen hankaamisen avulla ja triboelektrinen sarja	3
2.4 Staattisten varauksien siirtyminen	5
2.5 Staattisen sähköpurkaus (ESD).....	5
2.5.1 Human Body Model (HBM).....	6
2.5.2 Machine Model (MM).....	7
2.5.3 Charged Device Model (CDM)	8
3 ESD-VAURIOT	9
4 ESD-SUOJAUS	11
5 EPA-ALUE	14
5.1 Maadoitukset	14
5.2 Lattiat.....	14
5.3 Kalusteet.....	15
5.4 Henkilöstö	15
5.5 Koneet ja laitteet	15
5.6 Työkalut	16
5.7 Ionisaattorit	16
5.8 Muut olosuhteet.....	16
5.9 Merkinnät	16
6 MIPRO OY JA TESTAUSLABORATORIO TESTIMO	18
7 TESTAUSLABORATORION ESD-SUOJAUS SUUNNITELMA	19
7.1 Testauslaboratorion EPA-alue.....	19
7.2 EPA-alueelle tulevien materiaalien kustannuksia.....	21
8 KOULUTUS EPA-ALUEELLA TYÖSKENTELEVILLE	22
9 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	24
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Atomin varauksen syntyminen.....	3
KUVIO 2. HBM-sijaiskytkentä	7
KUVIO 3. MM-sijaiskytkentä	7
KUVIO 4. CDM-sijaiskytkentä	8

KUVIO 5. Maakytkennällä suojatun EPA-alueen kaavio	12
KUVIO 6. Potentiaalijärjestelmällä suojatun EPA-alueen kaavio.....	12

KUVAT

KUVA 1. ESD:n aiheuttama fataalivika piirilevyllä	9
KUVA 2. ESD:n aiheuttama latenttivaurio piirilevyllä.....	9
KUVA 3. ESD:n aiheuttama vaurio sirussa.....	10
KUVA 4. ESD-suojatusta alueesta kertova teippi	17
KUVA 5. ESD-suojatusta alueesta kertova taulu	17
KUVA 6. Testauslaboratorioon suunniteltu EPA-alue	20

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Triboelektrinen sarja	4
TAULUKKO 2. Normaalioloissa esiintyviä varausten jännitteitä	5
TAULUKKO 3. EPA-alueen materiaalien hintoja	21

1 JOHDANTO

Staattinen sähkövaraus eli staattinen sähkö on aineessa oleva epätasapainotila. Tällöin staattisesti varautuneessa kappaleessa on elektronien varausylimäärä. Helpoiten staattisen sähköön purkauksen (ESD) huomaa arkielämässä, kun on nousemassa auton kyytiin ja koskettaa jotakin auton metallista osaa ja tuntee kosketuskohdassaan sähköiskun. Tällöin henkilöön varautunut staattinen sähkö purkautuu auton runkoon. Henkilölle tällaiset varausten purkautumiset eivät ole vaarallisia, mutta tuntuvat inhottavilta.

Elektroniikassa käytettävissä komponenteissa staattisen sähköön purkaus on huono asia ja siksi nykyään joudutaan elektroniikkateollisuudessa, kuljetusketjuissa, pakkauksessa ja asennuksissa miettimään, miten voidaan ehkäistä staattisen sähköön purkauksia ja niistä aiheutuneita komponenttien rikkoutumisia. Elektroniikassa staattisten purkauksien hallinnoiminen on siis tärkeää ja siihen on olemassa hyviä keinoja.

Opinnäytetyössä perehdytään staattisilta sähköpurkauksilta (ESD) suojaukseen, suojauksen toteutukseen ja ESD-koulutukseen sekä suunnitellaan testauslaboratorioon toimiva ESD-suojaus. Työskennellessäni kesän 2023 Mipro OY:llä testausinsinöörinä kysyin heiltä mahdollisia aiheita opinnäytetyölle. Miproilta nousi esiin tarve testauslaboratorion ESD-suojauksen päivittämiseen, ja he ehdottivat sitä opinnäytetyöni aiheeksi. Mipro Oy:n Mikkeliissä sijaitsevassa testauslaboratorio Testimossa käsitellään logiikkoihin liittyviä piirikortteja ja tiloihin tarvitaan staattisilta sähköpurkauksilta suojattu alue (EPA) piirikorttien käsittelemiseen. Opinnäytetyössäni selvitin, kuinka testauslaboratorion ESD-suojaus voidaan toteuttaa ja mille alueelle testauslaboratoriossa suojausta tarvitaan. Opinnäytetyöhön sisältyy myös testauslaboratoriossa työskenteleville työntekijöille koulutuspaketti, jonka avulla he ymmärtävät, miksi on tärkeää ottaa vakavasti ESD-suojaus ja kuinka EPA-alueella työskenneltäessä tulee toimia.

Opinnäytetyöhön ei aikataulun ja asian laajuuden vuoksi otettu mukaan testauslaboratorion ESD-suojauksen toteuttamista. Jos Miprolla päädytään toteuttamaan testauslaboratorioon opinnäytetyössä suunniteltu ESD-suojaus, jää se Mipron omaksi tehtäväksi. Tällöin Mipro voi itse pyytää tarjoukset suojauksen toteuttamisesta ESD-suojausta tekeville yrityksiltä. Opinnäytetyössä suunniteltua mallia ESD-suojauksesta voidaan käyttää mukaillen myös Mipron muissa tiloissa, joissa käsitellään piirikortteja mm. tiloissa, joissa rakennetaan asetinlaitekaappeja.

2 STAATTINEN SÄHKÖ

Luonnossa staattista sähköä on esiintynyt aina. Kuitenkin viime vuosisatojen aikana on sähköisiä ilmiöitä opittu ymmärtämään. 1600-luvulla William Gilbert tutki magneettisia ilmiöitä ja kirjasi niistä havaintoja. (Viheriäkoski 2001, 9.)

Staattisen varauksen purkautumisen näkee selvästi ukonilmalla, kun pilviin varautunut staattinen sähkö purkautuu pois salamoiden. Nämä purkautumiset voivat olla todella vaarallisia, koska pilviin varautunut sähkövaraus on niin suuri ja ihmiseen osuessaan voivat aiheuttaa vakavia vammoja tai jopa kuoleman.

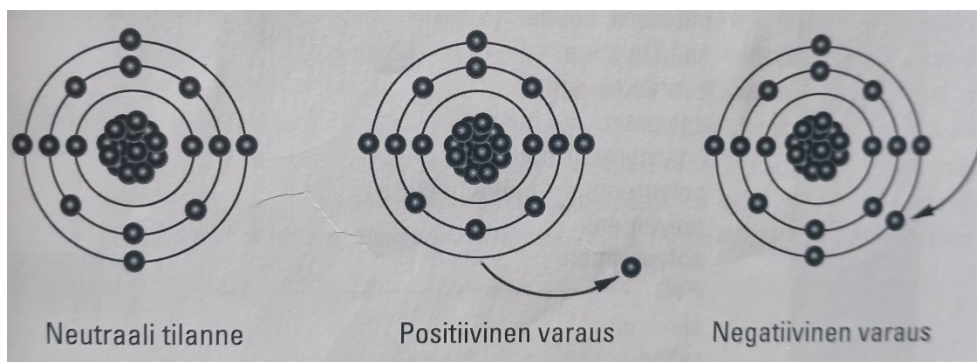
Staattista sähkövarausta käytetään hyväksi joillakin aloilla esim. lasertulostimissa, jolloin tulostimen rumpu ladataan sähköstaattisella varauksella ja valon avulla puretaan varaus pois tietyistä kohdista. Alueille, joihin sähkövaraus on jäänyt, tarttuu värijauhe ja muodostaa halutun kuvion.

2.1 Sähkövaraus

Kaikki materiaalit muodostuvat atomeista. Atomit koostuvat neutroneista, protoneista ja elektroneista. Atomin ytimen muodostavat protonit ja neutronit. Ytimen ympärillä kiertävät elektronit. Positiivinen alkeisvarauksen suuruinen sähkövaraus on protoneilla. Neutronit ovat varauksettomia. Protonien kanssa samansuuruinen sähkövaraus on elektroneilla, mutta se on vastakkaismerkkinen. (Viheriäkoski 2001, 12.)

