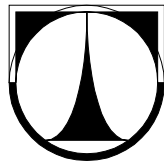


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2006

Karel Kužel

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1234T567 – Elektronické informační a řídicí systémy

**Ochrana elektrostaticky citlivých součástek před
výbojem ESD**

Bakalářská práce

Autor: Karel Kužel
Vedoucí práce: Doc. Ing. Miroslav Svoboda
Konzultant: Ing. Josef Beneš

V Liberci 18. 5. 2007

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užití své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Děkuji firmě Opterx Czech a.s. za umožnění realizace této bakalářské práce. Dále pak ing. Josefu Benešovi za odborné vedení a Doc. Ing. Miroslavu Svobodovi za hodnotné rady.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během mého studia.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je seznámení s elektrostatickým nábojem ESD (electrostatic discharge), jeho vznikem a eliminací ve vyhrazených prostorech EPA (ESD protected area) firmy OPTREX Czech a.s. ve Vrchlabí, jenž se zabývá výrobou LCD (Liquid crystal display).

Zmapováním stávajících výrobních prostor, sledováním LCD při manipulaci a měření daných veličin se nasbíraly důležité poznatky, které se vyhodnotily. Takto získaná data se konfrontovala s normou ČSN EN 61340-5-1 a definovaly se nedostatky vyhrazených prostorů EPA.

Abstrakt

The goal of the final project is presentation of electrostatic discharge (ESD), its creation and consequently elimination in ESD protected area (EPA) in company OPTREX Czech a.s. in Vrchlabí, which produces Liquid crystal display (LCD).

Currently factory areas were mapping, LCD monitoring during manipulation and measure values were collected of important datas, which were analysed. So collected datas were compared with norm ČSN EN 61340-5-1 and were defined some problems in EPA areas.

Obsah

Abstrakt	5
Obsah	6
Seznam symbolů a zkratek	8
Úvod	9
1. Popis vzniku elektrostatického výboje	11
1.1. Vznik elektrostatického náboje (ESD)	11
1.2. ESDS při ruční a strojní manipulaci	13
1.3. Elektrostatické napětí na pracovištích	16
1.4. Latentní vady způsobené ESD	17
1.5. Teoretické možnosti omezení ESD	18
1.5.1. Značení ve vyhrazeném prostoru EPA (ESD protected area)	18
1.5.2. Identifikace ESD citlivých součástek	20
1.5.3. Specifické předměty chránící před ESD	21
1.5.4. Konstrukce prostoru EPA	25
1.5.5. Kompenzace elektrostatického náboje	27
2. Detekce a měření elektrostatického pole a ESD	29
2.1. Vznik ESD ve výrobních prostorech	29
2.1.1. Oddělení Panelů	29
2.1.2. Oddělení Modulů	32
2.2. Způsoby zjišťování ESD a elektrostatického pole	33
2.2.1. Měření rezistence	33
2.2.2. Měření elektrostatického pole	36
2.3. Měření elektrostatického pole na pracovišti při ruční manipulaci s ESDS (moduly LCD)	38
2.3.1. Měření samotné pásky	38
2.3.2. Měření pásky umístěné v systému ochrany před ESD	39

2.4. Měření elektrostatického pole na pracovišti při strojní manipulaci s ESDS (panely LCD)	40
2.5. Měření povrchové rezistivity	41
3. Analýza materiálů z hlediska ESD	43
3.1. Rozdělení materiálů podle naměřených hodnot povrchové rezistivity	43
3.2. Materiály používané v chráněném prostoru	44
3.3. ESD materiály na dnešním trhu	46
4. Opatření proti vzniku ESD	47
4.1. Provedení konkrétních opatření na pracovišti pro ruční manipulaci s ESDS (moduly LCD)	47
4.2. Návrh a provedení konkrétních opatření na pracovišti se strojní manipulací s ESDS (panely LCD)	48
4.3. Zhodnocení k měření povrchové rezistivity	50
5. Závěr	51

Seznam symbolů a zkratk

ESD	elektrostatický výboj (electrostatic discharge)
ESDS	součástka citlivá na elektrostatický výboj (Electrostatic Discharge Sensitive Device)
EPA	prostor, ve kterém lze manipulovat se součástkami ESDS s přijatelným rizikem poškození, které souvisí s elektrostatickým výbojem nebo poli (ESD protected area)
LCD	zobrazovací zařízení na bázi tekutých krystalů (Liquid crystal display)

Úvod

Všeobecně se s elektrostatickým výbojem setkáváme neustále, aniž bychom si ho mohli všimnout. Nicméně nás tento jev může významně ovlivnit, a proto musíme na jeho negativní účinky brát velký zřetel.

