
ESD-suojauksen kehittäminen



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Tuotekehityksen koulutusohjelma

Riihimäki, 31.8.2012

Veikko Katavisto



RIIHIMÄKI

Tuotekehityksen koulutusohjelma

Tuotekehitys

Tekijä

Veikko Katavisto

Vuosi 2012**Työn nimi**

ESD-suojauksen kehittäminen

TIIVISTELMÄ

Panssariprikaatin alaisuudessa toimivalla Parolan korjaamolla esiintyi tarve kehittää elektroniikan työtehtävien laatua parantamalla suojausmenetelmiä staattisten sähkön purkausten varalta. Staattisen sähkön purkaukset voivat olla tuhoisia elektroniikan komponenteille ja purkausten aiheuttamat tuhot ovat vaikeita havaita ja usein vauriot jäävät piileviksi. Käsitellyssä vaurioituneiden laitteiden määrän vähentämisellä pidettäisiin koulutusyksiköiden toiminta katkeamattomana. Yksiköiden koulutustoiminta ja aikataulut kärsivät jokaisesta viallisesta laitteesta.

Tavoitteena oli parantaa huolto-, korjaus- ja logistiikkatöissä tapahtuvien töiden suojaustoimenpiteitä, jotta korjaamon tarjoamien palveluiden hyvä laatu säilyisi. Kehitystyön tarkoituksena oli kartoittaa nykyinen suojaustaso ja menetelmät, joilla tasoa pidetään yllä. Kartoituksen pohjalta luotiin korjaamolla tapahtuvia elektroniikkatöitä koskettava ESD-hallintaohjelma, jossa määritetään kelpoisuuden toteaminen ja annetaan toiminnallisia ohjeita.

Tausta-aineistoa työhön on saatu teknisistä ohjeista ja standardeista. Puolustusvoimien omat tutkimukset staattisen sähkön hallinnasta ovat toimineet selvitystyön pohjana. Raja-arvot ja tekniset määritteet ovat peräisin standardeista.

Tilojen kartoitus kalusteiden osalta onnistui hyvin ja suuria parannuksia tehtiin pienehköillä sijoituksilla. Uutta materiaalia hankittiin ja otettiin käyttöön. Vikaantumisherkkyyden tutkiminen oli tärkeää oikeiden standardien soveltamisen kannalta ja antoi uutta tietoa huoltohenkilöstölle. Mikäli ESD-hallintaohjelma hyväksytään käyttöön, antaa se tarvittavat ohjeet riittävän suojaustason ylläpitämiseksi nykyisen kaluston osalta.

Jatkossa suojaustason arviointia tulee tehdä uutta kalustoa hankittaessa. Jos korjaamolla aletaan huoltaa nykyistä herkempiä laitteita, tulee suojaustason nostamisesta tai arvioinnista ajankohtaista.

Avainsanat ESD, elektroniikka, staattinen, vikaantumisherkyys**Sivut** 33 s. + liitteet 5 s.

RIIHIMÄKI

Programme of product development

Product development

Author

Veikko Katavisto

Year 2012**Subject of Bachelor's thesis**

Development of ESD protection

ABSTRACT

The Repair workshop in Parola operates under the authority of the Armored Brigade. It was observed that there was a need for improvement in quality control at the workshop. The aim of the development was the protection methods against electrostatic discharges in the field of electronic maintenance and logistics. Electrostatic discharges may be disastrous for electronic components and the devastations caused by discharges are difficult to detect. Often the damage will be hidden or implicit. By reducing the number of damaged equipment in processing the operation of training units can be maintained without interruptions. Training programs and time tables are disturbed by each defective item of equipment.

The aim was to improve protective measures in maintenance, repair and logistics work to provide and maintain a good quality of services. The purpose of the development work was to determine the current level of ESD protection and the methods used for maintaining standards. On the basis of a survey an ESD control program was created to serve all the personnel who work in the field of electronics. The ESD control program determines eligibility and provides guidance for operation.

Technical documents and standards have been used for background material. The Defense Forces own studies of static electricity management have acted as a base on the assessment work. Limits and technical attributes are derived from standards.

Mapping of furniture in the premises was a success and great improvements were made with small investments. New material was purchased and introduced by personnel. Failure sensitivity examination was important for choosing the right standards and it gave new information to maintenance personnel.

In the future the protection level evaluation must be performed again when new material is acquired.

Keywords ESD, electronics, static, sensitivity,**Pages** 33 p. + appendices 5 p.

Lyhenteet

CDM	Charged device model, varautuneesta laitteesta komponenttiin kohdistuva purkaus.
EMC	Electromagnetic compatibility, elektromagneettinen yhteensopivuus.
EPA	ESD protected area, ESD-purkauksien ehkäisemiseksi suunniteltu ja sisustettu tila.
ESD	Electrostatic discharge, staattisen sähkön aiheuttama purkaus.
HBM	Human body model, varautuneesta kehosta laitteeseen kohdistuva purkaus.
MM	Machine model, ulkoisesta objektista laitteeseen tai komponenttiin kohdistuva purkaus.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PAROLAN KORJAAMO.....	1
3	STAATTINEN SÄHKÖ.....	2
3.1	Staattisen sähkön varautuminen.....	2
3.2	Varauksen purkautuminen.....	3
4	ESD-HERKKYYS JA ELEKTRONIIKKA.....	4
4.1	Vaurion muodostuminen.....	5
5	ESD-SUOJAUTUMINEN ELEKTRONIIKKA-ALALLA.....	7
5.1	Standardointi ja laadunhallinta.....	10
5.2	Tilat ja varusteet.....	12
5.3	Merkinnät.....	14
6	ESD SUOJAUS PUOLUSTUSVOIMISSA.....	15
6.1	Parolan Korjaamon suojausmenetelmät.....	15
6.1.1	Radiokorjaamo.....	16
6.1.2	Puhelinkorjaamo.....	17
6.1.3	Ilmatorjuntajärjestelmäosasto.....	18
7	VIKAANTUMISHERKKYYDEN MÄÄRITTÄMINEN.....	19
8	PUUTTEIDEN KARTOITTAMINEN.....	21
9	PUUTTEIDEN KORJAAMINEN.....	22
10	PAROLAN KORJAAMON ESD HALLINTAOHJEMA.....	23
10.1	Perusteet.....	23
10.2	Soveltamisala.....	24
10.3	Valvonta.....	24
10.4	Tarkastusmittaukset.....	25
10.5	Koulutus.....	25
10.6	Tekniset vaatimukset EPA-alueelle.....	25
10.7	Testausmenetelmät.....	26
10.7.1	Maadoitusresistanssi, R_g	27
10.7.2	Kehon jännitepotentiaali, V_{body}	28
10.7.3	Yhdistelmäresistanssi, R_{sys}	28
10.7.4	Resistanssi pisteiden välillä, R_{pp}	29
10.7.5	Jalkine- ja ranneketestauslaitteen käyttö.....	30
10.8	Ohjeita ESD-herkkien osien käsittelyyn.....	30
10.9	Tunnistaminen.....	32
11	HAVAINNOT.....	32
	LÄHTEET.....	34

Liite 1 Mittauspöytäkirja

Liite 2 Koulutusmateriaali

1 JOHDANTO

Elektroniikkateollisuudessa valmistettavien tuotteiden vaurioitumisherkkyys staattisen sähköön purkauksille vaikuttaa tuotteiden laatuun niiden koko elinkaaren aikana. Puolustusvoimien käytössä olevasta elektroniikkamateriaalista suuri osa vaatii staattisen sähköön aiheuttaman uhan huomiointia jossain sen toimintaketjun vaiheessa. Tulevaisuudessa hankittavasta sotamateriaalista merkittävä osa tulee sisältämään elektroniikkaa, josta osa luokitellaan erityisen ESD-herkäksi. Suojaustoimenpiteiden noudattaminen koskettaa erityisesti huolto- ja korjaustehtäviä, joissa laitteiden suo- jakuoret joudutaan poistamaan.

Laitteille tehtävien toimenpiteiden laadun ylläpitämiseksi on luotu sarja standardeja, joiden avulla yritykset voivat ottaa käyttöön tarvittavia suo- jusmenetelmiä. Puolustusvoimissa näiden suojaustoimenpiteiden noudat- tamista valvotaan määrävlein tehtävien katselmointien avulla.

Parolan korjaamolla järjestettiin vuonna 2010 kunnossapitotöiden katsel- mointi perustuen Puolustusvoimien tekniseen ohjeeseen PVTOK YL 002, jonka yhtenä osana tutkittiin elektroniikkamateriaalin käsittelyssä tapahtu- vaa ESD-suojauksia. Suojaustoimenpiteissä ja tiloissa havaittiin puutteita, jotka eivät vastanneet standardien mukaisia vaatimuksia. Tämän opinnäy- tetyön lähtökohtana oli tilaajan, Parolan Korjaamon, tarve kehittää elekt- roniikkamateriaalin ESD-suojausmenetelmiä huollon ja logistiikan työteh- tävissä.

Puutteet työtehtävissä on osittain kartoitettu ja tiedostettu, mutta perusteel- lista, koko korjaamoa palvelevaa, toimintaohjetta haitallisten ja tahattomi- en staattisen sähköön purkauksien minimoimiseksi ei ole tehty. Tavoitteena tässä työssä on kartoittaa ESD-suojauksia vaativat työtehtävät, puutteet suo- jauksessa, sekä laitteiden vikaantumisherkkyys. Kartoituksen pohjalta laa- ditaan kehitysehdotus, sekä ESD-hallintaohjelma, jossa annetaan ohjeet SFS 61340 standardisarjan mukaisen suojaustason ylläpitämiseksi.

2 PAROLAN KORJAAMO

Parolan Korjaamo on Panssariprikaatin alaisuudessa toimiva varuskunta- korjaamo. Korjaamolla suoritetaan pääosin vikojen korjauksia ja enna- koivia huoltoja sotamateriaalille. Huollettavaa kalustoa korjaamon vastuu- alueeseen kuuluu useasta aselajista ja monista erilaisista järjestelmistä. Rakenteellisesti korjaamo on jaettu logistiikka-, ajoneuvo-, panssari-, am- mus-, ilmatorjunta- ja elektroniikkaosastoihin. Varuskuntakorjaamoilla tehdään Puolustusvoimien piirissä korkeimman tason huoltoja ja korjauk- sia. Varuskuntakorjaamot ovat myös yhteyslinkkejä ylempiin huoltotasoi- hin. (Parolan korjaamon toimintakäsikirja, 2012.)

Korjaamon palveluiden hyvällä laadulla saadaan aikaan tuotteiden hyvä suorituskyky, luotettavuus ja pitkä käyttöikä. Vioittuneen tuotteen toimit-

taminen korjaukseen aiheuttaa käyttökatkon, jonka myötä aikataulut varuskunnan koulutustoiminnoissa kärsivät. Laitteistojen saattaminen toimintakuntoiseksi luotettavilla menetelmillä nostaa käyttövarmuutta ja laskee uusintatarkastusten määrää. Keskeytysten ennaltaehkäisemiseksi laitteille tehdään määräaikaishuoltoja ja tarkastusmittauksia.

3 STAATTINEN SÄHKÖ

ESD-purkaus on staattisen sähkövarauksen aikaansaama ilmiö, josta on erityisesti haittaa pienten elektroniikan komponenttien toiminnalle. Ilmiön takana on erilaisten materiaalien kyky varata itseensä energiaa sähkökentän muodossa kondensaattorin tavoin. Purkauksen on mahdollista syntyä, kun tiettyyn jännitetasoon varautuneen kappaleen läheisyyteen tuodaan toinen varautumaton tai eri jännitepotentiaalissa oleva kappale. Kun kappaleiden välinen potentiaaliero on tarpeeksi suuri, sähkövaraus purkautuu kappaleesta toiseen synnyttäen usein näkyvän kipinän ja mahdollisesti äänen.

Ihminen varautuu moniakin kertoja arkitoimissaan usean tuhannen voltin potentiaaliin. Suurimmillaan ihmisestä on mitattu jopa 30 000 voltin jännitteitä. Pieniä varauksia ihminen ei pysty edes havaitsemaan, koska sellaisen aistimiseen tarvittavaa elintä ei ihmisillä ole. Varautumisen voi kuitenkin tuntea ihokarvojen noustessa kohti pienempää potentiaalia, mikä tosin kertoo jo todella suuresta varauksesta. Kehoon syntyneitä varauksia purkautuu päivän mittaan useita kertoja esimerkiksi kävellessä ja tartuttaessa esineisiin. Ihmisen kannalta tapahtuma ei ole haitallinen, mutta suurten varausten purkautuminen voi tuntua kivuliaalta. Myös ukkonen on seurausta pienten partikkeleiden varautumisesta. Ne törmäilevät toisiinsa pilvien sisällä ilmapvirtausten rajapinnassa. Varausten purkautumiset näkyvät salamoina, kun ionisoitunut ilma luo kulkureitin varautuneesta ukkospilvestä maan pinnan potentiaaliin.

Elektroniikkamateriaalia käsiteltäessä vaaratilanne aiheutuu, kun varautunut ihminen tarttuu elektroniseen laitteeseen luoden sähkövaraukselle purkausreitit suoraan laitteeseen. Sähkövirta etsii piirilevyllä helpoimman reitin purkautua pienempään potentiaaliin ja matkallaan se voi aiheuttaa pieniin komponentteihin ja mikropiireihin vakavia vaurioita. Tämä voi olla koko laitteen kannalta tuhoisaa. Joskus purkausreittiä virtapiirillä ei eristeiden takia ole, jolloin varaus voi jäädä eristeaineisiin useiksi tunneiksi. Varautuneen laitteen käsittelyssä ihminen voi helposti aiheuttaa erehdyksessä tuhoisan purkauksen laitteesta.

3.1 Staattisen sähköön varautuminen

Staattinen sähkövaraus on aineen epätasapainotila, jolloin varautuneessa kappaleessa on elektronien vajoitus tai ylimäärä eli positiivinen tai negatiivinen varaus. Kappaleen tai esineen varautuminen tapahtuu materiaalien välisessä hankautumisessa tai sähkökentän vaikutuksesta. Varautumisme-

kanismeja kutsutaan kosketusvarautumiseksi ja induktiovarautumiseksi. Kosketusvaraus syntyy, kun kaksi heikosti johtavaa kappaletta hankaa, koskettaa tai erkanee toisistaan. Esimerkkinä tästä on henkilön käveleminen lattialla. Kosketusvarautumista syntyy myös kahden nesteen tai nesteen ja kiinteän aineen rajapinnassa. Kaasuissa ei tapahdu kosketusvarautumista, mutta kaasujen sisältämät partikkelit ja epäpuhtaudet voivat varautua. Triboelektriseksi sarjaksi kutsuttu taulukko kertoo eri materiaalien varautumisherkkyydestä toisiinsa nähden. Taulukon ääripäissä olevat materiaalit varautuvat herkemmin ja keskellä olevat eivät varaudu juuri lainkaan. (VTT, 2012.)

Taulukko 1. Triboelektrinen sarja. (Besancon, 1985).

Ilma (+)	Nahka	Lasi	Nailon	Villa	Alumiini	Paperi	Teräs (0)	Kumi	Hopea	Polyesteri	Styroksi	Polyuretaani	PVC	Teflon (-)
----------	-------	------	--------	-------	----------	--------	-----------	------	-------	------------	----------	--------------	-----	------------

Induktiovarautumisella tarkoitetaan tapahtumaa, jonka saa aikaan kappaleen varauksen aiheuttama sähkökenttä. Kun kappaleen sähkökenttään tuodaan varautumaton kappale, voi varaus siirtyä sähkökentän välityksellä varauksettomaan kappaleeseen ilman kontaktia.