2.2 Staattisen sähkövarauksen syntyminen

Staattinen sähkövaraus syntyy aineiden tai kappaleiden välisessä liikkeessä eli irtoamisessa, kosketuksessa tai hankaamisessa. Kappaleiden välisessä liikkeessä tapahtuu atomien järjestyksen muutoksia ja alkeishiukkasten liikettä. Atomi, joka on neutraali varaukseltaan, saa luovuttaessaan elektroneja positiivisen varauksen (KUVIO 1). Atomi varautuu taas negatiivisesti saadessaan ylimääräisiä elektroneja. (Viheriäkoski 2001, 13.)



KUVIO 1. Atomin varauksen syntyminen (Viheriäkoski 2001, 13.)

Sähkövarauksen syntyminen aiheuttaa muihin kappaleisiin, aineisiin ja maahan nähden jännitteen. Se, kuinka suuri sähkövaraus kappaleeseen syntyy, riippuu mm. irtoamisnopeudesta, aineen ominaisuuksista ja sähköjohtokyvystä. Ulkoinen sähkökenttä ja johtuminenkin voivat aiheuttaa staattista varautumista. Varauksen purkautuminen tapahtuu helposti, jos sille on maadoituksen kautta reitti olemassa. (VTT.)

2.3 Varauksen syntyminen hankaamisen avulla ja triboelektrinen sarja

Kahden eri materiaalin toisiinsa hankautuminen synnyttää staattisen varauksen, jolloin toinen materiaali saa positiivisen ja toinen negatiivisen varauksen. Eri materiaaleilla on erilaiset varausominaisuudet ja varausominaisuuksien perusteella materiaalit voidaan laittaa luokituksen mukaiseen järjestykseen, jota sanotaan triboelektriseksi sarjaksi.

Mitä kauempana triboelektrisessä sarjassa materiaalit ovat toisistaan, varautuvat ne sitä voimakkaammin liikkeen seurauksena. Sarjassa ylhäällä (positiivisessa päässä) olevat aineet pyrkivät luovuttamaan elektroneja ja alhaalla (negatiivisessa päässä) olevat aineet pyrkivät ottamaan vastaan elektroneja (TAULUKKO 1). (Viheriäkoski 2001, 14.)

TAULUKKO 1. Triboelektrinen sarja (Viheriäkoski 2001, 14.)

Aine	Varautuneisuus
	Positiivisesti varautunut (+)
ilma	
Kädet	
asbesti	
jäniksen turkki	
lasi	
ihmisen hiukset	
villa	
silkki	
alumiini	
paperi	Neutraali materiaali
puuvilla	Neutraali materiaali
puu	Neutraali materiaali
meripihka	
nikkeli, kupari	
sinkki	
messinki, hopea	
kulta, platina	
asettaattikuidut	
polyesteri	
polystyreeni, styrox	
polyuretaani, vaahtomuovi	
polyeteeni	
polypropeeni	
PVC	
silikonit	
teflon	
	Negatiivisesti varautunut (-)

Neutraaleja materiaaleja triboelektrisessä sarjassa ovat paperi, puuvilla ja käsittelemätön puu. Neutraalit materiaalit eivät varaudu merkittävästi käytännön olosuhteissa, kun suhteellinen kosteus on enemmän kuin 20 %. (Viheriäkoski 2001, 23.)

Materiaalien suhteellinen polarisoituminen ei kuitenkaan ole aina yksiselitteistä, koska sarjassa on joi-takin polarisaatiosilmukoita. Luonteeltaan varautumismekanismit ovat hyvin monimutkaisia, koska niihin vaikuttavat mm. kontakti ja sijainti kappaleiden välillä sekä materiaalien epäpuhtaudet, kosteus, kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. (Viheriäkoski 2001, 15.)

Triboelektristä varausten siirtymistä ja varautumista tapahtuu aina fyysisessä liikkeessä, jolloin myös liikkeen nopeus vaikuttaa suoraan varauksen suuruuteen. Ihmisen liikkeessa varausten voimakkuudet ja polariteetit muuttuvat ihmisen liikkeen ja vauhdin tahdissa. (Viheriäkoski 2001, 23-24.)

Ihmisen ihon ja vaatteiden välillä on mitattu ja tutkittu hyvinkin korkeita staattisia jännitteitä. Kuivassa ilmassa kuten esim. talvella matolla käveleminen voi tuottaa jopa 35 000 Voltin potentiaalin. Alla olevassa taulukossa (TAULUKKO 2) tyyppillisiä normaalioloissa esiintyviä varausten synnyttämiä jännitteitä. (Treston 2018, 6)

TAULUKKO 2. Normaalioloissa esiintyviä varausten synnyttämiä jännitteitä. (Treston 2018, 6, Viheriäkoski 2001, 25.)

Jännitteen kehittymistapa	Jännite, V RH 10...20 %	Jännite, V RH 65...90 %
Kävely maton yli	35 000	1 500
Kävely vinyylilattialla	12 000	250
Työskentely työtasolla	6 000	100
Vinyylikoteloiden käsittely	7 000	600
Aerosolin suihkutukset komponenteille	15 000	500
Istuminen keinoaineisella tuolilla	18 000	1 500

2.4 Staattisten varauksien siirtyminen

Atomien pyrkiessä neutraaliin tilanteeseen tasoittuvat varaukset, joita esiintyy luonnossa ympäristöön ajan kuluessa ilmassa esiintyvien epäpuhtauksien ja ionisoituneiden molekyylien liikkeen ansiosta. Varausten purkautuminen eristeissä voi kestää jopa kymmeniä tunteja. Purkautumisreitti ei välttämättä ole epäpuhtauksien ja epähomogeenisuuden vuoksi lyhyin mahdollinen, vaan sähkövirran kulkeminen määräytyy varauksen kuljettajien järjestyksen mukaisesti. (Viheriäkoski 2001, 21–22.)

2.5 Staattisen sähköpurkaus (ESD)

Henkilön koskettaessa staattisesti varautuneena ollessa kohdetta, joka on sähköä johtava, purkautuu varaus kohteeseen ja siitä seuraa sähköisku. Staattisen sähköpurkaus (ESD) on siis äkillinen purkaus, joka tapahtuu kahden sähköä johtavan ja vastakkaisesti varautuneen kappaleen tullessa kosketuksiin

toisiinsa. Kappaleeseen/henkilöön varautuneen sähkövarauksen purkautuessa piirilevyihin, niissä oleviin komponentteihin tai laiteliittimiin on seurauksena mahdollisesti ESD-vaurio. ESD-vauriot tapahtuvat yleensä huomaamatta, koska ihmisen ei havaitse pieniä purkauksia lainkaan ja elektroniikassa käytettävät komponentit voivat vaurioitua jopa alle 30 voltin purkauksista. (Treston 2018, 4.)

Ihminen havaitsee ESD-purkauksia tuntoaistilla, kun purkautumisjännite on yli 3 500 voltia. Kuuloaistin mukaan ihminen havaitsee purkauksia, kun purkautumisjännite on yli 4 500 voltia ja näköaistilla pystytään havaitsemaan yli 5 000 voltin purkauksia. (Treston 2018, 4, Viheriäkoski 2001, 26.)

Varauksien purkautumista tapahtuu ja ESD-vaurioita voi syntyä, kun

- varautunut esine tai henkilö joutuu kosketukseen ESD-herkän osan kanssa (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 6.)
- ESD-herkkä osa on altistunut sähköstaattiselle kentälle ja joutuu suoraan kosketukseen erittäin johtavan pinnan kanssa (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 6.)
- suoraan kosketukseen joutuu varautunut ESD-herkkä osa ja eri potentiaalissa oleva pinta. Eri potentiaalissa oleva pinta voi olla maadoittamaton tai maadoitettu. (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 6.)