Elektrostatický náboj není jen výsadou elektrotechnického průmyslu, ale najdeme ho všude tam, kde dochází k tření, odvíjení, přesypání a oddělování materiálů od sebe. Zvláště je velmi nebezpečný v blízkosti hořlavých výparů či plynů, jelikož hrozí vznícení a možná exploze těchto látek.

O antistatice se vážně začalo mluvit až s příchodem nových polovodičových technologií, jako tranzistory s různými typy kanálů řízených elektrickým polem (FET, MOS, MIS, atd.). Tyto součástky se vyznačují vysokým vstupním odporem, velkým zesílením a poměrně malou spotřebou. Na druhou stranu však mají velice citlivý vstup na rušivý elektrostatický náboj, a proto se začala objevovat nevysvětlitelná selhání jednotlivých součástek, nebo celých zařízení.

Vlivem těchto „záhadných“ poruch se zahájilo hledání příčin a následně dochází ke stanovení pravidel a opatření proti účinku těchto vlivů. Na trhu se objevuje ucelený sortiment ochranných a měřicích zařízení, který dokáže odhalit a eliminovat elektrostatický náboj ještě před tím, než ohrozí nebo zničí elektrostaticky citlivou součástku.

Firma OPTREX Czech a.s. ve Vrchlabí (dále jen Optrex) se zabývá výrobou LCD (Liquid crystal display). Displej z tekutých krystalů je tenké a ploché zobrazovací zařízení skládající se z velkého počtu barevných nebo monochromatických pixelů seřazených před zdrojem světla nebo reflektorem.

Důležité faktory pro hodnocení LCD jsou rozlišení, rozměry zobrazované plochy, doba odezvy, typ mřížky (pasivní nebo aktivní), pozorovací úhel, podpora barev, jas, kontrast a poměr stran.

Produkce ve firmě Optrex je strukturovaná tak, že začíná oddělením Panelů (PNL), kde se zhotovuje samotný displej a na něj navazují Moduly (MDL). Zde se k LCD připojí ovládací zařízení tak, aby zákazník mohl modul bez problému připojit k standardizovanému výstupnímu zařízení.

V současné době se antistatická pracoviště převážně nacházejí na dílnách Modulů, kde se manipuluje s elektrostaticky citlivými součástkami. Avšak s postupem doby, kdy stoupá poptávka po lepších zobrazovacích vlastnostech a roste konkurence, se musí vyvíjet nové technologie LCD. Tento fakt zvyšuje nárok na výrobní proces, a proto se vyhrazená pracoviště EPA začínají zavádět i na oddělení Panelů.

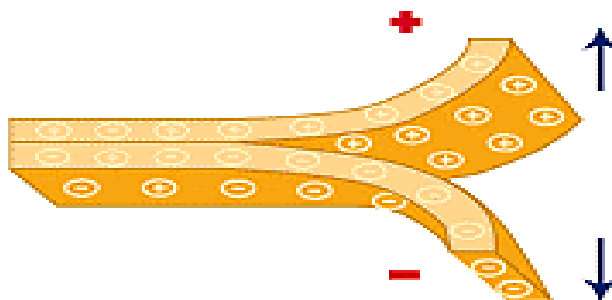
1. Popis vzniku elektrostatického výboje

Elektrostatický výboj ESD je vlastně rychlý přenos elektrostatického náboje mezi dvěma objekty. Bude-li se vyskytovat nahromaděný náboj na povrchu izolačního materiálu a přiblíží-li se k němu na určitou vzdálenost jiné těleso, dojde při tom k vyrovnání potenciálů obou povrchů. Neutralizaci nábojů mezi objekty doprovází protékající proud, který disponuje velkým tepelným účinkem vzhledem k elektrostaticky citlivým součástkám.

1.1. Vznik elektrostatického náboje (ESD)

Z teorie stavby atomu vyplývá, že se skládá z jádra, kde jsou kladné protony a neutrony bez náboje, a obalu, kde jsou záporné elektrony. V neutrálním atomu je součet negativně nabitých obíhajících elektronů rovný součtu pozitivních nábojů v jádru. Každý materiál složený z neutrálních atomů je také neutrální. Vlivem určitých podmínek, některé atomy nemají dost přitažlivé síly mezi jádrem a obíhajícími elektrony pro udržení všech elektronů na oběžné dráze. V tomto případě vnější obíhající elektrony, které jsou nazývány valenčními, mohou být přitaženy k vedlejšímu atomu s větší přitažlivou silou. V ochuzeném atomu o elektrony zůstává nadbytek pozitivních nábojů a stane se z něj pozitivně nabitá částice. Naopak některé atomy mají tendenci přibrat další elektrony, což způsobí nevyváženost a vznik atomu s negativním nábojem. Každý materiál s nadbytkem negativních molekul se stává negativně nabitý a obráceně materiál s nadbytkem pozitivních molekul se stává pozitivně nabitý viz lit. [5].