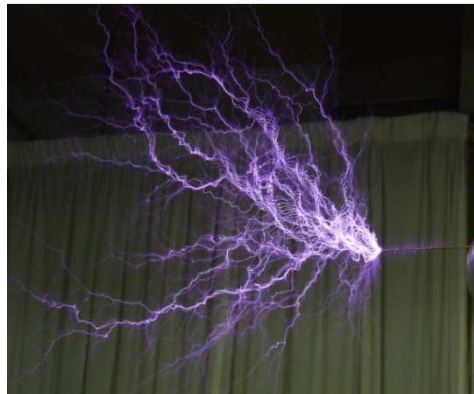
Kappaleen varautumiseen vaikuttaa pääosin materiaalin permittiivisyys, jolla kuvataan materiaalin kykyä edistää sähkökentän muodostumista. Mitä suurempi permittiivisyys on, sitä pienemmällä jännitteellä syntyy materiaaliin varauksia. Kun kaksi eri permittiviteetin omaavaa kappaletta on alle 1 nm päässä toisistaan, pienemmän permittiviteetin omaava materiaali kaappaa toiselta materiaalilta elektroneja termodynaamisen tasapainon säilyttämiseksi. Lähekkäin olevien kappaleiden välille ei tässä vaiheessa muodostu muutamia millivoltteja suurempaa jännitettä, koska niiden kapasitanssi on suuri. Jos kappaleet erotetaan nopeasti, eivät lainatut elektronit palaudukaan takaisin, vaan jäävät kappaleeseen, jonka permittiivisyys on matalampi. Kappaleiden etäisyyden kasvaessa kapasitanssi pienenee voimakkaasti, ja koska energiasisältö pysyy materiaalin sisällä vakiona, kasvaa varausjännite suureksi. Atomien vaikutusmekanismit ovat kuitenkin erittäin monimutkaisia ja kappaleen varautumiseen vaikuttaa monta eri tekijää, kuten materiaalin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet, epäpuhtaudet ja kosteus, sekä kappaleiden sijainti toisiinsa nähden. (Honkanen, 2012.)

3.2 Varauksen purkautuminen

Purkauksen on mahdollista tapahtua, kun sähköstaattinen varaus kappaleessa on tarpeeksi suuri ja sähkökenttään tuodaan ulkopuolinen kappale, joka on toiseen potentiaaliin varautunut tai varautumaton. Purkaus tapahtuu usein ilmassa, jonka läpilyöntilujuus on noin 3000V/mm, riippuen

suhteellisesta kosteudesta. Läpilyöntilujuudella tarkoitetaan, että varausjännite purkautuu, kun potentiaaliero kappaleiden välillä on 3000 voltia ja niiden etäisyys toisistaan 1 mm. Jos ilman suhteellinen kosteus on suuri, kaasussa on enemmän johtavia nestemolekyylejä. Mitä enemmän ilmassa on nestepartikkeleita, sitä helpommin varaukset voivat siirtyä. Kuivassa ilmassa varaukset eivät pääse siirtymään hyvin, joten purkauksia tapahtuu herkemmin jännite-erojen kasvaessa.

Purkaukset lajitellaan kolmeen ryhmään, jotka ovat kipinä-, korona- ja huiskupurkaus. Kipinäpurkaus tapahtuu, kun kaksi eri potentiaaleihin varautunutta kappaletta tuodaan toistensa lähelle ja jännite-ero ylittää ilman läpilyöntilujuuden. Kipinäpurkauksessa kappaleiden väliin muodostuu yksi kanava, josta kipinä kulkee. Purkaus on hyvin nopea ja korkeaenerginen. Koronapurkaus syntyy, kun varautuneen, profiililtaan terävän, kappaleen lähelle tuodaan nopeasti eri potentiaalissa oleva kappale. Purkaukskanavia syntyy useita, koska kappaleiden teräviin kulmiin syntyy sähkökentän tihtentymiä, joiden varaus ylittää ilman läpilyöntilujuuden. Energialtaan koronapurkaus on kipinäpurkausta matalampi. Huiskupurkaus puolestaan muodostuu tylpän muotoisen kappaleen lähestyessä varautunutta esinettä. Huiskupurkauksessa koko varaus ei aina purkaannu, vaan kappaleet jäävät eri potentiaaleihin. (VTT, 2012.)



Kuva 1. Suuritehoinen koronapurkaus. (Tresman, 2006).

4 ESD-HERKKYYS JA ELEKTRONIIKKA

Laitteiden vikaantumismalleilla ja testausmetodeilla valmistajat pyrkivät määrittämään herkkyystason elektronisille laitteille, jotka täytyy suojata ESD-purkauksia vastaan. Herkkyystasoja kuvaamaan on luotu kolme purkausmallia, jotka ovat purkaus kehosta (HBM), purkaus varautuneesta laitteesta (CDM) ja purkaus ulkoisesta objektista tai sen kautta (MM).

Ihmiset aiheuttavat liikkuessaan ja työskennellessään suurimman osan varauksista ja purkauksista työympäristössä. Ihmiskehosta laitteeseen tapahtuvat purkaukset ovat yleisimpiä tapauksia ja sellaisten simulointia varten luotiin HBM- eli Human Body Model- malli. Se on myös yleisin ja vanhin käytetty malli ESD-herkkien laitteiden ryhmittelyssä. Tämä malli kuvaa

varauksen purkautumisesta seisovan ihmisen sormen kärjestä. Alkujaan HBM-mallia käytettiin kaivoksissa käytettyjen räjähtävien kaasujen tutkimiseen ja se hyväksyttiin myös sotilaskäyttöön MIL-STD-883 Method 3015-standardin testauksessa. Vuonna 1998 sitä käytettiin ESD Associationin standardissa ESD-STM5.11998. (ESD association, 2012.)

Varautuneesta laitteesta aiheutuva purkaus voi olla yhtä tuhoisa, kuin ulkopuolisesta kohteesta laitteeseen. Komponentti voi varautua esimerkiksi liukuessaan ulos kuljetusputkesta. Kokonaiset laitteet ja varaosat taas voivat varautua pakkaus- ja purkutoimenpiteiden yhteydessä. Charged Device Model, eli CDM-malli kuvaa tällaisen purkauksen tapahtumaa.

Ulkoisen objektin aiheuttamaa purkausta kuvaamaan voidaan käyttää Machine Model- eli MM-mallia. MM-malli on HBM-mallin kaltainen, mutta tässä tapauksessa purkaus tapahtuu johtavan kappaleen, kuten työkalun välityksellä. MM-mallilla kuvataan käytännössä pahimman luokan HBM-purkausta. Työkalun tai mittapäiden kautta purkaus pääsee vaikuttamaan hyvin paikallisesti ja johtavasta esineestä lähteneenä sen purkautumisnopeus on hyvin suuri. ESD-töihin sopimattomat työkalut ovat pääsääntöisesti suojattu eristävällä kädensijalla sähköiskujen estämiseksi. Eristävillä materiaaleilla on kuitenkin negatiivinen ominaisuus ESD-suojauksen kannalta, sillä suuren kapasitanssin omaavina ne varautuvat herkästi ja purkavat varauksensa työkalun rautaosien kautta laitteeseen. (ESD association, 2004.)

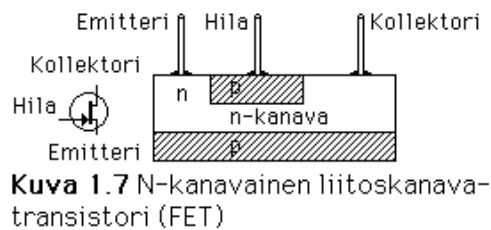
On olemassa vielä eräs vähemmän huomiota saanut purkausmalli, joka liittyy induktiovarautumiseen. Epäsuora purkaus tarkoittaa purkausta joka ei aiheudu kyseisen laitteen käsittelystä. Muovisten, täysin kosketussuojattujen, koteloiden kautta purkaus ei kipinämuodossa pääse kulkeutumaan elektroniikkaan. Sen sijaan muovikotelo ei suojaa lainkaan induktiovarautumiselta. Mikäli pöydän päällä on muovikoteloitu, ESD-herkkä, elektroniikkalaitte ja pöydällä tapahtuu tästä laitteesta riippumaton purkaus, voi purkauksen aikaansaama sähkömagneettinen pulssi indusoida muovikotelon läpi elektroniikkaan. Tällainen pulssi voi edelleen varautua muihin komponentteihin ja synnyttää purkauksia. (Alajoki & Smolander, 2001.)

4.1 Vaurion muodostuminen

ESD-purkaukset laitteen koteloon ovat yleisimpiä käytössä tapahtuvia purkauksia. Laitteen kannalta siitä ei usein ole haittaa, ellei purkaus osu ulkopuolisiin liittimiin tai muihin toimilaitteisiin, kuten valoihin tai painikkeisiin, joiden kautta purkausvirta voi päästä kulkemaan herkemmillä komponenteille. Kotelot ovat pääsääntöisesti maadoitettuja jo sähköturvallisuusstandardin ja konedirektiivin määrittelemänä, jolloin koteloon kohdistuvat purkaukset maadoittuvat turvallisesti käytössä olevan maadoitusjärjestelmän kautta hajottamatta laitteita. Tämä tosin edellyttää, että maadoitustoimenpiteet on tehty standardien mukaisesti.

ESD-herkän laitteen vaurioituminen voi tapahtua missä tahansa vaiheessa laitteen elinkaaren aikana valmistuksesta kenttähuoltoon. Useimmiten

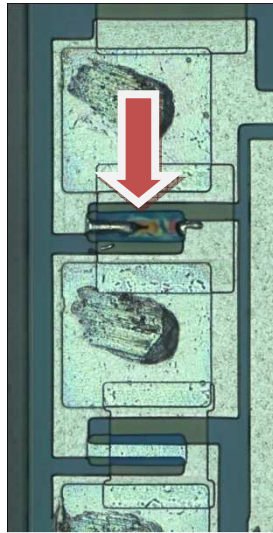
vauriot tapahtuvat, kun herkkää laitetta käsitellään väärällä tavalla tai väärissä tiloissa, ottamatta ESD-suojauksia huomioon. Vauriot voidaan jakaa karkeasti pysyviin vaurioihin ja piileviin vikoihin. Erityisesti puolijohdekomponentit ovat alttiina ESD:lle, mutta myös passiivikomponentit saattavat vaurioitua suurenergisistä purkauksista. Komponenttien hajoaminen tapahtuu yleensä kipinän ylittäessä puolijohdekomponentin eriste-, p-, tai n-, kerroksen aiheuttaen läpilyönnin. Purkauksesta voi aiheutua myös johdinmateriaalin sulamista tai höyrystymistä. Koska staattisen sähkön purkauksen pulssin nousuaika on hyvin lyhyt ja siihen liittyy suuria virtatiheyksiä, riittää pienikin varaus aiheuttamaan tuhoa komponenttien rajapinnoilla tai sisäisissä kerroksissa.



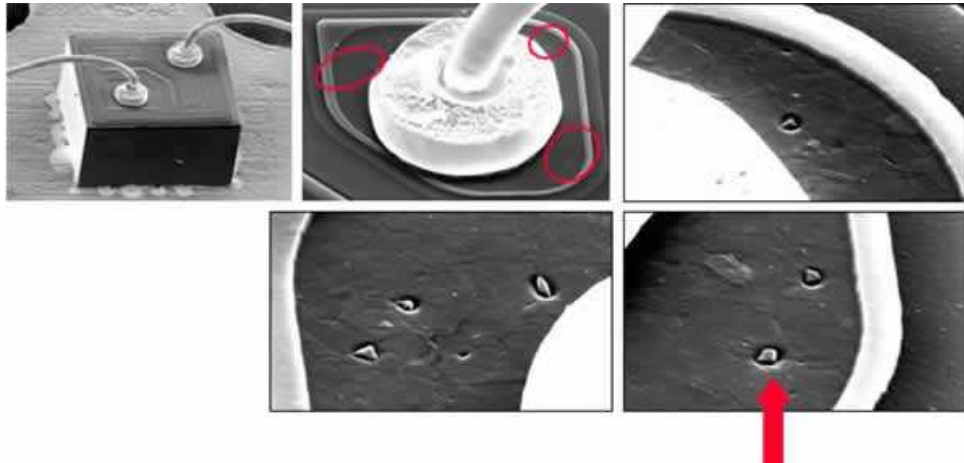
Kuva 2. FET-transistorin rakenne (Elektroniikan vikadiagnosi, Vanhanen)

Kun ESD-herkkä laite altistuu purkaukselle, se voi tuhoutua välittömästi siten, että sen toiminta häiriintyy pysyvästi tai loppuu kokonaan. Komponentin sisäinen jännite voi ylittää eristekerroksen jännitelujuuden, jolloin syntyy sisäinen läpilyönti. Purkaus voi aiheuttaa komponenteissa ja piirilevyllä metallin sulamista, liitosten hajoamista ja hapettumista. Laitteen mikropiiristö tuhoutuu kokonaan estäen laitteen normaalin toiminnan.

Purkaus voi aiheuttaa myös piileviä vikoja, jolloin näkyviä vaurioita ei välttämättä synny lainkaan, vaan vauriot ovat komponenttien sisällä. Purkausvirta synnyttää resistiivisiä häviöitä komponentissa. Näistä häviöistä johtuen komponentin osat saattavat lämmitä paikallisesti yli sallitun arvon. Erilaiset vuotovirrat, jännitekeston pieneneminen ja johtimien osittainen sulaminen ovat tyypillisiä piilevän vian tuntomerkkejä. Laitteen elektroniikan toiminta heikkenee hieman ja satunnaisia, hyvin epämääräisiä, vikoja saattaa ilmaantua. Laitteen tai komponentin elinikä laskee huomattavasti tällaisen purkauksen aikaan saamana. Se saattaa silti toimia useita viikkoja tai kuukausia. (ESD association, 2011.)



Kuva 3. ESD-purkauksen aiheuttama vaurio piirilevyssä. Kuvan alaosassa on samanlainen siirtotie, joka ei ole vaurioitunut. (Huang, 2012).



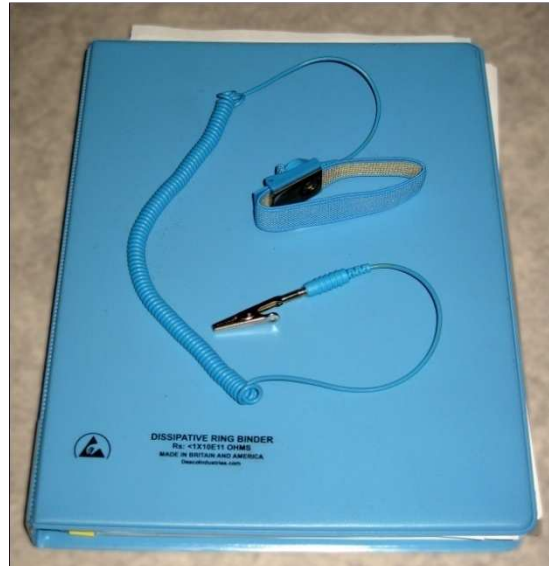
Kuva 4. Purkauksen aiheuttama vaurio bipolaaritransistorissa. Suurennettuna kohdat, joissa purkaus on tuhonnut komponentin kerroksia. (Tarr, 2012).

5 ESD-SUOJAUTUMINEN ELEKTRONIikka-ALALLA

ESD-suojaus on huomioitava laitteen käytön kannalta koko toimintaketjun osalta kuljetuksessa, varastoinnissa, käsittelyssä, asennuksessa ja huollossa. Laitteen laatuvaatimukset eivät välttämättä enää täyty, jos jossain kohdassa ketjussa on puutteita suojauksessa. Staattisen sähkön uhat on otettava huomioon erityisesti uutta teknologiaa sisältävien tuotteiden osalta. Niissä käytetään paljon staattiselle sähkölle herkkää elektroniikkaa, jolla esiintyy merkittäviä vaurioitumisriskejä erityisesti huolto- ja logistiikkavaiheiden aikana.