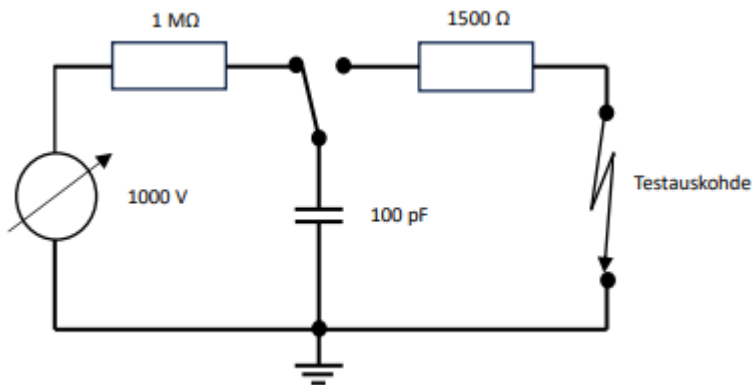
Staattisen sähköön purkautumismekanismeja on kuitenkin useita ja niitä pyritään hahmottamaan purkausmallien avulla. Purkausmalleista yleisimmät ovat standardissakin mainittu termeissä ja määritelmässä, jotka ovat Human Body Model (HBM), Machine Model (MM) ja Charged Device Model (CDM). Näistä purkautuminen suoraan ihmiskehosta (HBM) on malli, jonka mukainen tapahtuma Mi-pron testauslaboratoriossa on todennäköinen logiikka- ja piirikorttien käsittelyssä.

2.5.1 Human Body Model (HBM)

Ihminen varautuu sähköisesti kaikissa liikkeissään ja toimissaan, eikä sitä voida mitenkään estää. Varautumista tapahtuu riisuessa, pukiessa, kävellessä ja vaikka tuolilta seisomaan noustessa, ja myös ihmisen käsitellessä varautuneita kappaleita tai materiaaleja tapahtuu kehon varautumista. Näiden purkautumisien mallintamiseen käytetään HBM-mallia (KUVIO 2).

Energiamäärä ihmisestä aiheutuvissa purkauksissa on matala (<200 mJ), minkä vuoksi terve ihminen ei tietävästi voi menehtyä kehon varauksesta aiheutuvassa purkauksessa. Hetkelliset tehopiikit kehosta

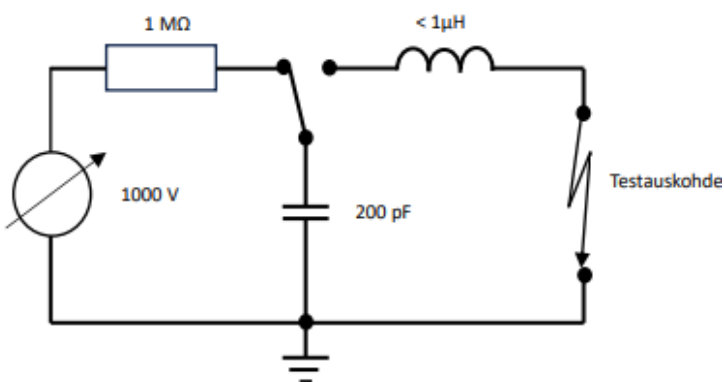
tapahtuvissa purkauksissa voivat kuitenkin olla erittäin suuria. Ihmisen kehon varautuminen on suuruusluokaltaan 100 pF. (Viheriäkoski 2001, 26.)



KUVIO 2. HBM-sijaiskytkentä (Viheriäkoski 2001, 27.)

2.5.2 Machine Model (MM)

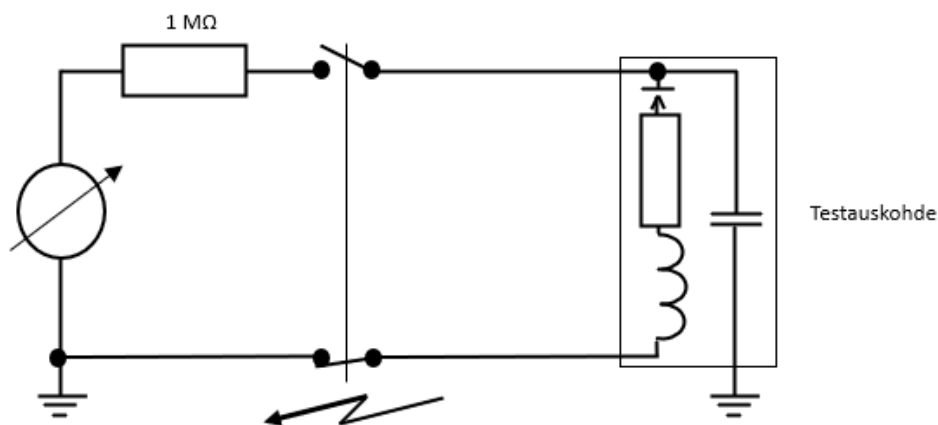
Huomattavasti HBM-mallia vaarallisempia ja tehokkaampia ESD-purkauksia saattaa esiintyä elektronikkateollisuudessa kuljettimilla ja ladontalinjoilla. Machine Model mallilla (KUVIO 3) simuloidaan tilannetta, jossa varautunut ja johtava kappale joutuu suoraan kosketukseen komponentin kanssa kuljettimilla, ladontalinjoilla tai testauksessa. MM-purkautumismallissa varauksen suuruus on suuruusluokaltaan 200pF. (Viheriäkoski 2001, 28.)



KUVIO 3. MM-sijaiskytkentä (Viheriäkoski 2001, 28.)

2.5.3 Charged Device Model (CDM)

Varautuneen komponentin suoran maadoituskontaktin aikaansaavaa ESD-purkausta simuloidaan CDM-mallilla (KUVIO 4). CDM-mallilla tutkitaan vikautumismekanismeja, jotka ovat nopeiden pulssien aiheuttamia. Koska näissä tilanteissa pulssi on lyhyt, on energiakin pieni. Pulssin lyhyiden takia suojarakenteet eivät välttämättä ehdi toimia ja komponentti voi vaurioitua herkemmin kuin HBM- ja MM-malleissa. (Viheriäkoski 2001, 29.)



KUVIO 4. CDM-sijaiskytkentä (Viheriäkoski 2001, 29.)

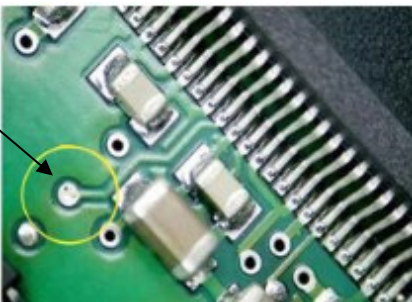
3 ESD-VAURIOT

ESD-vaurioita on kahdenlaisia, jotka ovat fataalivika ja latenttivaurio. Fataalivika (KUVA 1) on sellainen, joka huomataan tuotteen kokoonpano-, käsittely- tai testausvaiheessa. Näitä tuotteita ei asiakkaille toimiteta. (Treston 2018, 6.)



KUVA 1. ESD:n aiheuttama fataalivika piirilevyllä (Barcode Factory 2023.)

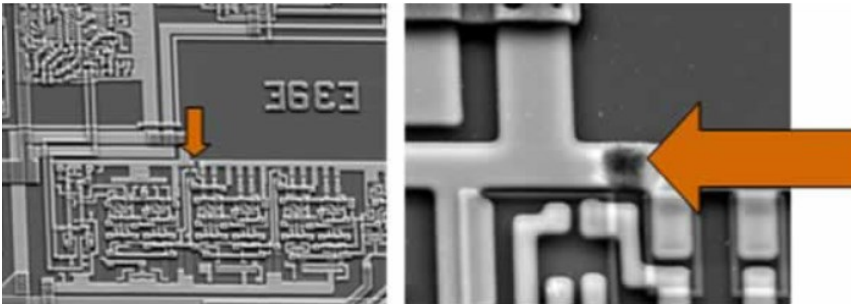
Latenttivaurio (KUVA 2) on vaikea havaita, koska tuote läpäisee testit valmistusvaiheessa ja voi toimia normaalisti asiakkaalla. Tuotteen toimintaan ja kestävyyskykyyn latenttivauriot vaikuttavat ja saattavat olla tuotteen heikon laadun syy. (Treston 2018, 6.)



KUVA 2. ESD:n aiheuttama latenttivaurio piirilevyllä (Barcode Factory 2023.)