Příčinou statického náboje jsou dva jevy, první z nich je tření, resp. spojení a oddělení povrchů dvou odlišných materiálů, viz lit. [4] obr. 1. Druhý je pak indukčním nabíjením, které probíhá při přiblížení elektrostatického pole k vodivému materiálu.



Obr. 1 Vznik náboje

Díky tření a oddělování izolačních materiálů od sebe dochází k vytvoření tzv. triboelektriky (tribo=>řecky tření). Dochází přitom k pohybu elektronů z jedné látky na druhou. Přebytek elektronů se pak projeví záporným nábojem a nedostatek kladným nábojem. Pokud stoupá tlak nebo rychlost spojení a oddělování, stoupá také statický náboj projevující se elektrostatickým potenciálem viz lit. [4] obr. 2.



Obr. 2 Rychlé oddělení materiálu

Seznam různých látek vzhledem k jejich schopnosti udržet si elektron ve valenční vrstvě při triboelektrickém jevu znázorňuje tab. 1 viz lit. [6]. Zde jsou v modrém poli seřazeny materiály, které ztrácejí elektron a v červeném poli naopak. Vezmeme-li například azbest (Asbestos, modré pole) a budeme o něj třít teflon (červené pole) vygenerujeme

Most Positive (+)		Most Negative (-)	
Air	+++ +	Silicone Rubber	- - - -
Human Hands, Skin		Teflon	
Asbestos		Silicon	
Rabbit Fur		Kel-F (PCTFE)	
Glass		Polyvinylchloride (Vinyl)	
Human Hair		Polypropylene	
Mica		Polyethylene	
Nylon		Polyurethane	
Wool		Polyvinylidene chloride (Saran)	
Lead		Cellophane Tape	
Cat Fur		Orlon, Acrylic	
Silk		Polystyrene	
Aluminum		Celluloid	
Paper		Polyester	
		Acetate, Rayon	
	Sulfur		
	Gold, Platinum		
	Synthetic Rubber		
	Brass		
	uv Resist		
	Silver		
	Copper		
	Nickel		
	Mylar		
	Hard Rubber		
	Rubber Balloon		
	Amber		
	Sealing Wax		
	Lucite		
	Wood		
	Steel		
	Cotton		

Tab. 1 Polarizace materiálu

na azbestu kladný náboj, protože ztratí elektrony. Zato na teflonu bude záporný, jelikož pojme volné elektrony z azbestu. Na spodu tab. 1 se nacházejí látky, které mají schopnost nabít se buď kladně nebo záporně. Záleží na tom, jaký materiál s nimi přijde do kontaktu. Můžeme si všimnout, že nabíjení nemá nic společného s vodivostí látky. Kvůli složitostem spojených se zkoušením řízeného nabíjení materiálů, dostává každý odborník odlišné výsledky, proto lze vidět různé seřazení látek ve stupnici nabíjení. Jeden z důvodů je ten, že měření ovlivňuje velké množství faktorů, které ovlivní vytváření náboje. Uvedená data v tab. 1 jsou vytvořena z několika zdrojů publikovaných na webu [6].

Druhou příčinou výskytu náboje na povrchu materiálu je indukce. Každý silně nabitý předmět vytváří kolem sebe elektrostatické pole. Pokud se do takového pole dostane izolant nebo neuzemněný vodivý objekt, dojde k nabíjení tohoto objektu indukci. Při tomto nabíjení může dojít až k jiskrovému přeskoku, který může způsobit nežádoucí účinky.

Existuje mnoho způsobů, jak předejít elektrostatickému nabíjení a také mnoho způsobů na jeho dodatečné zmenšení. Základem však musí být znalost tohoto náboje, respektive možnost objektivně změřit jeho velikost a polaritu.