Suojaustoimenpiteillä pyritään välttämään purkauksia varautuneesta, johtavasta kohteesta ESD-herkkään laitteeseen. Tämä tapahtuu kytkemällä kaikki ympäristössä olevat johtavat pinnat, esineet ja henkilöt tunnettuun tai keinotekoiseen maapotentiaaliin. Näin saadaan potentiaalitasapaino

esineiden, pintojen ja henkilöiden välille, eikä varauksia pääse syntymään. Tavoitteena on myös estää varautuneesta, ESD-herkstä laitteesta syntyvät purkaukset. Ympäristössä voi olla myös eristäviä esineitä, jotka eivät menetä sähköstaattista varaustaan maapotentiaaliin kytkettynä. Mikäli eristemateriaalia on mahdotonta poistaa tai se kuuluu kiinteästi laitteeseen, kuten piirilevyn materiaalit, on harkittava ionisointijärjestelmiä, jotka neutralisoivat tällaisten eristeiden varauksia.



Kuva 5. Maadoitusranneke ja varauksia poistavasta materiaalista valmistettu kansio (Katavisto, 2012).

Vuonna 1983 Lockheed Missile and Space yhtiö aloitti laajat selvitykset kattavien suojaustoimenpiteiden vaikutuksista hävikkiin. Selvityksessä todettiin, että hallintaohjelman käyttöönoton jälkeen vuosittaiset säästöt hävikin suhteen olivat 2 miljoonaa dollaria. Myös asiakkailta palautuneiden tuotteiden määrä väheni huomattavasti. (Downing, 1983.)

Western Electric North Andover Works yhtiö tutki niin ikään vuonna 1983 ESD-suojauksen tehokkuutta hävikin vähentämiseksi. Puutteet kartoitettiin ja suojaustoimia parannettiin hankkimalla maadoitusrannekkeita ja ESD-suojattuja pakkausmateriaaleja. Investoinnin tuotoksi laskettiin 950 %. (Dangelmayer, 1983.)

Western Electric Denver Works yhtiö otti selvää suojauksen puutteista viidessä tärkeässä tuotannon vaiheessa ja otti käyttöön ESD Associationin sen aikaiset ESD-hallintaohjeet. Dokumentoitu tuoton nousu oli 10,73 % ja sijoituksen tuoton arvioitiin olevan jopa 900-2300 %. Investoinnit suunnattiin ilmaston kehittämiseen, koska Coloradon erittäin kuiva ilmasto edesauttaa varausten purkautumista. (McFarland, 1981.)

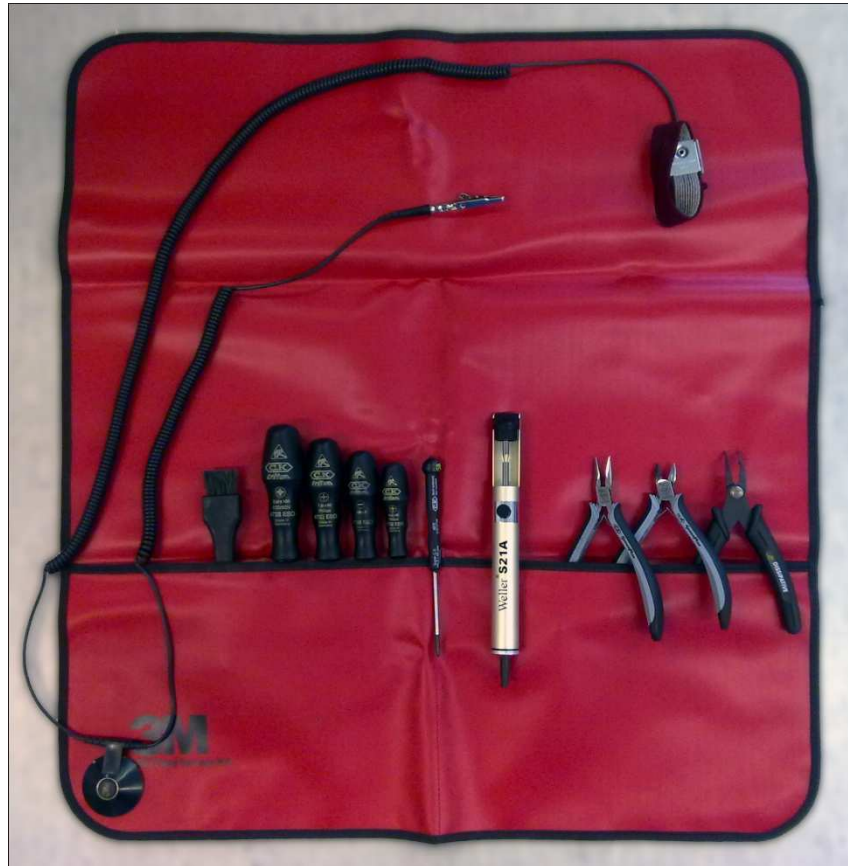
Tunnistamalla ESD:n aiheuttamat uhat toiminnan alkuvaiheessa ja investoimalla tarpeen mukaisesti suojausmenetelmiin, voidaan parantaa merkittävästi yrityksen tuottamien palveluiden tai tuotteiden laatua. Samalla ESD:n vioittamien komponenttien aiheuttama hävikki saadaan minimoitua. Nykyään vikaantumisluvut ovat hyvin pieniä verrattuna 1980-luvun

aikaisiin lukuihin, koska vaadittavat herkkyystasot tiedostetaan ja suojaus-toimiin panostetaan varhaisessa vaiheessa. Useiden mikropiirien ja puoli-johdekomponenttien valmistustekniikka on silti säilynyt lähes samanlaisena. Suurimpien puolijohdevalmistajien prosessitilat ovat korkean luokituk-sen puhdistiloja, joissa toimivan henkilöstön varustukseen kuuluu mm. vain silmät paljaaksi jättävä suojahaalari. Mikropiirien arkkitehtuurin ke-hityksestä aiheutuva johdinleveyden kapeneminen ja ladontatiheyden kas-vu tuottavat valmistajille paineita mahduttaa piireihin ESD-purkauksilta suojaavia komponentteja. Valmistustekniikoiden kehittyessä pystytään valmistamaan yhä pienempiä komponentteja ja mikropiirejä, joiden myötä myös yksittäisten komponenttien ladontatiheys piirilevyllä kasvaa. Koska purkauksen aiheuttama kipinä on tietyllä jännitteellä lähes vakion suurui-nen, vaikuttaa se pieneneviin komponentteihin yhä tuhoisammin. Kun komponentteja ladotaan yhä tiheämpään, kulkureitit niiden välillä lyhene-vät, jolloin kipinä pääsee purkautuessaan vahingoittamaan kerralla useam-pia komponentteja. Ladontatiheyden kasvu aiheuttaa myös johdinleveyden ja eristevälien pienenemistä, mikä lisää ESD-suojauksen tarvetta entises-tään. Esimerkiksi piirivalmistaja Intel valmistaa uusimpia prosessorejaan 32 nm:n viivanleveydellä ja pienemmän arkkitehtuurin komponentit ovat jo suunnitteilla.



Kuva 6. Pakkaus- ja säilytysmateriaaleja. 1. Muistipiirin pakkausko-telo, 2. Metalloitu pussi, 3. Varauksia poistava pahvikotelo, 4. Heikosti varautuva pussi, 5. Heikosti varautuva kuplamuovipussi, 6. Varauksia poistava solumuovi, 7. Harvinaisempi ratkaisu varauksia poistavasta pussista (Katavisto, 2012).

Suojauskomponenttien vähentäminen valmistajien toimesta siirtää vastuuta tuotteen laadun säilymisestä eteenpäin toimintaketjussa. Kaikkien ESD-herkkiä laitteita käsittelevien tulisi osata tunnistaa mahdolliset vaaran aiheuttajat entistä tehokkaammin. Standardien asettamat suojaustasot ovat käyttäjille helposti saavutettavissa pienilläkin investoinneilla ja henkilökunnan lisäkoulutuksella.



Kuva 7. Maadoitettava varauksia poistava matto ja varautumattomia työkaluja (Katavisto, 2012).

5.1 Standardointi ja laadunhallinta

ESD-hallintaohjelmat ja niihin liittyvät standardit luotiin 1980-luvulla, jolloin puolijohdeteollisuuden ala koki nousukauttaan. Puolijohdekomponentit alkoivat syrjäyttää yhä nopeammin elektroniputkitekniikkaa ja ensimmäiset miljoona transistoria sisältävät mikropiirit kehitettiin. 1980-luvulla esiteltiin myös ensi kerran usean gigahertsin taajuudella toimivat transistorit. Puolijohdekomponenttien havaittiin olevan erityisen herkkiä ESD-purkauksille. Mikropiirivalmistajien hävikki tuotannon aikana aiheutuneista vioittumisista huomattiin suureksi ja yhtiöt alkoivat ottaa käyttöönsä ESD Associationin suosittelemia hallintaohjelmia ESD-purkauksia vastaan. ESD Association kehitti vuonna 1999 ensimmäisen kaupallisen ANSI/ESD S20.20 standardin korvaamaan 1995 vuodelta peräisin olevan MIL-STD 1686 sotilasstandardin USA:n puolustusministeriön tarpeisiin vastaten. Tämän uuden standardin korvasi vuonna 2001 IEC-standardisoimisliiton IEC 61340-sarja. 61340-sarjasta on tehty suomalaiset käännökset Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry:n toimesta vuonna 2001 ja ne uudistettiin viimeksi vuonna 2010. ESD Association ja puolijohdepiirien standardisoimiseen keskittynyt JEDEC-yhtiö tutkivat yhteistyössä erilaisia purkautumismalleja ja julkaisivat edellisen ESD-suojaukseen liittyvän tuotoksensa HBM-mallin testauksista vuonna 2011.

Laitevalmistajia velvoittaa EMC-direktiivi 2004/108/EY, jolla taataan, ettei laitteesta aiheudu sähkömagneettisia häiriöitä, eikä laite ole itse koh-

tuuttoman alttiina sellaisille. Elektroniselta laitteelta edellytetään sähkömagneettista yhteensopivuutta, jotta se ei lähettäisi ympäristöönsä häiriöitä ja sietäisi muualta tulleita EMC-haittoja. Suojausvaatimuksilla varmistetaan, ettei aiheutettu häiriö ylitä tasoa, jonka yllä radio- ja telelaitteet tai muut laitteistot eivät toimi tarkoitetulla tavalla. Laitteiston on myös oltava käytettävissä toimintaympäristössään odotettavissa olevan sähkömagneettisen häiriötason rajoissa. ESD on osa sähkömagneettisten häiriöiden haittoista ja siksi laitevalmistajien on sisällytettävä myös tietyn tasoisen ESD-suojaus, mikäli he noudattavat EMC-direktiiviä. (Tukes, 2004.)

Kelpoisuuden toteamiseksi ESD-standardeissa määritellään määrävälein tehtävät tarkastusmittaukset. Mittaukset suoritetaan EPA-alueilla ja niiden tavoitteena on varmistaa tilojen suojausmekanismien kunto. Mittaukset koostuvat sarjasta erilaisia virranvastustuskykyyn perustuvista mittauksista. Toimenpiteitä varten on omat mittalaitteensa, joiden avulla testaamisen voi suorittaa laitteiden käyttöön opastettu henkilö. Mittaukset eivät ole sähköturvallisuusstandardin alaisia, joten erityisiä pätevyyskysymyksiä ei mittajalta vaadita.



Kuva 8. Megger, eristysvastumittari resistanssimittauksiin. Kuvassa näkyy myös erilaisia mittauselektrodeja ja -johtoja. (Katavisto, 2012).



Kuva 9. Trek, elektrostaattinen jännitemittari. Mittarilla voidaan mitata mm. kehoon keräytyneitä varausjännitteitä. Kuvassa myös mittapäänä toimiva kävelyadapteri. (Katavisto, 2012).

5.2 Tilat ja varusteet

Jotta suojautuminen olisi ylipäättään mahdollista, on elektroniikan parissa työskentelevän henkilöstön varusteiden ja työkalujen oltava asianmukaisia. ESD-herkän laitteen korjausta ja huoltoa varten on olemassa omanlaisensa työkalut. Käsityökalut, kuten ruuvivääntimet ja pihdit, sisältävät usein jonkinlaista polymeeriseosta tartuntapinnoilla ja seos on lähes poikkeuksetta eristävää materiaalia, johon voi syntyä varauksia. Myös tavalliset työvaatteet ovat keinokuitua, esimerkiksi polyesteriä, joka myös toimii varausten säilyttäjänä.

Standardeissa määritellään myös vaatimukset sähköstaattisilta purkauksilta suojatulle tilalle. Tällainen EPA-alueeksi kutsuttu tila on varta vasten ESD-herkkää materiaalia varten suunniteltu alue. EPA tulee sanoista ESD protected area, eli ESD suojattu alue. Oikein suunnitellulla EPA-alueella ESD-herkkien laitteiden käsittely on turvallista, mutta henkilöstön on silti tunnettava EPA-alueeseen liittyvät vaatimukset. EPA-alueella on minimoitu kaikkien eristävien materiaalien määrä, jolloin kaikki materiaali työkaluista vaatetukseen on puolijohtavaa ja kytketty maapotentiaaliin. (SFS, 2010.)

Tärkein henkilökohtainen suojavaruste on maadoitusranneke. Ranneke koostuu ranteen ympärille kiinnitettävästä johtavasta hihnasta ja johdosta, joka kytkee käyttäjän maapotentiaaliin. Maapotentiaalin ja ranteen välille tulisi jäädä alle 35 M Ω resistanssi, joka takaa potentiaalin tasauksen, mutta toimii myös tarvittaessa suojana sähköiskua vastaan. Rannekeosassa on nimellisarvoltaan 1 M Ω vastus, joka kosketettaessa jännitteistä johdinta rajoittaa virtaa ja pienentää sähköiskun vaaraa.

ESD-herkän laitteiston kanssa työskenteleville on suunniteltu omat työkalut ja varusteet, joissa ei ole eristäviä materiaaleja vaan ne ovat joko varusta poistavia, heikosti varautuvia tai johtavia. Eristäviä materiaaleja sisältävien työkalujen käyttö EPA-alueella ei ole suositeltavaa. Johtavien osien

jäännösvaraus on purettava työkalusta vastuksen läpi, mutta pienten käsi-työkalujen jäännösvaraus poistuu itsestään myös käyttäjän kautta.

Vaatetus vaikuttaa suurelta osin suojauksen tasoon. EPA-alueella työskentelyä varten käyttäjän päällimmäisen vaatekerroksen on oltava maadoitettu ja kosketuksessa ihoon. Ihokosketus on helppo toteuttaa rannekkeen kautta. Erityisesti keinokuituiset vaatteet varautuvat hyvin herkästi ja tällaisten käyttöä tulisi EPA-alueella ehdottomasti välttää. ESD-suojatuissa vaatteissa kangaspunoksien sekaan on lisätty metallipunoksia, jotka mahdollistavat vaatekappaleen maadoittumisen.

Jalkineet, jotka soveltuvat EPA-alueelle johtavat staattista sähköä pohjallisen läpi. Mikäli henkilö joutuu siirtymään pidempiä matkoja paikasta toiseen kävellen, ei rannekkeen ja johtojen käyttäminen ole mahdollista. Tällöin jalkineet toimivat ensisijaisena suojausmenetelmänä. Istuma-asennossa jalkineet eivät kuitenkaan luo tarpeeksi luotettavaa maakontaktia rannekkeeseen verrattuna. ESD-jalkineet toimivat parhaiten johtavaa lattiatasoa vasten ja jalkineiden pohjien tulee olla ehdottoman puhtaat. Samoja jalkineita ei suositella käytettävän EPA-alueella ja sen ulkopuolella juuri likaantumisen vuoksi.