ESD:n on havaittu olevan yhtenä tekijänä, jotka vaikuttavat tuotteen luotettavuuteen. Viat tuotteissa selviävät vasta ajan kuluessa, ja tämän takia ESDS-suojaketjun varmistaminen on tuotteen laadun takia erittäin tärkeää. ESD-suojasta voi ajatella kylmäketjuna, jossa on varmistuttava tuotteiden suojaus joka kohdassa tuotteen lopulliseen käyttötarkoitukseen saakka.

ESD-vaurioita syntyy herkemmin ja suojautuminen entistäkin tärkeämpää, koska tuotteissa käytetään entistä enemmän integroitujapiirejä ja pienempiä komponentteja sekä samalla komponenttien sisäiset eristysvälit ovat pienentyneet. Näiden syiden vuoksi on tärkeää varmistua ESD-suojauksesta kaikilla teollisilla ja teknisillä työpaikoilla, joissa käsitellään sähköisiä komponentteja ja tuotteita. Alla esimerkki ESD:n aiheuttamasta vauriosta sirussa (KUVA 3).



KUVA 3. ESD:n aiheuttama vaurio sirussa (eleshop.eu.)

4 ESD-SUOJAUS

Standardissa SFS-EN 61340-5-1-2016 määritellään ESD-hallintaohjelman vaatimukset, jotka käsitellään tässä luvussa. Standardin mukaan yrityksen on nimettävä ESD-koordinaattori, jonka vastuulla ovat standardin vaatimusten täytäntöönpano sisältäen ohjelman luomisen, dokumentoinnin, ylläpidon ja vaatimustenmukaisuuden tarkistuksen. (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 11.)

Koordinaattorin nimeämisen jälkeen organisaation tulee laatia ESD-hallintaohjelmansuunnitelma, joka pitää sisällään seuraavat asiat: (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 11.)

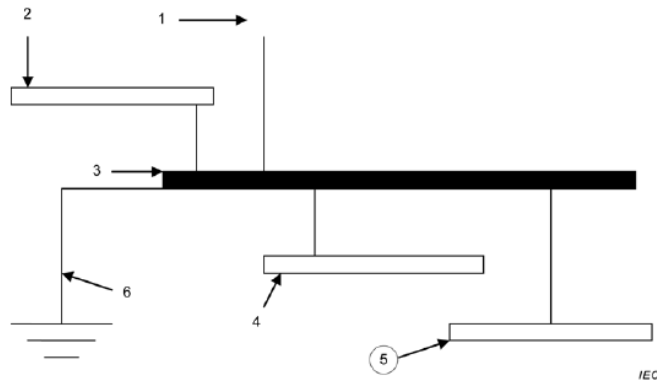
- koulutus
- kelpoisuuden toteaminen
- maadoitus- / potentiaalintasausjärjestelmät
- henkilömaadoitus
- EPA-vaatimukset
- pakkausjärjestelmät
- merkinnät

Koulutussuunnitelmassa tulee määrittää henkilöt, joiden tulee olla tietoisia ESD asioista ja joiden tulee saada suojauskoulusta. Kelpoisuudentoteamissuunnitelmalla tulee varmistaa, että organisaatio täyttää suunnitelman vaatimukset. (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 11-12.)

Maadoitus- / potentiaalintasausjärjestelmissä tulee eliminoida potentiaalierot ESD-herkkien osien ja niiden kanssa kosketuksiin joutuvien johteiden väliltä. Kaikki staattista sähköä johtavat ja poistavat tarvikkeet tulee kytkeä maahan tai toisiinsa potentiaalierojen eliminoimiseksi. Potentiaalierojen eliminointi voidaan tehdä kolmella eri tavalla: (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 13.)

- suojamaata käyttävä maadoitus (ensimmäinen ja suositeltavin vaihtoehto).
- toiminnallista maata käyttävä maadoitus (toinen vaihtoehto)
- potentiaalitasaus (vaihtoehto, jota voidaan käyttää, jos ei ole käytettävissä maadoituskiskoa)

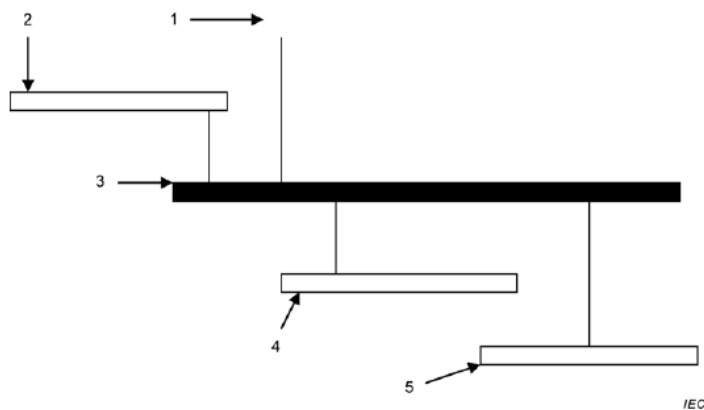
Alla kuvioina (KUVIO 5 ja 6) kaaviot maakytkennällä suojatusta EPA-alueesta ja potentiaalintasausjärjestelmällä tehdystä EPA-alueesta selitteineen.



Selite

- 1 Maadoitusranneke (ranneke ja maadoitusjohto)
- 2 Työtaso
- 3 Yhteinen maapiste
- 4 Matto
- 5 Lattia
- 6 Suojamaa tai toiminnallinen maa (jos käytetään toiminnallista maata, se on liitettävä suojamaahan)

KUVIO 5. Maakytkennällä suojatun EPA-alueen kaavio (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 14.)



Selite

- 1 Maadoitusranneke (ranneke ja maadoitusjohto)
- 2 Työtaso
- 3 Yhteinen liitännätpiste
- 4 Matto
- 5 Lattia

KUVIO 6. Potentiaalijärjestelmällä suojatun EPA-alueen kaavio (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 14.)

Henkilöiden maadoituksessa kaikki ESD-herkkiä osia käsittelevät henkilöt tulee maadoittaa tai kytkeä potentiaalintasausjärjestelmään käyttämällä rannekejärjestelmää tai lattia-jalkine-järjestelmää. EPA

vaatimuksissa tulee rakentaa staattiselta sähköltä suojattu EPA-alue, kun käsitellään ilman suojarahkausta tai -päällystä olevia ESD-herkkiä osia. Varoitusmerkeillä, jotka ovat selvästi nähtävissä ennen EPA-alueella astumista, on ilmoitettava EPA-alueen olemassaolosta. (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 15-16.)

Pakkausjärjestelmien tulee olla asiakassopimusten, ostotilauksien, piirustusten tai muiden asiakirjojen mukaiset. Jos edellä olevissa ei ole määritelty ESD-suojapakkauksia ja niitä tarvitaan, tulee ne määrittää kaikille materiaaleille, joita siirrellään suojattujen alueiden sisällä tai suojatuilta alueilta pois. (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 19.)

Järjestelmien, pakkausten ja ESD-herkkien osien merkintöjen tulee olla asiakassopimusten, ostotilauksien, piirustusten tai muiden asiakirjojen mukaiset. Jos edellä olevissa ei ole määritelty merkintöjä tai niiden tarpeellisuutta ja niitä tarvitaan, tulee organisaation harkita merkintöjä. Merkintöjen katsottaessa välttämättömiksi tulee kirjata ne osaksi hallintasuunnitelmaa. (SFS-EN 61340-5-1. 2016, 19.)

5 EPA-ALUE

EPA-alue rakennetaan niin, että staattisten sähköpurkautumisien komponenteille aiheuttama vaurioitumisriski on mahdollisimman vähäinen. EPA-alueita tavallisesti ovat valmistus, testaus ja laboratorio tms. alueet. (Viheriäkoski 2001, 41.) Rakennettava EPA-alue voi olla yksi työpiste tai useampi työpiste tai jopa iso tuotantolinjasto, kuitenkin alueen ollessa iso tai pieni täytyy samat asiat huomioida aluetta rakennettaessa ja suunnitellessa.

5.1 Maadoitukset

EPA-alueella nopeiden potentiaalimuutosten eliminoimiseksi rakennetaan maadoitusverkko. Maadoitusverkko rakennetaan ensisijaisesti suojamaata käyttämällä, toissijaisesti toiminnallista maata käyttämällä tai vähintään potentiaalitasasta käyttämällä. Maadoitusverkon toiminta varmistetaan tekemällä resistanssimittaus käyttöönottovaiheessa, kerran vuodessa sekä aina, jos tehdään maadoitusverkkoon muutoksia. (Viheriäkoski 2001, 41, SFS-EN 61340-5-1. 2016, 13.)