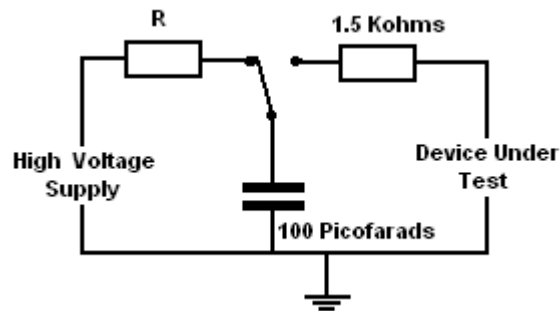
1.2.ESDS při ruční a strojní manipulaci

Defekty způsobené elektrostatickým výbojem jsou závislé na velikosti náboje a na svodové cestě, kterou je vyrovnáván rozdílný potenciál mezi dvěma body. Rozsah poškození ESDS určuje také rychlost protékajícího proudu. Ze vztahu $I=dQ/dt$ viz lit. [1] vyplývá, že čím je menší čas dt , tím bude procházející proud I větší. Skutečný výboj trvá přibližně 1 nanosekundu viz lit. [5]. To způsobí velké energetické zatížení elektrostaticky citlivé součástky. U čipů integrovaného obvodu, budiče LCD, může dojít k tepelným, či dielektrickým vadám. V případě samotného LCD dochází ke špatné orientaci krystalu, což se projeví při kontaktování a prosvícení LCD světlými pruhy. V horším případě dochází k vypaření ITO vrstvy nebo proražení buňky.

Aby nedocházelo k těmto defektům, byly definovány tři základní modely, které testují odolnost ESDS viz lit. [5]:

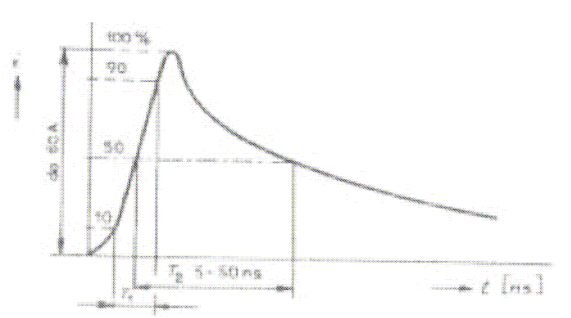
- a) Model lidského těla HBM (Human Body Model)

Vady nebo zničení může způsobit nabitá osoba přicházející do kontaktu se součástkou, která má jeden i více hrotů přímo či přes odpor spojen k zemi. Tento model je nejstarší a nejběžnější při klasifikaci citlivosti součástky na elektrostatický náboj. Elektrické schéma tohoto modelu představuje sériová kombinace rezistoru 1,5 k Ω a kondenzátoru 100 pF na obr. 3.



Obr. 3 Zapojení HBM

Vlastní test spočívá v nabíjení a vybíjení součástky normou předepsanými pulsy a následném vyhodnocení její charakteristiky viz obr. 4, která vykazuje změny při zničení testované součástky.



Obr. 4 Charakteristika pro HBM U = 5 kV

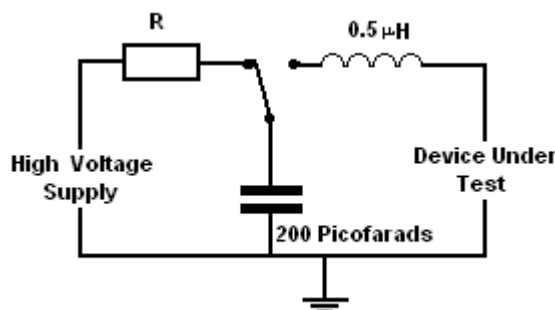
Nabíjecí napětí se postupně zvyšuje a zjišťuje se napětí, které součástka ještě vydrží bez degradace. Citlivost součástky na elektrostatický výboj je pak klasifikována dle následujících tříd viz lit. [6] tab. 2.

Class	Voltage Range
Class 0	< 250 volts
Class 1A	250 volts to < 500 volts
Class 1B	500 volts to < 1,000 volts
Class 1C	1000 volts to < 2,000 volts
Class 2	2000 volts to < 4,000 volts
Class 3A	4000 volts to < 8000 volts
Class 3B	> = 8000 volts

Tab. 2 Klasifikace odolnosti

b) Model strojový MM (Machine Model)

Vady nebo zničení může způsobit náboj na základní desce zařízení, který je vybit k zemi (při nízkém odporu) přes jeden nebo více hrotů. Zařízením se zde myslí nářadí, stroje, přístroje a přípravky. Tato zařízení mohou být nabita triboelektricky – třením nebo indukci. Elektrické schéma tohoto modelu představuje sériová kombinace kondenzátoru 200 pF a indukčnosti 0,5 mH bez rezistoru dle obr. 5.