EPA-alue voi olla vain yksittäinen työpiste tai vaikka usean tuhannen neliömetrin kokoinen korjaamohalli. Tällaisen alueen kalustaminen ja rakentaminen asettaa muutamia rajoituksia: ESD-lattian käyttö on suositeltavaa, jotta jalkineiden kautta tapahtuva maadoitus olisi mahdollisimman tehokasta. Myös työskentelypintojen ja varastotasojen tulee olla maadoitettuja. On tärkeää, että tilassa käytetään heikosti varautuvia ja maadoitettuja istuimia. Istuimia ei pidä käyttää ensisijaisena maadoituskeinona, mutta poikkeustilanteissa ne saattavat tarjota ainoan resistiivisen reitin maapotentiaaliin. Mikäli jostain syystä maadoitusta ei voida johonkin tilan osaan rakentaa, on harkittava varausten neutralointiin ionisaattoria. Tällaisia tapauksia voi esiintyä erityisesti automatisoiduissa kokoonpanolinjoissa. Ionisaattori tuottaa positiivisia ja negatiivisia ioneja, joiden avulla mahdolliset varaukset purkautuvat ilmaan.

EPA-alueilla on oltava maadoituspiste ja referenssin omaava maadoitusjärjestelmä. Sähköjärjestelmän suojamaadoitus soveltuu käytettäväksi tähän tarkoitukseen. Maaliityntäpiste tarvitaan, jotta EPA-alueella asioivat henkilöt voivat maadoittua rannekkeidensa kautta. Maaliityntäpisteen liitin ei saisi olla yhteensopiva minkään muun sähköstandardin liittimen kanssa, ettei ranneketta vahingossa yhdistetä jännitteeseen liittimeen. Rannekkeissa onkin usein käytössä neppari-tyyppinen liitántäratkaisu, joka myös irta-aa helposti 5-20 N voimasta.

Vaikka EPA-alue olisikin rakennettu SFS-EN 61340-5-1 standardin mukaisesti, se ei takaa, että alue on täysin turvallinen työskentelyyn. Kaikkia viranomaismääräyksiä ja lakeja tulee silti noudattaa. Standardi on kirjoitettu siten, että EPA-alueesta ei koidu lisävahinkoa henkilöstölle. Suurimmat virta-arvot EPA-alueelle ovat kuitenkin paljon pienempiä, kuin sähköturvallisuusstandardissa määritetään. Turvallisuuden takaamiseksi myös työohjeiden noudattaminen on tärkeää. (SFS, 2010.)

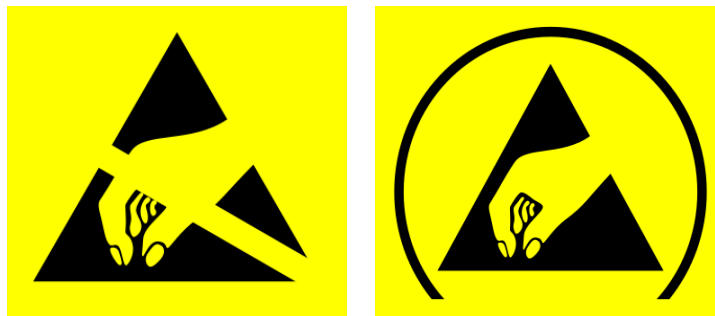
5.3 Merkinntät

Tunnistamista varten ESD-herkät laitteet ja komponentit on pyritty merkitsemään varoitustarroilla tai -teipeillä. Herkkyydestä varoittavien merkintöiden käyttö on lisääntynyt 2000-luvulla, mutta aikaisemmin merkintöjä oli varsin vähän. Ennen 2000-lukua valmistettujen laitteiden herkkyyden tunnistaminen on hyvin usein valmistajan laitekohtaisten ohjekirjojen varassa.

Herkkien laitteiden lisäksi merkintöjä on otettu käyttöön myös ESD-suojausvarusteissa. Merkistä tunnistaa esimerkiksi työkalun tai suojajalkineen, joka soveltuu ESD-herkkien osien käsittelyyn ja vietäväksi EPA-alueelle. Usein merkintä sisältää vielä tarkentavan kirjaimen, jolla kerrotaan onko tuote varauksia poistavaa tai huonosti varautuvaa materiaalia.

EPA-alueesta varoittavat merkinnät ilmaisevat, että alueelle ei saa tulla ilman asianmukaista varustusta. Merkintöjä käytetään myös pakkauksissa kertomassa siitä, että sisempää pakkausta ei saa avata EPA-alueen ulkopuolella.

ESD-maadoituksen sijainnista ilmoitetaan erillisellä merkinnällä, joka helpottaa maapisteen löytämistä rannekkeelle.



Kuva 10. Vasemmalla ESD-herkästä tuotteesta varoittava merkintä ja oikealla merkintä, joka kertoo tuotteen olevan turvallinen ESD-herkille osille (Perel Oy, 2012).



Kuva 11. Pakkausmerkintä, joka esiintyy yleensä uloimmassa pakkauskerroksessa (Perel Oy, 2012).

6 ESD-SUOJAUS PUOLUSTUSVOIMISSA

Vuonna 2004 Puolustusvoimien Elektroniikkalaitos ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus toteuttivat yhteistyössä esitutkimusprojektin nimeltä Elektroniikkatuotteiden riskien hallinta. Esitutkimuksessa kartoitettiin puolustusvoimien hallussa olevaan elektroniikkamateriaaliin ja elektroniisiin järjestelmiin kohdistuvia riskejä. Kartoituksesta havaittiin, että yksi huomattavan suuri riskien aiheuttaja on staattisen sähköön aikaansaamat purkaukset eli ESD. Sen aikaiset ESD-suojaustoimenpiteet puolustusvoimissa todettiin puutteellisiksi, eikä käytetyn elektroniikkamateriaalin vikaantumisherkkyydestä löydetty riittävää tietoa. Esitutkimuksen lopputuloksesta voitiin todeta, että merkittävä osa tulevaisuudessa hankittavasta Puolustusvoimien materiaalista sisältää modernia elektroniikkaa. Osa tästä elektroniikasta luokitellaan erityisen ESD-herkäksi, mikä käytännössä tarkoittaa elektroniikan vaurioitumisriskin kasvua logistiikan ja käsittelyn aikana.

Tämän esitutkimusprojektin jälkeen, vuonna 2007, aloitettiin Elektroniikkalaitoksen ja Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen yhteistyönä ESD-jatkohanke, jonka tavoitteena oli kehittää toimintatapoja ja työkaluja, joita voidaan hyödyntää elektroniikkamateriaalin ja -järjestelmien staattisen sähköön hallintaohjelman luomiseen, ylläpitämiseen ja kehittämiseen puolustusvoimissa. Jatkohankkeessa havaittiin, että määrittämällä riittävä ESD-suojautaso eri toimintaympäristöissä parannetaan tuotteiden toimintavarmuutta ja vähennetään elektroniikan vaurioitumisesta ja ESD -suojausratkaisuista aiheutuvia kustannuksia. Hankkeen pohjalta ESD-suojaustoimenpiteet otettiin osaksi varuskuntakorjaamoilla tehtäviä katselmoitteja.

6.1 Parolan Korjaamon suojausmenetelmät

Parolan Korjaamolla suoritettavia elektroniikkatöitä ovat muun muassa piirikorttitason korjaukset, sekä varaosamoduulien ja passiivikomponenttien vaihto. Näitä töitä suoritetaan korjaamon kolmessa osastossa, radio-korjaamolla, puhelinkorjaamolla ja ilmatorjuntajärjestelmäosastossa. Elektroniikkatyöt jakautuvat näille osastoille epätasaisesti eivätkä kaikki työt vaadi ESD-uhkien huomioimista. Logistiikkaosastolla tehtävä tavaran lähetys ja vastaanottotyöt vaativat myös vähintään uhkien tiedostamisen. Korjaamopalveluiden korkea laatu vähentää laitteiden toimintahäiriöistä johtuvien keskeytysten määrää ja niistä aiheutuneita viivästyksiä varusmieskoulutuksessa.

Sisäisten osastojen kesken tehdyt suojaustoimenpiteet vaihtelevat ja niitä on päivitetty tarpeen lisääntyessä. Tiloihin on asennettu staattista sähköä johtavia lattiapintoja ja ESD on huomioitu myös työpöytien rakentamisessa. Tiloissa on myös erillisiä EPA-alueita. Henkilökunnalla on käytettävissä varauksia poistavia takkeja ja muita varusteita. Maadoitusrannekkeiden ja jalkineiden kunnon tarkastamiseen on hankittu tarkastuslaitteisto. Kokonaisvaltaista ESD-hallintaohjelmaa ei korjaamokohtaisesti ole kuiten-

kaan luotu. Herkimpien komponenttien käsittelyssä on pyritty noudattamaan SFS-61340 standardisarjan ohjeistuksia.

Työpinnoille ja lattioille on alettu tehdä standardin 61340-5-1 ohjeistamia mittauksia vuonna 2011. Käytettävissä olevat mittalaitteet ovat kehonvaurtumismittari ja eristysvastusmittari. Eristysvastusmittarilla mitataan punnukusten avulla resistanssia maapotentiaalın ja tarkasteltavan pinnan välillä. Punnukset ovat 61340-5-1 standardin määrittämät mittapäät, jotka takaavat riittävän kontaktin resistanssin mittaamiseksi. Mittaustulosten tarkastelussa on ollut epäselvyyksiä ja oikeat raja-arvot on selvitettävä. Suurimpana sallittuna resistanssina työpinnan ja maatason välillä on pidetty 100M Ω , joka on 10% SFS 61340-5-1 standardin sallimasta 1G Ω arvosta.



Kuva 12. Oikein pakattu piirikortti Parolan korjaamolla. Metalloitu pussi on suljettu tarralla ja ulkopakkauksessa on herkästä tuotteesta varoittava tarra. (Katavisto, 2012).

6.1.1 Radiokorjaamo

Radiokorjaamolla tehdään monenlaatuista huolto- ja korjaustyötä kenttäradiolaitteistoille. Radioille suoritetaan määräaikaista mittaustoimenpiteitä vastaanottimien herkkyydestä, taajuusvasteesta ja lähettimien toiminnasta. Monet radiot on valmistettu siten, että ne koostuvat useista vaihdettavista moduuleista. Korjaustyöt tapahtuvat näitä moduuleita vaihtamalla ja vianpaikannuksessa niille voidaan tehdä monia mittauksia testiasemissa. Radiokorjaamon henkilöstö tekee töitä myös erilaisten järjestelmien viestintälaitteisiin ja siirtolinjoihin. Järjestelmiin kohdistuvat huoltotyöt tehdään usein paikan päällä, eikä töitä ole mahdollista siirtää korjaamon tiloihin. Radiolaitteistoihin kuuluu myös passiivisia laitteita, kuten kuulopuhelimia ja antennejä, jotka eivät ole erityisen herkkiä ESD-purkauksille. Yhteensä noin 90 % radiokorjaamon töistä on ESD-suojaukselta vaativia ja loppuun 10 % kuuluvat kuulopuhelimien ja muiden passiivikomponenttien korjaukset.

Laitteet altistuvat useimmiten purkauksille, kun moduulit poistetaan tai asennetaan takaisin. Yksittäiset komponentit voivat näissä toimenpiteissä varautua induktiovarautumisen vaikutuksesta tai väärästä käsittelystä ja purkaukset puolestaan tapahtuvat moduulia käsiteltäessä tai mittalaitteen johtoja kiinnitettäessä. Vääränlaisella käsittelyllä ja väärillä varusteilla kehosta voi kohdistua HBM-purkaus moduuleihin. Mittalaitteita kiinnitettäessä varautunut laite voi aiheuttaa purkauksen mittalaitteen suuntaan CDM-mallin mukaisesti. Osien käsittelyä tapahtuu varaosien ja laitteiden toimittamisessa ja vastaanotossa. Rikkinäiset ja huollettavat laitteet haetaan varaston hyllyltä tai suoraan järjestelmästä radiokorjaamolle. Korjatut laitteet toimitetaan samaa reittiä takaisin käyttöön. Osien pakkaamisen ja pakkausten purkaminen tulee tapahtua ESD huomioiden, sillä vääränlaisten pakkausmateriaalien kautta voi syntyä helposti erilaisia purkauksia.

Radiokorjaamolle on korjaamon rakennusvaiheen jälkeen asennettu ESD-lattiapinnoite, jonka tyypistä ei ole tietoa. Lattiapintaa on työtilan pinta-alasta noin 25 %. Tämä alue on EPA-aluetta ja siellä sijaitsee henkilöstön työpisteet, joilla radioiden ja laitteiden korjaaminen suoritetaan. Lattiapinnoitetta on vahattu kerran vuodessa erillisellä varauksia estävällä vahalla. Työpisteillä on maadoitusliitännät ranneketta varten ja työpinnolla dissiipoivasta materiaalista valmistetut matot, joiden päällä ESD-herkkiä osia voidaan käsitellä. EPA-alueella on säilytyshyllyjä, joiden hyllylevyt on maadoitettu. Henkilöstön varusteisiin kuuluu ESD-kengät ja -takit, sekä maadoitusrannekkeet.

6.1.2 Puhelinkorjaamo

Puhelinkorjaamon huoltotyöt keskittyvät yhteysviestintälaitteisiin, kenttäpuheliniiin ja sanomalaitteisiin. Puhelinlaitteiston elektroniikka on samankaltaista kuin radioissa käytetty tekniikka. Suurimpana erona on se, että puhelien kautta lähetetyt viestit kulkevat siirtolinjaa pitkin, kun taas radiolla viesti lähetetään langattomasti. Puhelien korjaustyöt kohdistuvat usein ESD-herkkään elektroniikkaan. Varsinkin yhteysviestintälaitteistoissa on herkästi vikaantuvia komponentteja. Puhelinkorjaamon tehdään myös järjestelmien huoltotöitä, jotka on mahdollista suorittaa vain laitteen luona. Noin 75 % puhelinkorjaamon töistä tehdään ESD-herkälle kalustolle.

Puhelinlaitteistojen valmistajat eivät ole ilmoittaneet minkäänlaisia herkkyystasoja laitteilleen. Ainoastaan ESD-herkstä komponentista varoittavat tarrat ja merkit toimivat tunnisteena herkimille osille. Tekniikaltaan puhelimissa on radioissa käytettyjen vahvistimien kaltaisia piirejä, joten voidaan olettaa niiden olevan yhtä herkkiä radioiden kanssa.

Puhelinkorjaamolla ESD-lattiapinnoitetta on tilan päädyssä noin 25 % koko tilan pinta-alasta ja se kattaa koko EPA-alueen. Puhelinkorjaamon lattiaa on myös vahattu erillisellä vahalla, joka tehostaa varauksia poistavaa vaikutusta. Työpinnolla on varauksia poistavat matot, joiden maadoitus tapahtuu työpöydän maadoituksen kautta. Henkilökohtaisia varusteita ovat esimerkiksi ESD-suojatakit ja -jalkineet. ESD-työkaluja on käytössä rajallisesti.