5.2 Lattiat

ESD-lattia tai -matto ei ole standardin mukaan pakollinen, mutta jos EPA-alueella käytetään ESD-vaujuja, ESD-tuoleja, ESD-pöytiä tai hyllyjä, on lattian kautta maadoitus yleensä helpoin tapa. Lattioita on monenlaisia mm. ESD-lattiamattoja ja ESD-massalattioita. Varausta poistavaksi lattiaksi ESD-matto on yleensä helpoin, kun rakennetaan jo olemassa olevaan paikkaan EPA-aluetta. Jos kyseessä on kokonaan uusi rakennus, voi silloin tulla kyseeseen ESD-massalattia, varsinkin jos EPA-alue on iso. Lattioiden johtavuus ja maadoitusresistanssi mittausta tehdään käyttöönottovaiheessa sekä kuukausittain näytetarkastuksina. (Treston 2018, 12, Viheriäkoski 2001, 43.)

5.3 Kalusteet

Kaikkien EPA-alueella käytettävien kalusteiden, kuten pöytien, tuolien, hyllyjen ja kuljetusvaunujen tulee olla ESD-suojattua. ESD-suojattuja työpöytiä on kahdenlaisia. Työpöydän ESD-suojaus on kunnossa, jos työpöytä on rakenteeltaan puolijohtava ja jalat koskettavat ESD-lattiaa, joka on maadoitettu. Kaikki muunlaiset työpöydät on kytkettävä kaapeleilla potentiaalintasauspisteeseen, ja tämä koskee myös kiinteitä kalusteita. Tuolit ja kuljetusvaunut tulee olla johtavilla pyörillä varustettuja. Tuolien tulee lisäksi olla ESD-suojattuja ilman eristäviä osia. Johtavuus- ja maadoitusresistanssimittaukset tulee kosketeltavien pintojen osalta suorittaa käyttöönottovaiheessa ja kuukausittain näytetarkastuksina. (Treston 2018, 14, Viheriäkoski 2001, 43.)

5.4 Henkilöstö

Koska esineet ja kappaleet varautuvat hankautuessaan toisiaan vasten on ihminen aina jollakin tavalla varautunut. Tämän vuoksi henkilöstön ESD-suojauksesta on huolehdittava. Helpoin ja tehokkain keino siihen on rannekkeen käyttö. Ranneke on helppo asentaa työpöytään tai muuhun vastaavaan ja laittaa siitä ranteeseen. Henkilösuojaus voidaan tehdä myös kenkä-lattia-menetelmällä, jos käytetään maadoitettua ESD-lattiaa ja ESD-kenkiä ja työskennellään seisaaltaan. Jos työskenneltäessä tarvitsee liikkua paljon ja pitempää matkaa voi kenkä-lattia menetelmä olla ainoa vaihtoehto. Tällöin kuitenkin on huolehdittava, ettei kenkiä käytetä muualla kuin EPA-alueella, jotta ne eivät likaannu tai vaurioidu ja menetä toimintakykyään. Rannekkeiden ja kenkien toiminta tulisi testata aina vuorokausittain mittauksilla tai silloin, kun niitä käytetään, jos käyttö ei ole päivittäistä. (SFS-KÄSIKIRJA 661 2010, 60–62, Viheriäkoski 2001, 45.)

5.5 Koneet ja laitteet

Tuotteen valmistuksessa EPA-alueella on huolehdittava, että valmistusprosesseissa käytetään ensisijaisesti varausta poistavia tai varautumattomia materiaaleja. ESD-suojauksen toimivuutta tuotteiden valmistusprosesseissa seurataan mittauksin, jotka suoritetaan säännöllisesti. (Viheriäkoski 2001, 43.)

5.6 Työkalut

Työkalujen kuten ruuvimeisseleiden tulee EPA-alueella olla johtavia, heikosti varautuvia tai varausta poistavia. Resistiivisyydet ja varauksen purkausajat työkaluista mitataan säännöllisesti kerran kuukaudessa ja käyttöönottovaiheessa. (Viheriäkoski 2001, 43.)

5.7 Ionisaattorit

Kun maadoittamisella tai materiaalivalinnoilla ei voida saavuttaa riittävää varausten neutralisointia, voidaan varausten neutralisointiin käyttää ionisaattoria. Ionisaattorin käytöllä ei kuitenkaan saavuteta täydellistä varausten neutralisointia. (Viheriäkoski 2001, 44.)

5.8 Muut olosuhteet

Siisteys ja puhdistus ovat tärkeitä asioita EPA-alueella ja niistä täytyy aina huolehtia, jotta EPA-alue toimii hyvin ja oikein. Pölyä ja muuta likaa ei lattioilla ja työskentelypinnoilla tulisi olla. Henkilöstön on huolehdittava alueen siisteydestä ja ettei EPA-alueelle tuoda mitään sinne kuulumatonta esim. juomia tai ruokia, eikä siellä syödä tai juoda. EPA-alueen puhdistukseen tulee käyttää ESD-puhdistusaineita, jotta ESD-suojaus pysyy korkealla tasolla.

Ilman kosteuteen kannattaa kiinnittää huomiota ja sen tulisi olla 20–60 % välillä. Ilman kosteutta tulee valvoa jatkuvalla seurannalla. Varsinkin pakkasella ja kuivissa olosuhteissa ilman kosteudella on merkitystä materiaalivalintoja tehtäessä. (Viheriäkoski 2001, 44.)

5.9 Merkinnät

EPA-alue on merkittävä selvästi, niin että ennen alueella astumista näkee missä EPA:n rajat kulkevat. Lisäksi alue on merkittävä kylteillä, jotka näkyvät alueella ollessa, sinne mentäessä ja sieltä poistuessa. Yleisesti alueen reunalle lattiaan laitetaan mustakeltainen teippi, jossa lukee ESD-suojattu alue tai ESD Protected Area. (Viheriäkoski 2001, 47–48.)

Teipissä ja seinälle tai muualle laitettavassa kyltissä pohjaväri on keltainen ja tekstit sekä kuvat ovat mustat. Esimerkkikuvat (KUVA 4, 5) merkinnöistä ovat alla.



KUVA 4. ESD-suojatusta alueesta kertova teippi (Perel.)



KUVA 5. ESD-suojatusta alueesta kertova taulu (Perel.)

6 MIPRO OY JA TESTAUSLABORATORIO TESTIMO

Mipro Oy on vesi- ja energiajärjestelmiin sekä raideliikenteen turvallisuusjärjestelmiin erikoistunut yritys. Yritys on toiminut jo vuodesta 1980 lähtien. Nykyään Miprolla työskentelee yli 150 tekniikan alan ammattilaista. Mipro toimii kansainvälisillä markkinoilla, ja mm. Virossa asiakkaana on Eesti Raudtee As. Suomessa asiakkaita ovat lukuisat vesi- ja energiahuollon yhtiöt sekä mm. Väylävirasto. (Mipro.)

Mipron pääkonttori on Mikkelissä, jossa sijaitsee myös testauslaboratorio Testimo. Miprolla on konttorit myös Espoossa, Oulussa ja Tallinnassa. Testauslaboratorio Testimossa työskentelee testaa- jia testaten mm. asetinlaitteiden toimintoja. Testauksissa käytetään tietokoneita ja asetinlaiteohjelmistoja sekä logiikoita. Logiikkoihin ja järjestelmiin liittyviä piirikortteja käsitellään testauslaboratorion ti- loissa, jonka takia sinne tarvitaan ESD-suojattu alue, jolle tulevilla työpisteillä on turvallista käsitellä avoimia piirikortteja ja säilyttää niitä.

7 TESTAUSLABORATORION ESD-SUOJAUS SUUNNITELMA

Testauslaboratorion suunnittelua miettiessä sain luvan aloittaa suojauksen suunnittelemisen ihan nollatilanteesta, jolloin ei tarvitse ottaa huomioon ollenkaan siellä tällä hetkellä mahdollisesti olevia ESD-suojauksia. ESD-suojaus on siis tarkoitus rakentaa kokonaan uudelleen nykyisten määräyksien ja käytänteiden mukaan.