Obr. 5 Zapojení MM

Testování součástek je obdobné jako v předchozím případě. Klasifikace odolnosti je uvedena viz lit. [6] tab. 3.

Class	Voltage Range
Class M1	< 100 volts
Class M2	100 volts to < 200 volts
Class M3	200 volts to < 400 volts
Class M4	> or = 400 volts

Tab. 3 Klasifikace odolnosti

c) Model nabíjené součástky CDM (Charged Device Model)

Tento model definuje vady vlivem elektrostatického výboje, které mohou být způsobeny automatizovanými stroji, např. osazovacími automaty, roboty, tiskárnami, atd. Stroje mohou být buď nabíjecím generátorem nebo hrotem uzemnění pro výboj nabitého zařízení. Klasifikace odolnosti je uvedena viz lit [6] tab. 4.

Class	Voltage Range
Class C1	<125 volts
Class C2	125 volts to < 250 volts
Class C3	250 volts to < 500 volts
Class C4	500 volts to < 1,000 volts
Class C5	1,000 volts to < 1,500 volts
Class C6	1,500 volts to < 2,000 volts
Class C7	=>2,000 volts

Tab. 4 Klasifikace odolnosti

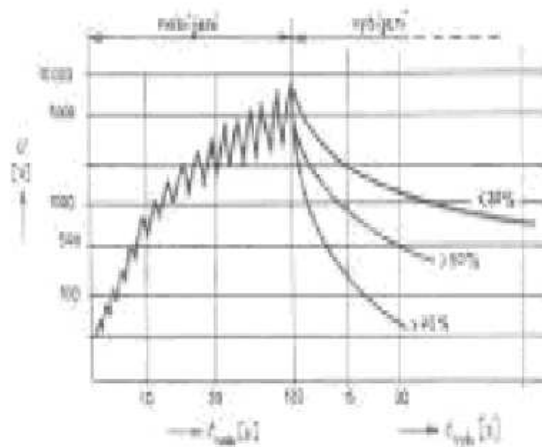
1.3. Elektrostatické napětí na pracovištích

Následující tab. 5 uvádí napětí statické elektřiny generované na pracovištích výroby a montáže elektroniky bez antistatického ošetření. Je z ní patrný také velký vliv relativní vlhkosti vzduchu na velikost tohoto napětí.

	Napětí náboje (V)	
	Relativní vlhkost 10-20%	Relativní vlhkost 65-90%
Přecházení po koberci	35000	1500
Přecházení po PVC podlaze	12000	250
Pracovník u pracoviště	6000	100
PVC obálky na pracovní instrukce	7000	600
Běžné plastové sáčky na pracovišti	20000	1200
Pracovní křeslo vycpané uretanovou pěnou	18000	1500

Tab. 5 Napětí generované na pracovištích

Průběh nabíjení a vybíjení je patrný z následujícího grafu na obr. 6, který ukazuje vzrůst náboje při chůzi po koberci ze syntetických materiálů (při relativní vlhkosti $\varphi = 40\%$) a jeho následné vybití při různých relativních vlhkostech viz lit. [5].



Obr. 6 Závislost napětí na relativní vlhkosti

1.4. Latentní vady způsobené ESD viz lit. [5]

Poškození způsobené statickou elektřinou nemusí způsobovat zničení součástky, ale může vyvolat latentní vadu této součástky. Zde jsou některá hlediska, která musí být brána v úvahu:

- Latentní vady vlivem ESD mohou být vyvolány dokonce i tam, kde není žádný kontakt osob s citlivými součástkami během výroby, zkoušek nebo použití.
- Existuje i kumulativní degradace, která je vyvolána nízkými expozicemi elektrostatického náboje vlivem kontaktu osob nebo jinými prostředky.
- Není znám způsob zkoušení možných latentních vad vlivem ESD.
- Konečný uživatel je částečně zranitelný k účinkům ESD vzhledem k složitému výrobnímu cyklu, který zahrnuje dodavatele, výrobu, montáž součástek a prvků.
- Latentní vady vlivem ESD jsou velmi citlivé k okolním podmínkám a nejsou pravděpodobně identifikovatelné metodou analýzy vady.

1.5. Možnosti omezení ESD

Elektrostatický výboj a vygenerovaný náboj dokáže zničit či degradovat elektrostaticky citlivou součástku, aniž by byl na pracovišti zaregistrován, proto je hlavní ochranou prevence.