6.1.3 Ilmatorjuntajärjestelmäosasto

Ilmatorjuntajärjestelmäosaston toimialueeseen kuuluu ilmatorjunnan ohjus- ja tutkajärjestelmiä. Osaston työtehtäviin kuuluu näiden järjestelmien määräaikaishuollot, sekä viankorjaukset. Järjestelmiin liittyvät työt ovat hyvin monipuolisia, eikä niissä aina tarvitse huomioida ESD-suojauksia. Herkimmät laitteet huollon ESD:n kannalta ovat erityisesti tutka- ja tietokonelaitteistot. Tutka- ja tietokonelaitteistot sisältävät useita vaihdettavia piirikortteja. Tutkalaitteistojen vahvistinpiirit ja taajuudenmuodostusyksiköt ovat kaikkein herkimpiä staattisen sähköön purkauksille. Monissa huolto-ohjeissa mainitaan ESD ja tarvittavat toimenpiteet purkauksen estämiseksi. Ohjeissa viitataan usein MOSFET-transistoreihin ja EPROM-piireihin, jotka mainitaan herkimpinä komponentteina. Ohjeissa ilmoitettu herkkyystaso on 100-300V, mutta purkausmallia ei kerrota. Osaston töistä noin 10 % sijoittuu ESD-herkän elektroniikan alueelle.

ITJÄRJOS:n elektroniikkahuoltotilassa on yksi työpiste, jolle on asennettu jälkikäteen varauksia poistava lattiapinta. Kolmella muulla työpisteellä on kuitenkin maadoitettavia ESD-mattoja pöytäpinnoilla. Henkilöstö käyttää pääsääntöisesti ESD-jalkineita ja rannekkeita. Osaston työtehtävät, joissa ESD-suojaus tulisi huomioida, sijoittuvat useimmiten järjestelmien laitetiloihin. Näitä töitä varten on käytössä siirrettäviä ESD-mattoja ja eristämätömiä työkaluja.

Huollettavat järjestelmät tuodaan käyttäjien toimesta korjaamolle niille tarkoitetuille huoltopaikoilleen. Huoltopaikat sijaitsevat korjaamon huoltohallissa, jossa tehdään mekaanista huoltotyötä myös monille panssariajoneuvoille. Huoltajat tekevät työnsä järjestelmien läheisyydessä ja mikäli viallisen yksikön korjaus on mahdollista tehdä elektroniikkahuoltotilassa, yksikkö irrotetaan ja siirretään toiseen työpisteeseen. Hyvin usein työt tehdään kuitenkin järjestelmien laitetiloissa.

Tutkalaitteistot koostuvat usein vaihtelevasta määrästä piirikortteja, joiden tehtäviä ovat esimerkiksi taajuuksien muodostaminen, signaalin käsittely ja videosignaalin luominen näyttölaitteelle. Huollettavat laitteistot sisältävät poikkeuksetta erilaisia piirikortteja tai moduuleita, joiden määrä on sitä suurempi, mitä vanhempi kyseinen laite on. Vanhimmissa tutkissa kortteja on useita kymmeniä, kun uusimmissa voi olla vain alle 10 korttia. Tutkissa on myös suuritehoisen ja -taajuisen sähkömagneettisen kentän lähettämiseen ja vastaanottamiseen tarvittavia mikroaaltokomponentteja. Mikroaaltokomponentit on aina tarkoin sovitettu toimimaan toistensa kanssa siten, ettei niiden välille muodostu tehohäviöitä. Sopiva ESD-purkaus johonkin mikroaaltokomponenttiin voi aiheuttaa osittaisen tuhoutumisen, jolloin komponentti vielä toimii, mutta aiheuttaa epäsovitusta siirtolinjaan, jolloin tutkalaitteiston toiminta ei ole vakaata. Tutkalaitteistojen osalta työt Parolan korjaamolla rajoittuvat kuitenkin lähes kokonaan piirikorttitasolle, koska mikroaaltoyksiköitä ei tarvitse huoltaa usein. Mikroaaltoyksiköt sijaitsevat usein piirikorttien läheisyydessä, joten niiden herkkyys tulee tiedostaa.

7 VIKAANTUMISHERKKYYDEN MÄÄRITTÄMINEN

Parolan korjaamolla on tehty joitakin toimenpiteitä ESD-suojauksen parantamiseksi, mutta riittävän tason saavuttamiseksi on vielä tehtävää. Jotta tiedettäisiin millainen suojaustaso halutaan pitää yllä, on ensin pyrittävä kartoittamaan herkkimmät huollettavat laitteet ja komponentit, sekä niiden vaatimat suojaustoimenpiteet.

Elektroniikassa yleisesti vanhemmat komponentit kestävät paremmin ESD-purkauksia. Tämä johtuu siitä, että komponenttien ladontatiheys on pienempi ja johdinpinnat ovat suurempia. Komponentin koko ei kuitenkaan aina kerro sen herkkyydestä, ja myös passiivikomponentit voivat tuhoutua purkauksista.

Herkkyksien määrittämistä varten tutkittiin laitteiden valmistajien luovuttamia piirikaavioita, joista yritettiin löytää herkempiä komponentteja. Selvitystyössä tukeuduttiin myös huolto-ohjeisiin ja usean elektroniikka-alan ammattilaisen näkemyksiin. Radio- ja puhelinlaitteiden valmistustekniikoita ja käytettyjä komponentteja vertailemalla päästiin yhteisymmärrykseen herkkimmästä laitteesta. Komponenttitasolla tarkastelu oli monimutkaisempaa, koska kalusto on vanhaa ja komponenttien datalehdistä ei löytynyt mainintoja herkkyydestä.

Radiokorjaamolla herkkimmät huollettavat laitteet ovat uudet, digitaaliset, kenttäradiot, kuten LV 341. Vanhempaan kalustoon verrattuna LV 341 sisältää modernin mikroprosessorin, tehokkaan vahvistimen ja edistyksellisen signaalinkäsittely-yksikön. Nykyaikaisten kenttäradioiden signaalin käsittely tapahtuu aikaisempiin malleihin verrattuna digitaalisesti. Digitaalipiirit ovat yleisesti paljon herkempiä jännitteiden muutoksista johtuville häiriöille, kuin analogiset piirit. Digitaalisessa signaalinkäsittelyssä taajuuksien muutokset ovat hyvin nopeita ja jännitteet pieniä. Komponentit, jotka osallistuvat näiden heikkotehoisten signaalien havaitsemiseen ovat erityisen herkkiä ylijännitteelle ja täten myös ESD-purkauksille. Tällaisia komponentteja ovat muun muassa MOSFET-transistorit. Transistoreiden datalehdissä ei ollut mainintoja herkkyydestä ja vanhempien transistoreiden datalehtiä ei ollut enää saatavilla. MOSFET-tyyppiset transistorit ovat elektroniikka-alalla tunnetusti herkkimmät transistorityypit. Nykyaikaisten transistoreiden HBM vikaantumisherkkyyks on ilmoitettu valmistajien datalehdissä vaihtelevasti, mutta arvot ovat 100V:n ja 200V:n välissä. Nykyaikaiset transistorit voivat hieman erota ladontatiheydeltään 80-luvulla käytetyistä transistoreista, joten varmuutta sen aikaisista herkkyydestä yritettiin vielä parantaa. Tarkasteltaessa vuonna 1990 Reliability Analysis Center:n tekemää tutkimusta erilaisten komponenttien kestävydestä sähköpurkauksia vastaan, voidaan todeta, että monet sen ajan MOSFET-transistorit tuhoutuvat jo 140V purkauksesta. Radiot on suunniteltu hyvin kestäväksi laitteen kuoreen kohdistuvat purkaukset ja ESD tulee huomioida vasta, kun kotelon kuori avataan. (Reliability Analysis Center, 1990.)

Myös erään tulenjohtolaitteen huoltotyöt tehdään radiokorjaamon henkilöstön toimesta. Tulenjohtolaitteessa ESD-herkkää elektroniikkaa on tie-

tokonelaitteistossa ja tutkassa. Molemmat yksiköt koostuvat vaihdettavista piirikorteista. Tietokonelaitteen piirikorteissa on ESD-herkstä materiaalista varoittavia tarroja, mutta herkkyydestä ei tämänkään laitteen ohjekirjoissa mainita mitään. Tietokonelaitteen piirikorteissa kuitenkin on näkyvillä EEPROM -piirejä, jotka kestävät alle 4000V:n purkauksia. (Tevevsky & Banker, 1998.)

Puhelinkorjaamolla huollettavan yhteysviestintälaitteiston kaikissa piirikorteissa on ESD-herkstä laitteesta varoittava merkki. Piireillä on erilaisia vahvistimia, suotimia ja taajuusmodulaattoreita. Tässäkin laitteessa signaalinkäsittely ja äänitaajuuden muodostus tapahtuvat digitaalisesti, joka tarkoittaa sitä, että digitaalisignaalin korkeataajuuden modulaation purkamiseen tarvittavien komponenttien on oltava nopeatoimisia ja herkkiä havaitsemaan tietyt signaalin taajuudet. Digitaalipiireissä olevat komponentit ovat näin ollen herkempiä kuin vastaavat analogiapiireissä esiintyvät komponentit. Puhelinkorjaamon vastuualueeseen kuuluvat erilaiset kenttäpuhelimet, jotka ovat tekniikaltaan rakennettu analogiaelektronikan avulla passiivikomponenteilla. Nämä puhelimet eivät ole erityisen herkkiä ESD:lle. Käytäntö on osoittanut, että eräs piirikortti on havaittu olevan herkempi elektrostaattiselle purkaukselle, kuin muut käsiteltävät laitteiden osat. Tämä osa on sanomalaitteen latausmonitorointikortti. Sen on havaittu tuhoutuvan välittömästi jo pelkästään siitä, että kortti on laskettu pöytätasolle, jota ei ole suojattu.

Ilmatorjuntajärjestelmäosaston elektroniikkaan kohdistuvissa töissä joudutaan satunnaisesti käsittelemään tutka-, ohjus- ja tietokonelaitteistojen piirikortteja. Järjestelmät on rakennettu siten, että signaalinkäsittely on jaettu useiden piirikorttien kesken. Viankorjauksissa vika paikannetaan ensin tiettyyn piirikorttiin, jonka jälkeen kortti vaihdetaan. Vanhemmassa, 80-luvun kalustossa piirikortteja on moninkertainen määrä moderneihin laitteistoihin verrattuna. Tutkalaitteet pitävät sisällään tietokoneistakin tuttuja komponentteja, kuten prosessorit ja muistipiirit. Tutkassa myös signaalin vahvistus on hyvin tärkeä osa sen toimintaa. Antennista vastaanotetun kaikusignaalin voimakkuus voi olla vain muutamia nanowatteja, joka tulee vahvistaa sellaiselle tasolle, että signaalinkäsittely on mahdollista. Useat laitevalmistajat varoittavat huolto-ohjeissaan MOSFET-transistoreista ja EEPROM-muistipiireistä ja mainitsevat niiden tuhoutuvan 100-300V suuruisen varauksen purkauksesta. Tutkassa on myös taajuusgeneraattoreita, modulaattoreita ja kideoskillaattoreita. Nämä signaalinmuodostukseen osallistuvat yksiköt ovat toiminnaltaan todella tarkkoja ja ne on suunniteltu tuottamaan haluttuja pistetaajuuksia. Tarkkojen, gigahertsiluokan pistetaajuuksien luominen edellyttää tarkkaa signaalinkäsittelyä ja häiriöiden suodatusta. Signaalinmuodostusyksiköt ovat koteloitu siten, ettei niiden piireihin voi kohdistua purkausta ilman suojakuoren avaamista, mutta kaapeleiden liittimien kautta se on mahdollista. Parolan korjaamolla ei myöskään tehdä korjauksia komponenttitasolla, joten yksittäisten mikroaaltokomponenttien herkkyyttä ei tarvitse selvittää tarkasti.

Elektroniikkahuollossa herkimmät huollettavat laitteiden osat ovat selkeästi piirikortit. Piirikortteja on erikokoisia ja niillä olevien komponenttien määrä vaihtelee huomattavasti. Vaikka herkkyydestä selvitetiin yksittäi-

sille komponenteille, se ei tarkoita, että piirilevyille juotettu komponentti olisi yhtä herkkä kuin irrallinen komponentti. Piirilevyn arkkitehtuurista riippuen komponentti saattaa tosin muuttua jopa herkemmäksi piirillä, kuin irrallaan olevana. Monissa komponenttien datalehdissä oli myös maininta, että komponentissa on sisällään suojaus sähköstaattista purkausta vastaan, ja että käsittelyssä on noudatettava varovaisuutta. Tarkasteltaessa laitteiden piirilevyjä ja -kaavioita havaittiin niillä olevan erilaisia suodinpirejä, jotka eivät liittyneet kortin signaalinkäsittelyyn vaan häiriöiden suodatuksen. Näitä häiriöiden suodatuksia on tehty myös ESD-suojauksen parantamiseksi. Laitteita tarkasteltaessa todettiin, että minkään yksittäisen komponentin HBM-herkkyys ei alita 100 voltia. SFS 61340-5-1 standardia sovelletaan elektroniikka-alalla, kun HBM-mallin vikaantumisherkyys on suurempi tai yhtä suuri, kuin 100V.

Puolustusvoimilla on käytössä omia tiukentavia ohjeita mm. erilaisissa sähköturvallisuuteen liittyvissä standardeissa. Olikin syytä selvittää onko myös ESD-suojauksen suhteen joitain ennalta määritettyjä suojaustasoja tai raja-arvoja. Tehtäessä resistanssimittauksia työpinoilla käytettiin raja-arvona 100M Ω , joka on vain 10 % SFS 61340-5-1:n määrittämästä 1G Ω :sta. Tälle raja-arvolle lähdettiin selvittämään perusteita ja asiakirjaa, jossa kyseinen arvo on määritetty. Pääesikunnan tekniseltä tarkastusosastolta kysyttäessä selvisi, ettei puolustusvoimilla ole käytössä mitään yleistä ohjetta ESD-suojaukseen liittyen, eikä mitään raja-arvoja ole määritetty erikseen. Aikaisemmin sovellettua 100M Ω arvoa on käytetty joskus räjähdavaarallisissa tiloissa ja se on sitä kautta jäänyt käyttöön myös Parolan korjaamolle.

8 PUUTTEIDEN KARTOITTAMINEN

Puutteiden kartoittaminen tehtiin yhdessä kussakin tilassa työskentelevien jäsenten kanssa. Kartoittamisessa pyrittiin kiinnittämään huomiota erityisesti tilojen rakenteellisiin ominaisuuksiin ja kalusteisiin, koska työntekijöiden henkilökohtaisten varusteiden todettiin olevan kunnossa. Silmällä pidettiin myös EPA-alueen vaatimuksia, joiden tulisi täyttyä huoltotilassa. Kartoitukset rajoittuivat tilojen alueille, joilla on varauksia poistava lattia-pinta, koska ESD -herkkää materiaalia ei tämän alueen ulkopuolella ole käsitelty.

Kartoitustyö aloitettiin radiokorjaamolta, jossa varauksia poistava lattia-pinta on asennettu huoneen pätyyn ja hieman toiselle sivuseinälle. Lattia-pinta on rajattu keltamustalla teipillä. Tarkemmin tutkittaessa huomattiin, ettei lattiamattoja ole maadoitettu lainkaan. Tästä aiheutuu se, että lattia ei ole toiminut lainkaan henkilöiden maadoittamisessa. Rajatun alueen sisällä on neljä työpistettä, jotka ovat Teklab-merkkisiä sähkötyöpöytiä. Ensimmäisenä huomio kiinnittyi seinustoilla säilytyksessä oleviin laitteisiin. Korjattavia laitteita ei tulisi säilyttää samalla EPA-alueella, jossa suoritetaan korjauksia. Alueella on metalliset hyllystöt, joilla säilytetään tilapäisesti joitakin varaosia. Hyllyjen tasoilla ovat säilytyslaatikot ovat suurimmaksi osaksi eristävää muovia, mutta joitakin puolijohtavia laatikoita-kin on. Hyllykön tasoja ei ole erikseen maadoitettu, eikä niiden pinnoilla

ole suojamattoja. Alueella käytetään huollettavien laitteiden liikutteluun kaksitasoisia kääryjä. Kääryjen rullat eivät ole puolijohtavia ja näin ollen varaukset kääryssä eivät pääse poistumaan. Kääryn metallisilla tasoilla ei myöskään ole suojamattoa, jonka kautta varaukset pääsisivät purkautumaan hallitusti. Roskakorien havaittiin olevan varautuvaa materiaalia, joka voi aiheuttaa käsiteltävien kappaleiden varautumista. Alueelle ja sieltä pois liikkuminen vaikuttaa suuresti lattian puhtauteen ja siten myös lattiapinnan varauksia poistavaan ominaisuuteen. Erillisiä ESD-työkaluja ei ole käytössä kenelläkään, eivätkä juottimien kärjet ole maadoitettavaa tyyppiä. Henkilöstöllä on hieman koulutusta, mutta olisi tarvetta päivittää tiedot ajan tasalle.