Suunnitelmassani testauslaboratorion takaosaan rakennetaan ESD-suojattu alue (EPA), jossa on ESD-työpisteitä. Työpisteillä avoimien piirikorttien käsitteleminen on turvallista ja niitä on turvallista henkilön ollessa maadoitettuna rannekkeen kautta asentaa logiikkarakkeihin tai muihin vastaaviin laitteisiin.

7.1 Testauslaboratorion EPA-alue

Lattialle asennetaan ESD-matto, jonka ympärille asennetaan EPA-alueen alkamisesta kertova teippi. EPA-alueen seinälle näkyvään paikkaan asennetaan ESD-suojatusta alueesta kertova taulu/taulut, jotka näkyvät selvästi joka kohdasta alueelle tultaessa, alueelta poistuttaessa tai alueella työskenneltäessä.

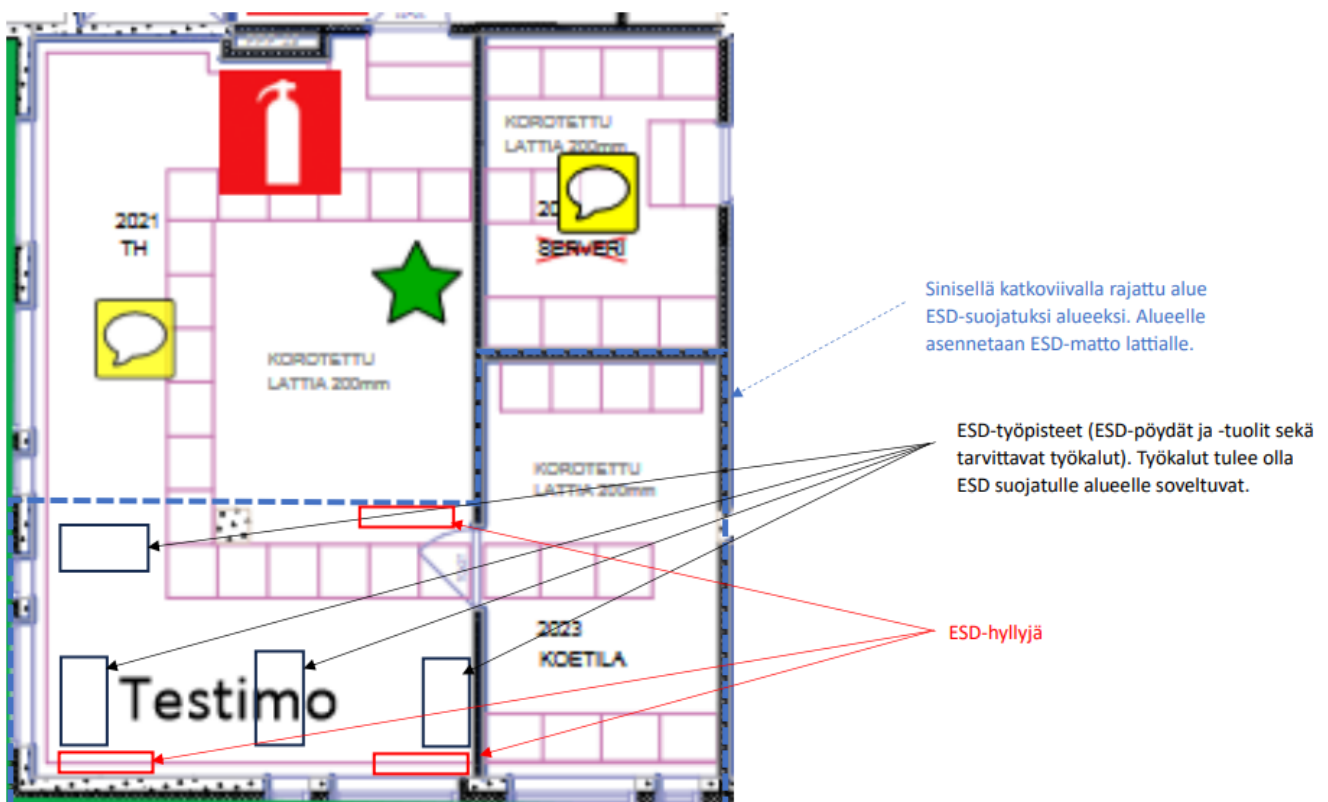
Työpisteitä ESD-suojatulle alueelle tulee 4, ja niihin tulee puolijohtavat ESD-pöydät ja ESD-pyörillä oleva tuolit, joissa pöydän suojaus ja tuolin ESD-suojaus on kunnossa pöydän jalkojen ja tuolin ESD-pyörien kautta ESD-mattoon ja ESD-maton kautta potentiaalintasauspisteeseen. Pöytiä ja tuoleja ei siis erikseen tarvitse liittää potentiaalintasauspisteeseen. Työpisteille olisi hyvä myös hankkia ESD-suojattuja perustyökaluja mm. ruuvimeisseleitä korttien säätämistä ja viritystä varten.

Koska ESD-suojatusta alueesta ei tule iso eikä siellä tarvitse liikkua paljon, voidaan henkilöiden suojaus hoitaa ranneke menetelmällä, joka on parempi ja varmempi kuin kenkä-lattia menetelmä. Rannekkeet asennetaan jokaiselle työpisteelle, ja jos mahdollista, niin lisäksi yksi rannekepaikka asennetaan logiikkakehikoiden läheisyyteen. Rannekkeiden venyvän/joustavan johdon ansiosta se antaa myös mahdollisuuden myös liikkua työpisteiltä logiikkakehikoille. Logiikkakehikoiden yhteyteen/läheisyyteen asennetun rannekepaikan avulla saadaan henkilö maadoitus hoidettua rannekkeen avulla, jos on tarvetta käydä esim. tuulettamassa logiikoita tai laittaa uusia logiikoita kehikkoihin. Rannekkeiden testausta varten tiloihin asennetaan sopivaan paikkaan ranneketesteri.

ESD-suojatulle alueelle asennetaan puolijohtavat ESD-hyllyt (3kpl) piirikorttien ja muiden ESD-herkkien laitteiden ja -komponenttien säilytystä varten. Hyllyssä ei säilytetä suoraan piirikortteja, vaan niitä varten hankitaan ESD-laatikoita, joissa sillä hetkellä käyttämättömänä olevia piirikortteja voidaan säilyttää. Hyllyjä tarpeen vaatiessa lisätään koetilaan.

Potentiaalitasauspisteen ja tarvittavan maadoitusjärjestelmän paikat tulee selvittää ESD-suojatun alueen rakentamisesta vastaavan yrityksen ja asentaa ne niin kuin standardissa SFS-EN 61340-5-1 määrittää. Tällöin pitää myös huomioida, jos EPA-alueella olevat logiikka- ja laiteräkit tarvitsevat maadoituksen, jotta ESD-suojaus taso pysyy korkeana.

Kun alue on rakennettu ja otetaan käyttöön, täytyy sinne tehdä standardissa määritetyt johtavuus- ja resistanssimittaukset. Mittaukset täytyy toistaa neljännesvuosittain. Rannekkeiden toiminta tulee varmistaa päivittäin alueella työskentelevän/työskentelevien henkilöiden tekemänä. Alla kuva (KUVA 13), jossa näkyvät EPA-alueen rajat, ESD-työpisteiden ja ESD-hyllyjen paikat Testimossa.



KUVA 6. Testauslaboratorioon suunniteltu EPA-alue.

7.2 EPA-alueelle tulevien materiaalien kustannuksia

Alla olevassa taulukossa (TAULUKKO 3) ESD-suojatun alueen rakentamiseen tarvittavia tuotteita internetistä 17.10.2023 haettuine hintoineen ilman asennusta. Tarkat kustannukset selviävät, jos Miprolla päätetään suunnitelman mukaan toteuttaa ESD-suojaus testauslaboratorioon ja kysytään tarjoukset ESD-suojaustarvikkeita myyvistä ja asentavista yrityksistä.

TAULUKKO 3. EPA-alueen materiaalien hintoja. (Perel.)