1.5.1. Značení ve vyhrazeném prostoru EPA viz lit. [2]

Základním opatřením je stanovení hranic vyhrazeného prostoru, kde lze s ESD součástkami manipulovat s přijatelným rizikem poškození. Takto vymezená místa se označí dle obr. 7 před vstupem do prostoru a uvnitř se použije štítek viz obr. 8, tak aby byl zřetelně viděn z každého pracoviště. Pokud je to možné, musí nápisy ve shodě s obr. 9 vyznačovat hranice prostoru EPA.



Obr. 7 Varovný nápis vně vyhrazeného prostoru

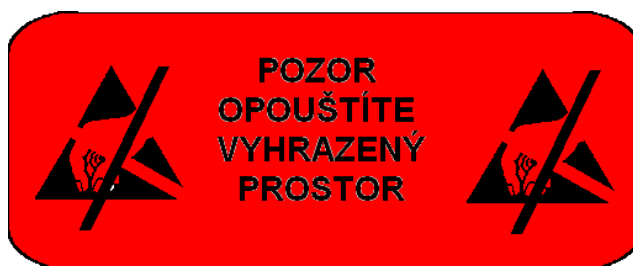


Obr. 8 Varovný nápis uvnitř vyhrazeného prostoru



Obr. 9 Hranice vymezeného prostoru

Pokud je to možné, měla by být značka na obr. 10 zřetelně viditelná pro personál před opuštěním prostoru EPA. Štítek musí mít minimální rozměr 300 mm × 150 mm.



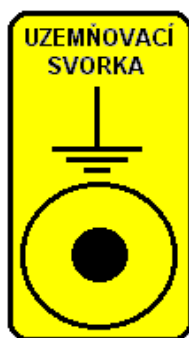
Obr. 10 Příklad nápisu východu z prostoru EPA

Dále se ve vymezeném prostoru EPA značí přístroje, měřicí přípravky a další předměty jako jsou stoly, židle a manipulační vozíky. Toto zařízení se označí podle značky na obr. 11.



Obr. 11 Označení přípravku, zařízení, přístroje

Poslední značka na obr. 12, vyskytující se v prostoru EPA je označení uzemňovacích svorek EBP (EPA Ground bonding point), ke které se mohou připojovat přístroje.



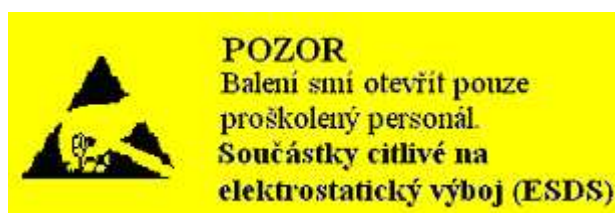
Obr. 12 Příklad štítku pro uzemňovací svorku EBP

1.5.2. Identifikace ESD citlivých součástek

Pokud součástky ESDS jsou značeny, musí být značka ve shodě s obr. 13. Toto značení může být doplněno dalšími informacemi viz Obr 14, avšak ne takovými, aby odváděly pozornost od varovných značek.



Obr. 13 Příklad zjednodušené značky ESDS



Obr. 14 Další informace na štítku

Jestliže se používá balicí materiál, měl by být schválen pro používání ve vyhrazených prostorech a označen dle obr. 15.



Obr. 15 Označení obalu

Za symbol „*“ se dosazuje značení primární funkce obalu:

- S Stínění proti elektrostatickému výboji
- D Elektrostaticky ztrátový
- L Málo se nabíjející
- C Elektrostaticky vodivý

1.5.3. Specifické předměty chránící před ESD viz lit. [2]

Specifické předměty chránící před ESD, pokud jsou používány v rámci prostoru EPA, musí mít charakteristické vlastnosti, které jsou měřeny danými zkušebními metodami dle normy ESD. Měření probíhá za určitých podmínek (např. předepsaná teplota na pracovišti, rel. vlhkost, apod), aklimatizace je alespoň 24 hodin.

Všechny pracovní povrchy a skladovací regály, na kterých mohou být umístěny nechráněné součástky ESDS, jsou připojeny k uzemnění prostoru EPA přes odpor $1\text{M}\Omega$. Výsledná rezistance při měření musí být ve shodě s tab. 6 (Pracovní povrchy včetně skladovacích regálů, roštů a etážových vozíků), tj. $7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 1 \times 10^9 \Omega$. Výjimku tvoří pracovní povrchy zařízení napájených ze sítě, kde je rezistance k zemi EPA menší než $1 \times 10^4 \Omega$. Pokud takovéto plochy jsou v kontaktu s LCD nebo modulem, jsou opatřeny disipativní fólií. Tento disipativní materiál má definovanou povrchovou rezistanci, která zaručí bezpečný svod náboje k zemi.