Puhelinkorjaamon varauksia poistavalla lattiapinnalla sijaitsee kaksi työpöytä. Dissipoivaa lattiapintaa on asennettu puhelinkorjaamon päätyyn ja se kattaa noin 25 % tilasta. Myöskään puhelinkorjaamon lattiapintaa ei ole maadoitettu. Alueella on sinne kuulumatonta materiaalia, mikä voi aiheuttaa varautumista lähietäisyydellä käsiteltäviin laitteisiin. Käytössä on myös samanlaisia kääryjä, kuin radiokorjaamolla. Kääryissä esiintyy myös samat puutteet. Puhelin korjaamon roska-astiat on valmistettu varautuvasta muovilaadusta, eivätkä ne kuulu EPA-alueelle. Henkilöstöllä on hieman koulutusta, mutta tiedot saattavat olla vanhentuneita, koska standardeja päivitetään tarpeen mukaan.

Ilmatorjuntajärjestelmäosaston elektroniikkahuoltotilassa on dissipoivaa lattiapintaa noin 3m². Tällä alueella sijaitsee yksi työpöytä. Työpöydällä on EPA-alueelle kuulumatonta materiaalia ja sille lasketaan usein muita tavaroita, kuten mittalaitteita. Aluetta ei ole kunnolla rajattu ja sen päällä kävellään tarpeettomasti. Lattiapintaa ei ole maadoitettu. Henkilöstöllä ei ole käytössä puolijohtavia vaatteita, jalkineita lukuun ottamatta.

Suurimpana puutteena korjaamon tiloissa voidaan pitää lattiapintojen maadoittamattomuutta. Kalliit lattiapinnat eivät ole missään elektroniikkahuoltotilassa tarjonneet maadoitusreittiä kehon varauksien purkamiseen. Lattia itsessään toimii varauksia poistavana, mutta tehokkaamman hyödyn siitä saisi maadoitettuna. Käytävällä, jonka varrella elektroniikkahuoltotilat sijaitsevat on testilaitte, jolla voi selvittää jalkineiden ja rannekkeiden kunnan. Testilaitteen sijainti on huono, koska se on kaukana tiloista, joissa huollot tapahtuvat. Matkalla testilaitteelta huoltotiloihin, ehtii jalkineisiin tarttua likaa, joka vaikeuttaa varauksien maadoittumista. Kalusteiden osalta puutteet olivat pieniä ja tulisi korjata tarpeen mukaan.

9 PUUTTEIDEN KORJAAMINEN

Puutteiden korjaamiseksi saatiin korjaamon johdolta lupa käyttää rahaa uusien suojausmekanismien hankkimiseksi. ESD-suojatuotteita hankittiin Hyvinkäällä sijaitsevasta Perel Oy:stä.

Ensimmäisenä toimenpiteenä tilat, joissa on varauksia poistavaa lattiapintaa, siivottiin perusteellisesti. Alueilta poistettiin kaikki sinne kuuluvat esineet, kuten huoltoon tulevat laitteet ja keskeneräiset, varaosia

odottavat laitteet. Lattiapinnoitteen vahan ominaisuudet selvitettiin siivoushenkilöstöltä ja todettiin, että vahamateriaali vaihdetaan uudempaan tuotteeseen. Lattioille suoritettiin vahan poisto, minkä jälkeen pinnoille levitettiin uusi vaha. Uuden vahan ansiosta maadoitusresistanssiarvot tipuivat reilusti alle ylärajan. Lattiapinnoitteet maadoitettiin omatoimisesti yhdistämällä ne rakennuksen suojamaadoitukseen.

Puhelin- ja radiokorjaamoille hankittiin kokeeksi lattialle asennettavat tarra-arkit, joiden tarkoitus on poistaa irtolika jalkineiden pohjasta. Tarra-arkit huomattiin toimiviksi, mutta henkilöstön liikkua päivän mittaan ne menettävät nopeasti kykynsä poistaa likaa. Arkkit sijoitettiin EPA-alueiden kulkureiteille. Vierailuvia henkilöitä silmällä pitäen ostettiin jalkineiden päälle puettavia suojahuppuja, joita käytettäessä tavalliset jalkineet toimivat ESD-suojajalkineiden tavoin.

Korjaamolle hankittiin toinen rannekkeiden ja jalkineiden testauslaite. Vanhempi laite siirrettiin radiokorjaamon EPA-alueen kulkureitille ja toinen vastaavaan paikkaan puhelinkorjaamolle.

Siirrettäviä rullakoita varten hankittiin uusia renkaiden, joiden kautta varaukset pääsevät purkautumaan lattian kautta maapotentiaaliin. Rullakoiden pinnoille ostettiin puolijohtavia mattoja, joiden päällä on turvallista kuljettaa vaikka piirikortteja.

Suunnitelmissa on tulevaisuudessa korvata vanhat tuolit uusilla malleilla, koska vanhojen tuolien rullat ja istuinpinnat ovat jo kuluneet. Samalla on harkittu sijoitusta ionisaattoriin, jonka avulla piirikorttien tai muiden huoltavien laitteiden varaukset voitaisiin purkaa ennen työskentelyä ja samaa laitetta voisi käyttää turvallisesti pölyn ja irtolian puhdistamiseen ionisoituneen paineilman avulla. Jatkossa maadoitusrannekeita tulisi hankkia suuremmissa erissä. Mitä enemmän rannekeita on tarjolla ja käden ulottuvilla, sitä helpommaksi niiden käyttö muodostuu. Jos ranneketta etsivä henkilö ei sitä pienen ajan kuluessa löydä, voi ranneke jäädä kokonaan käyttämättä.

10 PAROLAN KORJAAMON ESD-HALLINTAOHJEMA

Parolan korjaamolla tehtävissä elektroniikkalaitteisiin kohdistuneissa huolto-, korjaus- ja logistiikkatoissa on huomioitava laitteiden vaatima ESD-suojautaso. Tässä dokumentissa annetaan riittävä ohjeistus edellä mainittujen toimenpiteiden suorittamiseen, jotta laitteiden ja komponenttien vikaantumisluku ei nousisi käsittelyn yhteydessä. Samalla taataan korjaamopalveluiden hyvä laatu ja laitteistojen nopea läpimenoaika ilman turhia lisäkorjauksia.

10.1 Perusteet

Ohje on luotu SFS-standardin 61340-sarjan määrittämien raja-arvojen ja toimintaohjeiden mukaisesti. Ohjeen laatimisessa on huomioitu myös eri-

laiset sotilaskäyttöön valmistettujen laitteiden asettamat erityisvaatimukset, joilla varmistetaan huolto- ja korjaustöiden riittävä suojaustaso.

10.2 Soveltamisala

ESD-hallintaohjelmia sovelletaan joukkoyksiköiden ja korjaamon ESD-herkkää materiaalia käsiteltäessä. Tällaisia toimenpiteitä ovat kaikenlaiset korjaukset, varaosan vaihdot, sekä lähetys- ja vastaanottotyöt. ESD-suojauksen takaamiseksi laitteiden koko elinkaaren aikana ja kaikissa toimintaketjun vaiheissa tulee kaikkien ESD-herkkiä laitteita käsittelevien henkilöiden, mukaan lukien varusmiehet, noudattaa tätä ohjeistusta.

Ohjetta tulee noudattaa kaikissa toimenpiteissä, joissa on vaarana aiheuttaa haitallinen staattisen sähkön purkaus käsiteltävän laitteen osiin, joko suoraan komponentteihin tai ulkoisten toimilaitteiden, kuten kytkinten tai liittinten välityksellä. Suojaustoimenpiteitä on noudatettava järjestelmien, yksittäisten laitteiden ja piirilevyjen, sekä komponenttien käsittelyssä, mikäli käsiteltävä osa on tunnistettavissa herkäksi ESD-purkauksille.

Järjestelmien sisällä tapahtuvissa töissä voidaan ohjeesta poiketa, koska järjestelmien tiloissa ei ole aina mahdollista toteuttaa kaikkia vaadittavia toimenpiteitä suojaustason ylläpitämiseksi. On kuitenkin muistettava käyttää vähintään vähimmäisvaatimuksia herkkien osien käsittelyssä. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi tutka-, ohjus ja asejärjestelmät.

ESD-suojaus ei koskaan edistä sähkötyöturvallisuutta, eikä tätä ohjetta tule soveltaa, mikäli sillä voidaan vaarantaa työntekijöiden tai sivullisten turvallinen työskentely sähköalan ympäristössä.

10.3 Valvonta

Kelpoisuus todetaan vuosittain tehtävillä testausmenetelmillä. Kelpoisuuden toteamisesta vastaa ESD-koordinaattori. Testausmenetelmät ja niiden toistoväli on ohjeistettu tässä dokumentissa. Dokumentissa on myös yksityiskohtaiset tekniset vaatimukset ja mittausrajat.

Suojaustoimenpiteiden noudattamista ja korjaamotilojen suojaustasoa valvoo ESD-koordinaattori. ESD-koordinaattori suorittaa vuosittaiset tarkastusmittaukset ja todentaa, että tilojen suojaustaso on ohjeen vaatimalla tasolla. Tehtäviin kuuluu myös tiedon ylläpitäminen standardien ja määräysten osalta. Koordinaattori myös säilyttää tai arkistoi tarkastusmittausten pöytäkirjat ja muun teknisen materiaalin, joka on merkittävää ESD-suojauksen ylläpitämisen kannalta. Dokumentteja voidaan hyödyntää myös laadunhallinnan tarkastuksissa.

ESD-koordinaattori tekee päätöksen tilojen hyväksymisestä käyttöön mitaustulosten perusteella. Mikäli raja-arvot ylittyvät, asetetaan kyseinen työpiste tilapäiseen käyttökieltoon ESD-herkkien laitteiden käsittelyn osalta.

ta ja tehdään suunnitelma puutteiden korjaamiseksi. Käyttökielloista raportoidaan korjaamon johtajalle

10.4 Tarkastusmittaukset

Tarkastusmittaukset korjaamotiloissa on suoritettava vuosittain. Mittauksilla varmistetaan mm. ESD-lattioiden toimivuus, työpintojen johtavuus ja henkilöstön varusteiden kunto. Mittausten ajankohta tulisi sijoittaa talveen, koska tällöin ilmankosteus on pienimmillään ja tällöin saadut mittaukset kuvaavat pahinta mahdollista tilannetta olosuhteiden kannalta.

Ranneke- ja kenkätestaukalaitteita tulee käyttää kuukausittain. Testeusalaitteilla varmistetaan henkilökohtaisten varusteiden kunto. Kengät voivat kulessaan menettää suojaavat ominaisuutensa ja ranneke voi huomaamatta rikkoontua. Suorittamalla testaukset kuukausittain, saadaan riittävä varmuus välttämättömimpien suojavaarusteiden toiminnasta.

Kelpoisuuden toteamiseen käytettyjä testausmenetelmiä ovat erilaiset resistanssin ja kehon varautumisen mittaukset. Testattavan materiaalin resistanssi mitataan kulutuspinnalta eristysvastusmittarilla. Testattavia materiaaleja ovat työpöytien varauksia poistavat matot, tuolit ja lattiapinnoitteet. Kehon varautumista mitataan kävelytestillä työpintojen läheisyydessä. Maadoitusrannekkeiden ja kenkien määräaikainen testaaminen tapahtuu siihen tarkoitettun testilaitteen avulla. Prosessin seurantaan liittyvissä mittauksissa on käytettävä SFS 61340-5-1-standardin asettamia raja-arvoja tässä ohjeessa esiintyvien poikkeuksin.

10.5 Koulutus

Elektroniikkatöiden parissa työskenteleville henkilöille tulee tarjota koulutusta ESD-suojauksesta. Koulutukset on tarpeen mukaan uusittava väliajoin, mikäli standardeihin tai määräyksiin tehdään muutoksia. Vähintään ESD-koordinaattorin tulee päivittää tietojaan määräväleihin ja jakaa niitä muille työntekijöille, joko koulutustilaisuuksissa tai dokumenttien muodossa. Koulutusrekisteriä ylläpidetään korjaamon toimistossa, johon kerätään todistukset käydyistä koulutuksista.

10.6 Tekniset vaatimukset EPA-alueelle

Teknisillä vaatimuksilla asetetaan rajat työtilojen rakenteellisille ominaisuuksille, sekä henkilökohtaisille varusteille. Vaatimuksia tulee hyödyntää rakennettaessa uusia työpisteitä tai muutettaessa vanhoja tiloja. Teknisiin vaatimuksiin sisältyvät myös mittauksissa käytetyt raja-arvot.

Parolan korjaamolla on EPA-alueita, joilla ESD-herkän elektroniikan käsittely on turvallisempaa, kuin muissa tiloissa. Staattisen sähkön purkauksilta suojaavat päälliset ja pakkaukset on sallittua poistaa ja asentaa vain näillä alueilla. Piirikortteihin kohdistuvat työt tulee myös suorittaa EPA-

alueilla mahdollisuuksien mukaan. Kiinteät EPA-alueet sijoittuvat puhelinkorjaamon ja radiokorjaamon tiloihin. Ilmatorjuntajärjestelmäosaston ja teknisen varaston tiloissa on tilapäiset EPA-alueet, jotka otetaan käyttöön tarvittaessa.

EPA-alueiden potentiaalintausjärjestelmä tulee rakentaa siten, että kaikki työ- ja säilytystasot ovat maadoitettu joko toiminnallisen maapisteen tai sähköjärjestelmän suojamaan kautta. Tähän samaan maapotentiaaliin kytetään myös maadoitusrannekkeet ja lattiapinnat.

EPA-alueilla ei saa säilyttää varautuvia materiaaleja, joista varaus voi purkautua laitteeseen. Kalusteiden, kuten tuolien ja roskakorien tulee olla puolijohtavaa materiaalia, jotta liikkuaessa syntyneet varaukset pääsevät maadoittumaan lattian kautta maapotentiaaliin. Hyllyjen tasot tai tasojen päälle asetettavat matot on maadoitettava samaan järjestelmään. Säilytykseen saa käyttää vain EPA-alueille hyväksytyjä säilytysrasioita, jotka on valmistettu puolijohtavasta materiaalista.

Henkilökohtaisista varusteista ensisijaisena suojauskeinona toimivat maadoitusranneke ja puolijohtavasta materiaalista valmistetut kengät. Vähintään näitä tulee käyttää käsiteltäessä elektroniikkalaitteita EPA-alueilla. Tarpeen mukaan on harkittava myös päällysvaatteiden, kuten varauksia poistavien takkien käyttöä. Huoltotöissä käytettävien työkalujen, kuten ruuvivääntimien, katkaisupihtien ja juotoskolvien tulee myös olla hyväksytyjä käytettäväksi EPA-alueilla.