Tuote	Hinta (EUR)
ESD-matto 1,9 m x 10 m	916,00
Sähkösäätöinen Treston TED ESD-työpöytä 800 x 1500 mm	1572,06
ESD-työtuoli Comfort Plus, musta	476,00
Kangasranneke, 7 mm, vaaleansininen	3,10
ESD-rannekkeen kierrejohto 3,6 m, 7/10 mm, musta	5,65
Rannekeliityntärasia 2 x 4 mm banaaniiliitäntä + 10 mm neppariiliityntä	17,80
ESD perushylly, hyllytaso 400 x 1000 mm. Hyllyn korkeus 2000 mm	356,78
ESD säilytyslaatikko Wez 400 x 300 x 212 mm	23,80
Ranneketesteri H280	330,00
Verkkolaite ranneketesteriin H280	38,00

Esimerkkihinnoina laskettuna suunnittelemani ESD-suojatun alueen tarvikkeille tulee hinnaksi n. 11 750 EUR. Hinta on laskettu 4 työpisteen, 3 hyllyn mukaan ja 20 säilytyslaatikon mukaan. Mattoa on laskettu keskiarvo hinnalla 30 neliön verran. Esimerkkilaskelmassa on pöydiksi ja tuoleiksi otettu perusmallit, joten jos ne vaihdetaan parempiin tai niihin lisätään varusteita, nousevat kustannukset jonkin verran. Työkalujen hinnat puuttuvat listasta, niihin arvioin kuluvan muutamia satoja euroja. Tarvikkeiden ja työkalujen lisäksi tarvitaan vielä asennus.

8 KOULUTUS EPA-ALUEELLA TYÖSKENTELEVILLE

Koulutuksen suunnittelussa täytyy huomioida, että ESD-suojaus on todennäköisesti täysin uusi asia koulutukseen osallistuville, ja tämän vuoksi on pystyttävä kertomaan asiat ymmärrettävästi koulutettaville. Omasta mielestäni koulutuksessa kannattaa panostaa siihen, miksi ESD-suojausta tarvitaan ja kuinka ESD-suojatulla alueella toimitaan. Huomiota täytyy kiinnittää siihen, että ESD-suojatulle alueella ei saa viedä mitään sinne kuulumatonta ja myös että siellä syöminen, juominen ja muu vastaava toiminta on ehdottomasti kiellettyä. Vierailijoilla, jotka käyvät tai kulkevat EPA-alueella, tulee olla saattaja, joka on saanut koulutuksen alueella työskentelyyn. Alueen puhtaanapito ja huolto täytyy myös ottaa osaksi koulutuksia, kuuluu se sitten siellä työskenteleville tai siistijöille.

Koulutuksia tulee järjestää myös kertauksena esimerkiksi kahden vuoden välein, koska monesti ESD-suojatulla alueella työskentelevät turtuvat ja rutinoituvat asioihin, jolloin saatetaan unohtaa käyttää suojaukseen tarkoitettuja välineitä sekä tarkastaa niiden toiminta. Mielestäni Miprolla ESD-suojauksen koulutus kannattaisi liittää Testimon perehdytyksen yhteyteen. Uusille siellä työskenteleville työntekijöille ja myös jo perehdytyksen saaneille tulisi järjestää koulutus valmiiksi alueen rakentamisen edistyessä jo ennen sen valmistumista. Liitteenä koulutuksen pohjaksi tekemäni PowerPoint-esityksen diat.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä ESD-suojaukseen, suojauksen toteutukseen ja ESD-koulutukseen sekä suunnitella Mipron testauslaboratorioon toimiva ESD-suojaus. Mielestäni opinnäytetyön tavoitteet täyttyivät hyvin ja opinnäytetyössä sain suunniteltua hyvän ja toimivan ESD-suojauksen Mipron testauslaboratorioon. Koulutuksen avuksi sain suunniteltua koulutuspaketin, jota voi myös käyttää esim., jos halutaan tiedottaa staattisesta sähköstä, staattisen sähköön purkauksista ja ESD-suojauksesta.

Opinnäytetyötä tehdessä luin lähdemateriaalia ESD-suojauksesta todella monista paikoista ja keskustelin useiden ihmisten kanssa aiheesta. Selväksi tuli, että vaikka staattinen sähkövaraus on osana elämäämme ollut aina, on sitä alettu tutkimaan vasta viime aikoina. Tänä päivänä elektroniikassa käytetään yhä kasvavin määrin ESD-herkkiä komponentteja ja niiden toimintavarmuuden sekä käyttöiän maksimoimiseksi ESD-suojaukseen on syytä panostaa varsinkin elektroniikka-alan yrityksissä. Kun yritykseen on rakennettu EPA-alue, sen käyttö on helppoa. Alue on myös hyvin pitkäikäinen sijoitus, kunhan sitä huolletaan ja käytetään oikein.

ESD-suojaukseen suunniteltaessa, tarvitsee yrityksen nimetä koordinaattori, luoda hallintaohjelma, rakentaa tarvittava ESD-suojattu alue sekä noudattaa hallintaohjelmaa. Koulutukseen on aluksi hyvä panostaa, jotta työntekijät ymmärtävät ESD-suojauksen tärkeyden sekä osataan työskennellä oikein ja turvallisesti EPA-alueella. Myös osaamisen varmistamiseksi kertauskoulutukset ovat tärkeitä.

Opinnäytetyön tekemisen aikana osaamiseni staattisesta sähköstä ja staattisen sähköön purkautumisesta kasvoi. Syvennyin eri purkausmalleihin ja opin mitä ne tarkoittavat. Kehityin ymmärtämään työntekijöiden ja yrityksen tarpeita ja opin ottamaan niitä huomioon mahdollisuuksien rajoissa suunnittelua tehdessäni. Uskoisinkin, että kokemuksistani ja oppimisesta, jotka tämä opinnäytetyön tekeminen minulle toi on paljon hyötyä tulevaisuudessa.

Mipro Oy:lle isot kiitokset opinnäytetyö mahdollisuuden tarjoamisesta.

LÄHTEET

Barcode Factory. 2023. *Prevent Electrostatic Discharge from Barcode Scanners*. Saatavissa: <https://blog.barcodefactory.com/blog/prevent-electrostatic-discharge-from-barcode-scanners>. Viitattu 13.10.2023

eleshop.eu. *ESD-safe: an introduction*. Saatavissa: <https://eleshop.eu/knowledgebase/ESD-EN/>. Viitattu 13.10.2023

Mipro. *Mipro-neljä vuosikymmentä turvallisuuden edelläkävijänä*. Saatavissa: <https://mipro.fi/fi/etusivu/>. Viitattu 23.10.2023

Perel. *ESD-suojaus tuotteet*. Saatavissa: <https://www.perel.fi/tuotteet/43388672/esd-suojaus>. Viitattu 17.10.2023

SFS-EN 61340-5-1. *Staattinen sähkö. osa 5-1: Elektronisten komponenttien suojaaminen staattiselta sähköltä. Yleiset vaatimukset*. 2016. Helsinki: SFS Ry

SFS-KÄSIKIRJA 661. *ESD – staattisen sähköön hallinta elektroniikkateollisuudessa. 2010*. Helsinki: SFS Ry

Treston. 2018. *ESD-suojaus teknisillä ja teollisilla työpaikoilla*. Saatavissa: https://communication.treston.com/acton/fs/blocks/showLandingPage/a/17139/p/p-00b2/t/page/fm/1?_gl=1*16xsoyi*_ga*MTIz-NTA1NTY0NC4xNjk1MjEyNDY2*_ga_XZYLN6C7G7*MTY5NjQwMzA0MS40LjA-uMTY5NjQwMzA0NS4wLjAuMA..&_ga=2.240642755.1946674540.1696403042-1235055644.1695212466&_gac=1.247196406.1695453932.CjwKCAjwmbqoBhAgEi-wACIjzEC6Rw1VQBAiPCA-iVYmldRUtzQ-aoOUhFRbdnsLpecYmK8cVe7-LwRoC2JMQAvD_BwE. Viitattu 5.10.2023

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

VTT. *Staattisen sähköön vaarojen tunnistaminen ja hallinta prosessiteollisuudessa, koulutusmateriaali*. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/staha/koulutusaineisto.pdf>. Viitattu 2.10.2023.