Podlahy mají rezistanci mezi povrchem a uzemněním EPA: $\leq R_g \leq 1 \times 10^9 \Omega$. Neexistuje minimální hodnota rezistance pro ochranu součástek ESDS. Avšak minimální hodnota rezistance může být požadována pro ochranu z důvodu bezpečnosti. Pro podlahy v prostoru EPA, kde se manipuluje s moduly, které mají čip (COG, U-V-seal, H-S apod) je stanovena rezistance mezi povrchem a uzemněním EPA: mezi $7,5 \times 10^5 \Omega$ a $3,5 \times 10^7 \Omega$.

Všechny části sedadla, které mohou být v kontaktu s lidským tělem při běžném používání, musí mít rezistanci $R_g \leq 1 \times 10^{10} \Omega$ viz tab. 6 (Sedadla, židle) k připojovací svorce podlahy nebo k uzemnitelnému bodu. Pokud je podlaha použita jako součást systému uzemnění, musí alespoň dvě kola nebo nohy zajišťovat cestu k uzemnění prostoru EPA. Jinak jsou židle samostatně připojeny k zemnicímu bodu přes $1 M\Omega$. Ve vyhrazeném prostoru se smí používat pouze židle nakoupené s atestem pro použití v tomto prostoru (EPA, ESDS). Použití jiných židlí případně sedadel není dovoleno.

Pracovní pláště, kalhoty a další pracovní šaty musí úplně pokrývat všechny spodní oděvy v oblasti paží a trupu. Mezi všemi částmi oděvu je nutná elektrická kontinuita, tzn. řádné zapnutí oděvu. Čepice (kapuce) musí zcela pokrývat vlasy pracovníka, které by jinak mohly přijít do styku s ESDS. Oděvy musí mít charakteristiky vnějšího povrchu $\leq R_p \leq 1 \times 10^{12} \Omega$ dle tab. 6 (Oděvy). Pokud je z výrobních důvodů (např. čistota) nutný specifický oděv, musí současně odpovídat výše uvedeným nárokům. Ve vyhrazeném prostoru se smí používat pouze oděvy nakoupené s atestem a označením dle obr. 14 pro použití v tomto prostoru (EPA, ESDS). Použití jiných oděvů není dovoleno. Vhodný oděv je k dispozici pro všechny personál, včetně návštěvníků. Oděvy splňující požadavky na ESD jsou jasně vyznačeny např. značkou dle obr. 14.

Rukavice a návleky na prsty jsou nakoupené s atestem a označením pro použití v tomto prostoru (EPA, ESDS) a mají charakteristiky dle tab. 6 (Rukavice a prstové návleky). Použití jiných rukavic nebo návleků není dovoleno. Návleky na prsty se mění min. 3 x za směnu a vždy při jejich znečištění nebo při novém zahájení práce (např. po pracovní přestávce). Rukavice je nutno měnit vždy při jejich znečištění. Případně mohou být z výrobních důvodů (např. čistota) předepsány i kratší intervaly k výměně.

Náramek je vyroben z pásku, který těsně obepíná zápěstí a z kabelu, který připojuje náramek k uzemňovací svorce. Celková rezistance od ruky po uzemňovací svorku je stanovena dle tab. 6 (Náramky). Náramek, propojovací nýty ani kabel náramku nesmí být zjevně poškozen a je nutné, aby umožňoval rychlé uvolnění spoje v případě nebezpečí. Ve vyhrazeném prostoru se smí používat pouze náramky nakoupené s atestem pro použití v tomto prostoru (EPA, ESDS). Náramek musí při používání pevně obepínat zápěstí holé ruky. Použití jiných náramků není dovoleno.

Ve vyhrazeném prostoru se smí používat pouze obuv nakoupená s atestem pro použití v tomto prostoru (EPA, ESDS). Použití jiné obuvi pro pravidelnou práci není dovoleno. Pro nepravidelnou práci, návštěvy apod. je možno použít speciálních návleků na obuv nebo speciálních uzemňovacích pásků. Obuv musí být konstruována tak, aby rezistance od příslušné osoby k uzemnění EPA byla pro každý kus ve shodě s tab. 6 (Nasazená obuv na kovové desce).