Tilapäisen EPA-alueen perustaminen voidaan tehdä esimerkiksi huollettavien järjestelmien laitetiloihin. Tilapäisen EPA-alueen tulee sisältää vähintään maadoitettu matto, jonka päällä voidaan suorittaa pakkausten avaaminen ja asentaminen. Henkilön ensisijainen maadoitus tilapäisellä EPA-alueella on maadoitusranneke.

EPA-alueilla ei saa tehdä mekaanista työstöä vaativia toimenpiteitä ja nämä alueet tulee merkitä näkyvästi varoituskylteillä. Tarvittaessa alueelle pääsyä voidaan rajoittaa henkilöihin, jotka ovat suorittaneet tarkoituksenmukaisen ESD-koulutuksen.

10.7 Testausmenetelmät

Mittausohjeiden avulla on mahdollista suorittaa vuosittaiset suojaustason testaukset työtasojen, lattiapintojen ja henkilön varautumisen osalta. Ohjeissa annetaan tarvittavat tiedot mittausten suorittamiseen ja hyväksyttävät raja-arvot.

Mittaukset suoritetaan neljässä tilassa; radiokorjaamossa, puhelinkorjaamossa, ilmatorjuntajärjestelmäosastossa, ja teknisessä varastossa.

Mittalaitteiden kalibrointipäivämäärä ja fyysinen kunto tulee tarkistaa ennen mittauksien aloittamista. Myös mittapäät ja -johdot on tarkistettava

silmämääräisesti. Viallisilla tai kalibroimattomilla mittareilla ei saa suorittaa mitään testauksia vaan ne on toimitettava huoltoon.

Ennen mittauksia on selvitettävä tilan suhteellinen ilmankosteus ja lämpötila. Mittaukset tulisi ajoittaa talviaikaan, jolloin suhteellinen kosteus on pienimmillään.

Mittalaitteita on saatavilla Länsi Suomen Huoltorykmentin sähköturvallisuusosastolta, sekä Santahaminan korjaamolta.

Raja-arvojen ylityksestä raportoidaan korjaamon johtajalle joka päättää mahdollisista käyttökielloista.

10.7.1 Maadoitusresistanssi, R_g

Maadoitusresistanssi mitataan erikseen lattiapinnoiteilta ja työpöydiltä maapistettä vasten. Mitattava arvo kertoo, kuinka suuri resistanssi mitattavan pinnan ja maapotentiaalilin väliin jää. Liian pieni arvo mahdollistaa vaarusten vaarallisen nopean purkautumisen ja liian suuri arvo estää purkautumisen kokonaan.

Maadoitusresistanssin mittaaminen tapahtuu eristysvastusmittarilla ja mittapäänä käytetään 2,5kg punnusta, jonka halkaisija on 65mm. Toinen mittapää kytketään sopivalla liittimellä käytössä olevaan ESD-maapisteeseen. Eristysvastusmittarin mittaussännitettä tulee pystyä säätämään alueella 10-500V.

Ennen mittaamista punnuksen kosketuspinta on puhdistettava joko etanolilla tai isopropanolilla. Lattiapintojen mittaaminen tapahtuu asettamalla punnus lattialle ja toinen mittapää maapisteeseen. Mittausta ei saa tehdä lattiapinnan sauman kohdalta. Mittauspisteet näkyvät pöytäkirjassa ja liitteenä olevissa pohjapiirustuksissa.

Työpintojen mittaaminen tapahtuu samoin, kuin lattioiden mittausta ja ennen siirtymistä työpintojen mittaamiseen tulee punnuksen kosketuspinta puhdistaa uudelleen. Työpintojen on oltava siistit ennen mittausta, mutta juuri mittausta varten tapahtuvaa siivousta ja puhdistusta tulee välttää. Punnus asetetaan työpinnalle ja toinen mittapää kytketään työpöydän ESD maapisteeseen. Mittausta tehdään työpinnalla noin 3:sta eri paikasta, joista laskettu keskiarvo kirjataan pöytäkirjaan.

Mittaussännitteeksi asetetaan ensin 10V. Jos mittaustulos on tällä jännitteellä yli 1M Ω , valitaan mittaussännitteeksi 100V. Jos mittaustulos ylittää 100G Ω , valitaan mittaussännitteeksi 500V. Mittarin lukema luetaan noin 15 sekuntia mittaussännitteen kytkemisen jälkeen, jotta arvo ehtii vakioitua. Hyväksyttävänä ylärajana pidetään 800M Ω . Alarajaa ei ole määritelty, koska käytännössä haitallisen matalaa arvoa on todella vaikea saavuttaa. Ongelmaksi muodostuu aina liian suuret R_g :n arvot.

Mikäli $800\text{M}\Omega$ vastusarvo ylittyy, tulee ryhtyä toimenpiteisiin riittävän maadoitusresistanssin saavuttamiseksi. Toimenpiteitä ovat muun muassa työtasojen puhdistaminen, pinnoitteiden vaihto, uudelleen vahaus tai maadoituksen varmistaminen.

10.7.2 Kehon jännitepotentiaali, V_{body}

Kehon jännitepotentiaalimittauksessa mitataan kehon varautumista. Kehoon varautuu liikkeessa jännitteitä, jotka voivat purkautuessaan rikkoa komponentteja. Paras keino estää purkauksia on välttää kehon varautumista purkamalla jännitteet esimerkiksi kenkien, tuolin ja/tai maadoitusrannekkeen kautta maapotentiaaliin, joko suoraan tai lattiapinnoitteen kautta. Mittaus kertoo, kuinka hyvin käytetyt suojausmenetelmät poistavat varauksia.

Mittaaminen tapahtuu elektrostaattisella varausmittarilla. Varausmittarin mittapäähän kytketään kävelytestiadapteri, johon tarttumalla kehon jännitepotentiaali voidaan mitata. Näkyvät liat kävelyadapterista tulee puhdistaa etanolilla tai isopropanolilla.

Mittaaminen suoritetaan työpisteiden edessä, jossa liikkuminen aiheuttaa eniten haitallisia varauksia. Mittaajan tulee käyttää samoja henkilökohtaisia suojaimia, kuin tilassa työskentelevät henkilöt. Mittauksen suorittajan olisi hyvä olla tilassa pääsääntöisesti työskentelevä henkilö. Mittaaminen tehdään aluksi ilman maadoitusranneketta, minkä jälkeen toistetaan mittaus vielä rannekkeen kanssa. Mittauspisteet näkyvät pöytäkirjassa ja liitteenä olevissa pohjapiirustuksissa.

Mittauksen suorittaminen tehdään ottamalla 5-10 askelta työpisteen lähiympäristössä ja kirjaamalla ylös mittarin viiden korkeimman jännitepiikin keskiarvo. Mittari näyttää sekä negatiiviset, että positiiviset varaukset, joten niitä tulee käsitellä neutraaleina laskettaessa keskiarvoa. Rannekkeen kanssa tehtyjä mittauksia ei huomioida pöytäkirjassa.

Hyväksyttävänä rajana ovat alle 100V varaukset. Rannekkeen kanssa tehtävät mittaukset pudottavat arvon murto-osaan, millä vain varmistetaan parhaan maadoitusreitien toiminta. Tarvittaessa mittaus voidaan suorittaa myös tuolilla istuttaessa ilman ranneketta ja jalat irti lattiapinnasta. Tällä menetelmällä tarkastetaan tuolien tarjoama maadoitusreitti varauksille.

10.7.3 Yhdistelmäresistanssi, R_{sys}

Yhdistelmäresistanssimittaus kertoo vastuksen, joka muodostuu henkilön ja maapotentiaalivälille. Mittauksella selvitetään henkilökohtaisten varusteiden, kuten kenkien kunto ja lattian sekä tuolien kyky johtaa varauksia. Mittaus on tärkeä erityisesti teknisen varaston tiloissa, jossa maadoitusrannekkeen käyttö ei aina ole mahdollista ja ensisijaisen maadoitusreitien tarjoavat jalkineet.

Mittaaminen tehdään eristysvastusmittarilla, 100V jännitteellä. Mittapäänä käytetään kävelyadapteria, joka puhdistetaan näkyvästä liasta ennen mittausta etanolilla tai isopropanolilla.

Mittaus tehdään mahdollisimman lähellä työpistettä. Mittauksen kohteena olisi hyvä olla tilassa pääsääntöisesti työskentelevä henkilö. Kohdehenkilö tarttuu kävelyadapteriin ja toinen mittapää kytketään maapisteeseen. Mikäli tilassa on ESD suojattuja tuoleja, mittaukset tehdään myös niillä istuttaessa. Mahdollisimman moni tuoleista tulisi tarkastaa, koska kerran vuodessa tehtävä mittaus on ainoa tapa selvittää niiden kyky johtaa varauksia. Tuolia mitattaessa tulee jalkojen olla irti lattiasta, jotta maadoitus tapahtuisi tuolin jalkojen tai rullien kautta. Mittauspisteet näkyvät pöytäkirjassa ja liitteenä olevissa pohjapiirustuksissa.

Mittauksen suorittaminen tapahtuu maadoitusresistanssimittauksen tavoin. Henkilö pitää kiinni kävelyadapterista toisen mitta pään ollessa maapisteessä. Pöytäkirjaan merkitään paikallaan seisten tehdyn mittauksen tulos. Mittaus voidaan tarvittaessa tehdä eri paikoissa jos on epäilystä, että esimerkiksi lattiassa on jokin kohta, joka on kuluneempi ja siten johtaa huomnommin varauksia. Mittarin lukema luetaan noin 15 sekuntia mittausjännitteen kytkemisen jälkeen, jotta arvo ehtii vakioitua.

Hyväksyttävät yläraja on $35\text{M}\Omega$, jonka ylittyessä tulee selvittää liian suuren resistanssin aiheuttaja. Mitattu arvo riippuu kuitenkin monesta tekijästä, kuten kohdehenkilön hikoilemisesta, jolloin mittaustuloksen tarkastelussa tulee käyttää harkintaa. Alarajana pidetään $0,1\text{M}\Omega$, joka on sama, kuin jalkineille hyväksyttävä alaraja ranneke- ja jalkinetesterissä.

10.7.4 Resistanssi pisteiden välillä, R_{pp}

Epäiltäessä suojausmekanismien heikentymistä, voidaan arviointiin käyttää kahden pisteen välistä resistanssimittausta. Mittauksella selvitetään kohteena olevan pinnan kyky johtaa varauksia mittapisteiden välillä. Mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi epäiltäessä lattian tai työpinnan huonontunutta suojaustasoa mekaanisen kulumisen johdosta. Tällä mittauksella voidaan selvittää myös esimerkiksi ESD-suojatakkien johtamiskyky. Tekstiilejä mitattaessa tulee pyrkiä tekemään mittaukset kuivana vuodenaikana. Pintoja mitattaessa tulee varmistua, että kohteiden maadoitukset on irrotettuna R_{pp} mittauksen aikana.

Mittalaitteena käytetään eristysvastusmittaria ja mittapäinä kahta elektrodia. Elektrodeina käytetään 2,5kg painoisia 65mm halkaisijaltaan olevia punnuksia. Punnusten kosketuspinta tulee puhdistaa etanolilla tai isopropanolilla ennen mittausta.

Punnukset asetetaan mitattavalle pinnalle n. 300mm päähän toisistaan. Mittaus aloitetaan 10V jännitteellä ja nostetaan tarvittaessa 500V:iin samoilla kriteereillä, kuin maadoitusresistanssimittauksessa. Mittarin lukema

luetaan noin 15 sekuntia mittausjännitteen kytkemisen jälkeen, jotta arvo ehtii vakioitua.

Työ- ja säilytystasojen hyväksyttävä yläraja on $1\text{G}\Omega$. Lattiapinnoilla käytetään samaa arvoa. Maadoittamattomille vaatteille yläraja on $1000\text{G}\Omega$ ja maadoitetuille $1\text{G}\Omega$. Mittauksista tulee mainita pöytäkirjan huomautuskentässä.

10.7.5 Jalkine- ja ranneketestauslaitteen käyttö

Jalkine- ja ranneketestauslaitteella selvitetään jalkineiden ja rannekkeiden kunto. Testilaitte on tehty yksinkertaiseksi, jotta sen käyttö olisi nopeaa ja muodostuisi rutiininomaiseksi. Testilaitteet sijaitsevat EPA-alueiden kulureitillä, jolloin mittauksen voi suorittaa nopeasti ennen siirtymistä EPA-alueelle.

Testilaitteeseen kuuluu mittalaite ja metallinen mittauslevy jalkineiden mittaukseen. Rannekkeen testaus tapahtuu kytkemällä rannekeosa ranteeseen ja maadoitusliitin mittalaitteeseen. Mittalaite tekee testauksen testinappia painettaessa ja ilmoittaa tuloksen led-indikaattoreilla.

Jalkineiden testaaminen tapahtuu astumalla mittauslevyn päälle testattavalla jalkineella ja painamalla testinappia. Molemmat kengät on testattava erikseen.

Rannekkeille sallittu maksimi resistanssi on $0,75\text{M}\Omega$ ja jalkineille $0,1\text{M}\Omega$. Laite ilmoittaa vihreällä led valolla hyväksymisestä ja punaisella valolla hylätystä tuloksesta.

Hylätyn tuloksen jälkeen on tarkastettava rannekkeiden kunto ja vaihdettava viallinen ranneke. Jalkineiden pohja on puhdistettava huolellisesti tai pahimmassa tapauksessa kengät on vaihdettava.

10.8 Ohjeita ESD-herkkien osien käsittelyyn

Elektronisissa laitteissa on monia komponentteja, jotka voivat tuhoutua staattisen sähkön purkauksesta. Usein tällaisia komponentteja ovat muun muassa puolijohteet, kuten bipolaaritransistorit, MOSFET-transistorit ja diodit. Parolan korjaamolla käsitellään näiden lisäksi radio- ja tutkalaitteiden RF-komponentteja sisältäviä yksiköitä ja piirikortteja, joiden herkkyytaso on erittäin matala. Passiivisetkin komponentit voivat joskus olla valmiiksi heikentyneet siten, että haitallinen purkaus saattaa aiheuttaa komponentin lopullisen tuhoutumisen.

Purkausten ehkäisemiseksi paras suojauskeino on varautumisen välttäminen. Sitä varten herkkiä osia käsittelevällä henkilöstöllä tulee olla käytössään riittävästi suojausmekanismeja, joilla varausten syntymistä ja purkautumista voidaan ehkäistä.

Järjestelmien laitetoissa tapahtuvaa käsittelyä varten tulee sinne perustaa tilapäinen EPA-alue, niin sanottu kenttä-EPA. Laitetoissa ei välttämättä ole mahdollista kytkeytyä tiettyyn maapisteeseen, joten sellainen on tarpeen tullen etsittävä yleismittaria apuna käyttäen jos laitevalmistajan ohjeissakaan ei tällaisesta pisteestä ole mainintaa.

Riittävä maadoituspiste löytyy usein laitteistojen suojamaaliittimestä, josta lähtee keltavihreä johto laitteen runkoon.

Kiinteillä EPA-alueilla olevia suojausmekanismeja ovat mm. työpintojen puolijohtavat matot, lattiapinnoitteet, säilytyslokerot, kuljetusrullakot, pakkaustarvikkeet, työkalut ja henkilökohtaiset varusteet. Huoltohenkilöstö vastaa näiden mekanismien toimivuudesta ja raportoi vikaepäilyistä korjaamon johdolle ja ESD koordinaattorille. Tilojen kelpoisuus todetaan vuosittain tehtävillä tarkastusmittauksilla.