ESD-KOULUTUS

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

Staattinen sähkö eli staattinen sähkövaraus

- Luonnossa staattista sähköä on esiintynyt aina, mutta asiaa on alettu ymmärtää ja tutkia vasta 1600-luvulla.
- Staattinen sähkövaraus on aineessa oleva epätasapainotila jolloin varautuneessa kappaleessa on elektronien varausylimäärä.
- Helpoin staattista sähkövarausta ja sen purkautumista on ymmärtää, kun ihminen varautuneena koskettaa esim. auton kattoa ja saa sähköiskun. Tällöin ihmiseen varautunut sähkö pääsee purkautumaan auton runkoon.
- Staattisen sähkövarauksen purkautuminen laitteisiin ja piirilevyihin voi vaurioittaa elektronikan komponentteja välittömästi tai piilevästi. Tämä näkyy laitteiden käyttöiän lyhentymisenä ja aiheuttaa kustannuksia.
- Staattista sähkövarausta käytetään myös joissakin sovellutuksissa hyödyksi, mm. lasertulostimissa saadaan kuvat ja tekstit paperille staattista sähkövarausta hyväksi käyttämällä.

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

Staattisen sähkövarauksen syntyminen

- Aineiden tai kappaleiden välisessä liikkeessä.
 - Irtoaminen
 - Koskettaminen
 - Hankaaminen
- Sähkövarauksensyntyminen aiheuttaa muihin kappaleisiin, aineisiin ja maahan nähden jännitteen.
- Sähkövarauksen suuruus riippuu mm. irtoamisnopeudesta, aineen ominaisuuksista ja sähköjohtokyvystä.
- Ulkoinen sähkökenttä ja johtuminenkin voi aiheuttaa staattista varautumista

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

Staattisen sähkövarauksen suuruus ja kehittymistapa

JÄNNITTEEN KEHITYMISTAPA	JÄNNITE, V RH 10...20 %	JÄNNITE, V RH 65...90 %
Kävely maton yli	35 000	1 500
Kävely vinyylilattialla	12 000	250
Työskentely työtasolla	6 000	100
Vinyylikaloiden käsittely	7 000	600
Aerosolin suihkutus komponenteille	15 000	500
Istuminen keinoaineisella tuolilla	18 000	1 500

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

Staattisen sähköön purkaus

- Henkilön koskettaessa varautuneena ollessaan staattisesti varautunutta kohdetta, josta sähköä johtava, purkautuu varaus kohteeseen ja sähköisku on siitä seurauksena.
- Purkaus on siis äkillinen, joka tapahtuu kahden sähköä johtavan ja vastakkain varautuneen kappaleen tullessa kosketuksiin toisiinsa.
- Kappaleeseen tai henkilöön varautuneen sähköön purkautuminen piirilevyihin, niissä oleviin komponentteihin tai laiteliittimiin voi aiheuttaa ESD-vaurion. Ihminen ei kykene havaitsemaan pieniä purkauksia, jotka ovat vaarallisia komponenteille.

STAATTISEN SÄHKÖN PURKAUTUMISEN HUOMAAMINEN

Staattisen sähköön purkautumisen tunteminen 3 500 V

Staattisen sähköön purkautumisen kuuleminen 4 500 V

Staattisen sähköön purkautumisen näkeminen 5 000 V

Yleisesti käytettävät komponentit voivat vaurioitua ja 100–200 voltin jännitteestä ja herkimmit jopa 5–10 voltista.

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

Staattisen sähköön purkautumismallit

- Human Body Model (HBM)
 - Ihmisestä laitteeseen (yleensä käden kautta)
- Machine Model (MM)
 - Koneesta laitteeseen (yleensä valmistuksessa/pakkauksessa koneen sisällä tapahtuvaa)
- Charged Device Model (CDM)
 - Laitteesta maihin tapahtuva

Mipron toiminta ympäristössä suurin riski on ihmisestä piirilevyyn käden kautta tapahtuva purkautuminen (HBM).

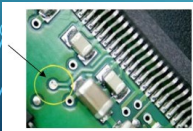
ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

ESD-vauriot

- Purkaukset aiheuttavat kahdenlaisia vaurioita
- Fataalivika huomataan yleensä heti ja on sellainen, jossa tuotteeseen tulee näkyvä vika



- Latenttivika on huomaamaton ja laite toimiikin aluksi ja monesti aika kauankin, jonka jälkeen vika alkaa esiintyä laitteen outona toimintana välillä ja vihdoin kokonaan lakaten toimimasta



ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

Suojautuminen staattisen sähkön purkautumiselta

- Lattia
 - ESD- matto tai massalattia kytkettynä potentiaalintasauspisteeseen.
- Työpiste
 - ESD-työpöytä, ESD-tuoli sekä ESD—työvälineet
- Ranneke
 - Tehokkain ihmisessä oleva varauksenpoistamiseen (poistaa kehon varaukset lähes kokonaan)
- Kengät/takit/asusteet
 - Kengät-lattia yhdistelmä ei niin tehokas kuin ranneke, eikä toimi istuessa.
 - Takkien käyttöä voi miettiä, mutta ei välttämätön
- Pakkausmateriaalit ja säilytys
 - Oikeanlaiset ESD-pakkausmateriaalit suojaavat tuotteita ja suojapakkausta ilman olevat tuotteen säilytetään ESD-laatikoissa ESD-hyllyissä



ESD:nä suojattava tuote

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

ESD suojaus alue (EPA = ESD protection area)

- EPA voi olla joko yksi työpiste tai useampi työpiste tai vaikka koko tuotantolinjasto
- Alue on aina merkitty kylteillä ja teippauksilla jotka nähtävissä alueella ollessa, sinne mennessä ja sieltä poistuessa



Teippi alueen rajan merkitsemiseen



Kyltti kertomaan ESD-suojatulla alueella olemisesta

- Kaikki alueella olevat pöydät, tuolit, hyllyt yms. on oltava ESD suojatulle alueella tarkoitetut ja maadoitetut oikein potentiaalintasauspisteen kautta

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

ESD suojatulla alueella työskenteleminen

- AINA käytettävä ranneketta
- Rannekkeen toiminta testattava päivittäin
- Alueelle EI SAA VIEDÄ mitään työkaluja tms. jotka ei ole tarkoitettu ESD-suojatulla alueella työskentelyyn
- Alueen työpisteillä ei saa syödä, juoda, eikä sinne saa viedä mitään ruokia tai juomia (ei edes kahvikuppia)
- Jos mahdollista, niin on vältettävä pukeutumista helposti varautuviin materiaaleihin mm. villa ja fleece
- Alueella työskentelyyn pitää olla lupa (ts. ESD-koulutuskäytynä)
- Alueella vieraillevalla pitää olla saattaja, jolla on lupa työskennellä alueella ja ESD-koulutus käytynä

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

ESD-suojatusta alueesta huolehtiminen

- Lattioilla ja pinnoilla ei saa olla pölyä
- Siivouksessa saa käyttää vain puhdistusaineita, jotka on tarkoitettu ESD-suojatun alueen siivoukseen
- Resistanssi ja johtavuus yms. tarvittavat mittaukset huolehdittava tehtäväksi määrävälein ja aina alueelle muutoksia tehtäessä
- Mahdollinen lattioiden vahaaminen tms. käsittely suoritettava vain ESDmateriaaleilla tarkoitetuilla aineilla
- Ilman kosteuteen tulee kiinnittää huomiota ja pyrkiä pitämään se 20-60 % välillä

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023

Lähteet

barcodefactory.com.

eleShop.eu.

Perel.fi. ESD-suojaus tuotteet.

SFS-EN 61340-5-1-2016.

SFS-KÄSIKIRJA 661. 2010.

Treston. e-kirja ESD suojauksesta. 2018.

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

VTT. Staattisen sähkö vaarojen tunnistaminen ja hallinta prosessiteollisuudessa, koulutusmateriaali.

Opinnäytetyö ESD suojauksen suunnittelu testauslaboratorioon. Antti Äijälä.

ESD-KOULUTUS ANTTI ÄIJÄLÄ 2023