Ensisijainen suojauskeino EPA-alueilla on aina maadoitusranneke ja sen käyttöön tulee pyrkiä myös muualla tehtävissä elektroniikkahuoltotoimiteissa. EPA-alueella tulee käyttää myös ESD-suojajalkineita ja tarvittaessa suojatakkia. Esimerkiksi villapaidan lähelle tuotu piirikortti voi varautua ilman kosketusta, joten suojatakin käyttö on suositeltavaa. Saatavilla on oltava ESD-herkkien laitteiden huoltamiseen tarkoitettuja työkaluja ja niitä on käytettävä, mikäli käsiteltävän kohteen suojaustaso on sen mukainen.

Paljaita piirikortteja tai yksittäisiä komponentteja käsiteltäessä tulee suojukseen kiinnittää erityistä huomiota. Piirikorttia laskettaessa pöydälle tai säilytyslokeroon tulee huomioida, ettei se pääse koskettamaan mitään johdettavaa esinettä tai muuta kappaletta, joka saattaa olla varautunut. Komponentteja ei tule liu'uttaa pinnoilla vaan ne nostellaan paikasta toiseen. Turhaa koskemista herkkiin osiin tulee pyrkiä välttämään. Hajonneeksi epäiltyä tai todettua ESD-herkkää osaa tulee käsitellä samalla huolellisuudella, kuin ehjääkin osaa, jottei osaan aiheuteta ylimääräisiä vikoja, jotka voivat vaikeuttaa vian korjaamista.

Koteloitujen laitteiden tai moduulien purkamisessa pitää myös arvioida riittävät suojaustoimenpiteet. Irrotettujen kytkinten tai antenniliittimien kautta laitteen osiin voi kytkeytyä tuhoisa purkaus. Mittalaitteiden ja juotimien kärjistä aiheutuvat purkaukset ovat vältettävissä käyttämällä maadoitettua juotinta ja koskettamalla mittalaitteen mittapäällä maapistettä ennen mittausta.

Vianpaikannuksessa usein käytettävän kylmäsprayn käyttöä tulee harkita tarkoin. Kylmäsprayn suihkuttaminen piirikortille voi aiheuttaa suuria varauksia kaasun välityksellä. Kylmäspraytä ei tule käyttää ellei se ole täysin välttämätöntä. Puhallusspray ja kuumailmapuhallinkin saavat aikaan pienempiä varauksia, joten niiden liiallista käyttöä tulee pyrkiä välttämään. Pölyjen poistamisessa voi käyttää ionisaattoripuhallinta, joka samalla poistaa jo syntyneet varaukset kappaleesta. Mekaaninen työstö aiheuttaa lä-

hiympäristöön sähkö- ja magneettikenttiä, joista voi olla haittaa ESD:n kannalta. EPA-alueella ei tule suorittaa mitään mekaanista työstöä.

Pakkaus- ja purkutoimenpiteiden tulee tapahtua EPA-alueella ja siihen on käytettävä hyväksytyjä tarvikkeita. Piirikortit ja varaosat suljetaan metalloituihin pusseihin ja pussit suljetaan tarralla. Keltamusta ESD-herkästä osasta varoitettava sulkutarra kertoo paketin avaajalle, että pussi on suljettu EPA-alueella. Revenneitä tai reikäisiä pusseja ei saa käyttää. Uloimmat pakkaukset ovat usein varautuvaa materiaalia ja ne tulee poistaa EPA-alueen ulkopuolella. Sisemmän pakkauksen sulkemiseen käytetyt teipit ja tarrat avataan veitsellä tai saksilla, koskematta itse osaan. Teipin repäisy aiheuttaa suurienergisen purkauksen, joka voi aiheuttaa vaurioita herkkiin komponentteihin.

Ennen lähettämistä eteenpäin on viallisen tuotteen pakkaukseen kirjattava tarkka viankuvaus, irrottajan nimi, joukko-osasto, puhelinnumero, irrotus päivämäärä, laitteen tunnus, osan tyyppi ja yksilöintitiedot.

10.9 Tunnistaminen

ESD-herkkien laitteiden ja niiden osien tunnistamisessa tulee ensisijaisesti tukeutua valmistajan ohjeisiin. Ohjeet eivät kuitenkaan aina anna täysin kattavaa kuvaa herkkimmistä komponenteista. Mikäli laitteen kotelossa on varoitettava merkintä, tulee sen sisäisiä osia käsitellä EPA-alueella. Piirikorttien käsittelyn tulee aina tapahtua EPA-alueella huolimatta siitä onko kortissa merkintää vai ei. Poikkeuksena voidaan pitää piirikortteja, jotka selvästi sisältävät vain suuria passiivisia komponentteja ja liittimiä.

11 HAVAINNOT

Ennen työn aloittamista suojaustaso korjaamolla oli päässyt ajan mittaan heikentymään. Taso ei kuitenkaan ollut erityisen huono ja suojausmenetelmiä oli käytössä monia. Henkilökunta oli tietoinen staattisen sähkön aiheuttamista vaaroista, vaikka koulutusta aiheesta ei monikaan ollut saanut vuosiin. Herkkimät laitteet ja niiden osat tunnettiin kokemuksesta ja tutkimuksista saatiin niihin lisää tarkennusta.

Toimintaohjeiden ja suunnitelmien puute oli työn suurin havainto. Koska erityisiä ohjeita ei ollut luotu, kelpoisuuden toteamiseen käytetyissä mittauksissa oli käytetty väärää raja-arvoja. Tässä työssä luodut mittaohjeet ja pöytäkirjat tulivat selkeästi tarpeeseen.

Kehitystyö otettiin hyvin vastaan ja siihen kohdistettiin jonkin verran määrärahoja. Hankintoja tehtiin uusimalla ja parantamalla kalusteita, sekä hankkimalla uusia henkilökohtaisia varusteita. Työn tuloksena korjaamolle nimettiin ESD-koordinaattori ja perustettiin ESD-työryhmä. Työryhmän tehtävänä on huolehtia vuosittaisista kelpoisuuden toteamistestauksista ja ylläpitää suojaustasoa kalusteiden ja varusteiden kuntoa tarkkailemalla.

Suurimmaksi esteeksi ESD-suojaustason ylläpitämiseksi on havaittu henkilöstön asenteet. Aihetta vähätellään turhan paljon ja asian vakavuus unohtuu hiljalleen. Asenteisiin voisi vaikuttaa säännöllisillä lisäkoulutuksilla, joilla muistutettaisiin kuinka herkästi ESD-purkaus voi aiheuttaa vaurioita.

Tutkimustyön aikana Parolan korjaamolla järjestettiin huoltokoulutusta eräälle tutkajärjestelmälle. Koulutuksen johtajalle esitettiin mahdollisuutta sisällyttää koulutukseen laitekohtaiseksi räätälöity opetustilaisuus ESD-asioista. Koulutuksen johtaja otti asian mielellään vastaan ja huoltokoulutukseen sisällytettiin kahden tunnin opetustilaisuuden aiheesta. Oppitunnit tulivat tarpeeseen, sillä huoltokoulutuksessa käsiteltiin paljon piirikortteja ja niille tehtiin sähköisiä mittaustoimenpiteitä.

Hankintoja suunniteltaessa huomattiin, että ionisaattoripuhaltimesta voisi olla hyötyä muuallakin kuin elektroniikkatöissä. Nimittäin korjaamon optroniikkaosastolla huolletaan erilaisia tähtäimiä ja optisia välineitä. Näiden laitteiden linssit keräävät varautuessaan ilmasta pölyä, joka voi haitata linssin toimintaa. Ionisaattorilla linssien varaukset saataisiin poistettua, jolloin ne eivät vetäisi pölyhiukkasia puoleensa. Näin voitaisiin vähentää myös mekaanisen puhdistuksen määrää, joka taas kuluttaa linssiä. Linssien ja näyttölaitteiden ionisointi on tuttua esimerkiksi kännykkä- ja näyttölaittevalmistajien keskuudessa.

LÄHTEET

Dokumentit

Device sensitivity & Device testing, ESD association, viitattu 2012
<http://www.ce-mag.com/99ARG/ESD%20Assoc185.html>

Electronic reliability design handbook, Reliability Analysis Center, 1990
<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA220599>

Electrostatic Discharge Roadmap, ESD association, 2004
<http://esda.org/documents/2010electrostaticdischargeroadmap.pdf>

EMC-direktiivi, Tukes, 2004
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/EMC/>

EMCs & ESD, Oppimateriaali Kajak, H.Honkanen, viitattu 2012
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/EMCs_ESD.pdf

ESD, Alajoki & Smolander, 2001
<http://www.hut.fi/Yksikot/Elektroniikka/Kurssit/171/Materiaali-2001/ESD.pdf>

ESD Control Implementation and Cost Avoidance Analysis, M. H. Downing, s.6-11,1983

ESD fundamentals, ESD association, 2011
<http://www.esda.org/fundamentalsP2.html>

ESD-How often Does It happen? G.T.Dangelmayer, s.1-5,1983

ESD standardisarja SFS EN 61340, Suomen standardisoimisliitto, 2010

ESD Testing of an EEPROM-Based Multichip Module, Teverovsky & Banker, 1998
<http://misspiggy.gsfc.nasa.gov/tva/harrydoc/esdeeprom.html>

Parolan korjaamon toimintakäsikirja, viitattu 2012

Staattisen sähköön vaarojen tunnistaminen ja hallinta prosessiteollisuudessa, koulutusmateriaali, VTT, viitattu 2012

The Economic Benefits of an Effective Electrostatic Discharge Awareness and Control Program, W.Y.McFarland, s.28-33, 1981

The Encyclopedia of Physics, Robert Besancon, 1985
http://en.wikipedia.org/wiki/Triboelectric_effect

Tuoteluettelo, Perel Oy, 2012

Kuvat

Elektroniikan vikadiagnoosi, Marko Vanhanen, viitattu 2012
http://personal.inet.fi/atk/z80project/elvika/1_3.html#Bibolaariset%20transistorit

ESD and Me, Andrew Huang, viitattu 2012
<http://www.bunniestudios.com/blog/?p=212>

Failure through electrical stress, Martin Tarr, viitattu 2012
http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0181_ftes/

Ian Tresman, 2006
http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_breakdown

Veikko Katavisto, 2012

PANSSARIPRIKAATI
Parolan Korjaamo

ESD MITTAUSPÖYTÄKIRJA
Päivämäärä:
Suorittaja:

Mittauspöytäkirja elektroniikkahuoltotilojen ESD suojaustasosta

1. Maadoitusresistanssi	
Mittalaite	
Yksilönumero	
Kalibroitu	
Anturi	
Anturin sarjanumero	
Anturin puhdistus	
2. Kehon jännitepotentiaali	
Mittalaite	
Yksilönumero	
Kalibroitu	
Henkilön kytkentä mittalaitteeseen	
3. Yhdistelmäresistanssi	
Mittalaite	
Yksilönumero	
Kalibroitu	
Henkilön kytkentä mittalaitteeseen	
Yleiset tiedot	
Rh% ja C° mittalaite ja Z nro	
Lisähuomautuksia	

Maadoitusresistanssi, R_g
SFS EN 61340-5-1: $R_g < 800M\Omega$

PUHKMO	Tulos	Kommentit
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
RADKMO		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
11.		
12.		
13.		
ITJÄRJOS		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
TEKN.VAR		
1.		
2.		
3.		
Ympäristö		
C°		
Rh%		

Yhdistelmäresistanssi, R_{Sys}
SFS EN 61340-5-1: 0,1M Ω - 35 M Ω

	Tulos	Jalkineet	Kommentit
PUHKMO			
1.			
2.			
3.			
RADKMO			
1.			
2.			
3.			
ITJÄRJOS			
1.			
2.			
3.			
TEKN.VAR			
1.			
2.			
3.			
Ympäristö			
C°			
Rh%			

Henkilön varautuminen, V_{body}
 SFS EN 61340-5-2: <100V

	Max jännite	Jalkineet	Kommentit
PUHKMO			
1.			
2.			
RADKMO			
3.			
4.			
5.			
6.			
ITJÄRJOS			
1.			
TEKN.VAR			
1.			
Ympäristö			
C°			
Rh%			

Tilat täyttävät/Ei täytä mittausten osalta SFS EN 61340:n määrittämän suojaustason.

Päivämäärä ja allekirjoitus: _____

Huomautukset:



Koulutusmateriaalin power point esitys

ESD ja suojaustoimenpiteet

MOSTKA87M

ESD yleistä

- Elektroniikkatuotteiden riskien hallinta 2004 VTT & PV
 - Suuri osa PV:lle hankittavasta materiaalista tulee sisältämään herkkää elektroniikkaa
- Jatkohanke 2007
 - J-Os ohjeistukset, katselmoinnit
- Laitteiden toimintavarmuuden parantaminen ja elektroniikkahuollon kustannusten vähentäminen
- Omat korjaamokäsikirjat/vast.
- SFS 61340-5-1 ja -2 (<http://sales.sfs.fi>)

Vikaantumisherkyys

- Kehon max varaus n.30 000V
 - Päivittäin kilovolttien varauksia ja niiden purkauksia
- Vaurioitumistaso (HBM)
 - Teho FET 100-300V, CMOS piirit 1000-3000, filmivastus 1000-5000V, RF komponentit <50V, HDD lukupää <5V
- Komponentin koko ei suoraan kerro herkkyydestä
 - Passiiviset komponentit ovat myös alttiina

Charge & Discharge

- Kahden pinnan hankaaminen, läheneminen ja loitoneminen
 - Kävely, koskettelu, kitka, teippi
- Lämpötilaerot
 - Kuumailmapuhallin, kylmäspray
- Ilmanpaineen vaihtelu
 - Rh%



Pakkausmerkintä

Charge & Discharge


- Human Body Model, HBM
 - "kädessä laitteeseen"
- Charged Device Model, CDM
 - "laitteesta maihin"
- Machine Model, MM
 - Koneen sisällä, lähinnä tuotannossa tapahtuvaa
- Influenssivarautuminen
 - "indusoituminen"



ESD herkkä tuote

Suojausmenetelmiä

- Lattia
 - Johtava, dissipoiava, antistaattinen
- Asusteet
 - Kengät, takit
- Rannekke
 - Poistaa kehon varaukset lähes kokonaan (+/-20V)
- Pakkausmateriaalit
 - Metallidiat/antistaattiset pussit, ESD pahvipakkaukset ja pehmnikkeet



ESD:ta suojaava tuote

ESD Protected Area

- Usein työpiste, jolla ESDS komponenttien käsittely turvallista
- Suojaustaso määritellään herkimmän käsiteltävän laitteen mukaan
- Lattia, maadoitukset, säilytyskotelot, työkalut, istuimet, työasot, roskakorit...



Kenttä EPA

- Tilaan, jossa on ESDS laitteita, mutta käsittely ei turvallista ilman toimenpiteitä
 - Järjestelmät, kenttäkorjaamot, maasto-olosuhteet
- Minimoidaan riskien aiheuttajat tilanteen ja olosuhteiden mukaan
 - Sähköturvallisuus ennen muita, ESD suojaus EI ole sähköturvallisuutta lisäävä toimenpide
- Rannekkeen käyttö aina ensisijainen suojaus

Kenttä EPA (87M)

- Vaunun maadoitus
- Työtilan siistiminen
- Eristävien esineiden poistaminen
 - mm. villa- ja fleecpaidat
- Työalustan sijoittaminen
 - Maadoitus
- Sähköturvallisuuden varmistaminen
- Rannekkeen kiinnitys
- Työskentely vapaa



DO NOT WELD. Susceptible electronic devices.

Viallisen osan pakkaus

- Pakkaaminen aina EPA alueella
- Pakkausmateriaalin valinta tarpeen mukaan
- Merkinnät
 - Tarkka vian kuvaus
 - Irrottaja/J-Os (puh.no)
 - Irrutus pvm
 - Laitteen tummus
 - Kortin tyyppi, koodi ja seurantanumerot
- Sisimmäinen pakkaus suljetaan tarralla