Nástroje určené pro používání v prostoru EPA by měly být konstruovány tak, aby negenerovaly nebo neudržovaly elektrostatický náboj a rovněž byly ve shodě s tab. 6 (Nástroje). Všechny nástroje a zařízení (elektrické, mechanické nebo pneumatické), jsou konstruovány tak, aby jejich libovolná neizolující část, která se může dotknout součástky ESD, byla na zemním potenciálu prostoru EPA. Například elektrické páječky používané v rámci prostoru EPA musí mít uzemněný hrot a podléhá periodické kontrole.

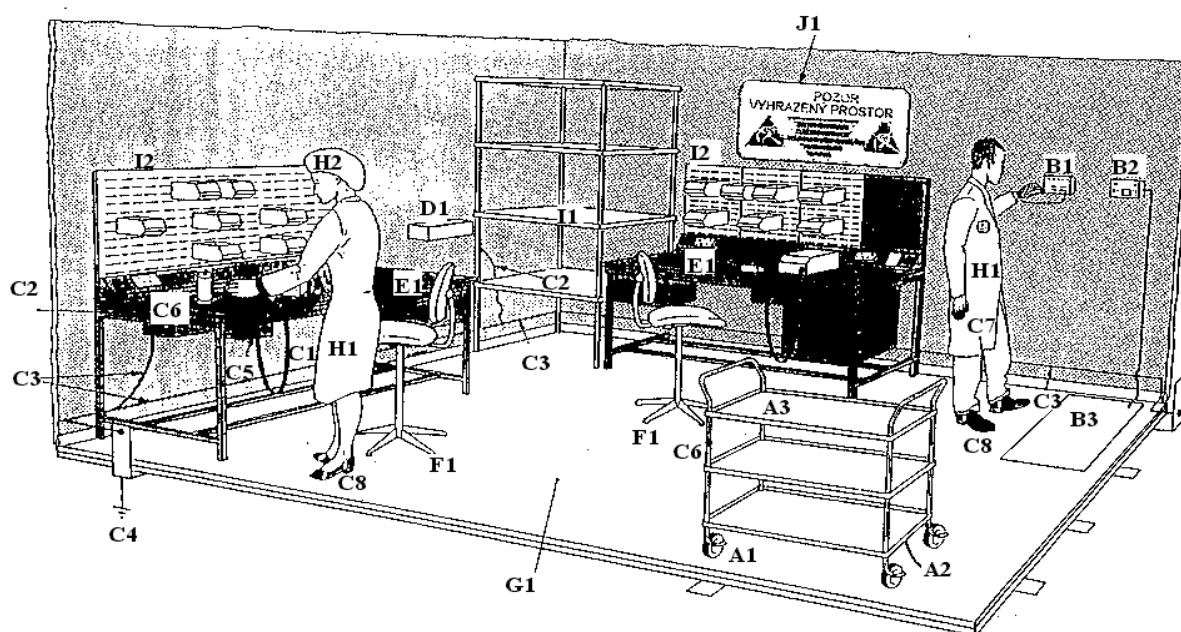
Vozíky na transport nechráněných součástek ESDS, nebo pohyblivé pracovní povrchy musí splňovat stejná kritéria, jako platí pro pracovní povrchy a skladovací regály. Dále obsahují uzemnitelný bod. Ve vyhrazeném prostoru je dovoleno používat pouze vozíky a podvozky speciálně určené k tomuto účelu a vyrobené s dodatečnou úpravou, jako je uzemněný povrch, kolečka nebo zemnicí stěrač, který zajistí bezpečný svod vygenerovaného náboje k zemi.

Požadavky jednotlivých položek	Povrchová rezistance R_s nebo rezistance celé délky R_e nebo rezistance mezi dvěma body R_p Ω	Rezistance k zemi EPA nebo k uzemnitelnému bodu R_g Ω	Pokles náboje (viz poznámku 5)
Pracovní povrchy včetně skladovacích regálů, roštů a etážových vozíků	$1 \times 10^4 \leq R_p \leq 1 \times 10^{10}$ Viz poznámku 6	$7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 1 \times 10^9$ viz poznámku 6	
Podlahy		$\leq R_g \leq 1 \times 10^9$ Minimální hodnota viz poznámky 1 a 2	
Sedadla, židle		$R_g \leq 1 \times 10^{10}$	
Oděvy	$\leq R_p \leq 1 \times 10^{12}$ Minimální hodnota viz poznámku 1		Na 10% počáteční hodnoty (maximálně 1000V) za méně než 2 sec
Rukavice a prstové návleky			Na 10% počáteční hodnoty (maximálně 1000V) za méně než 2 sec
Náramky nenasazené		$R_p \leq 1 \times 10^{10}$	
Kabely k náramkům	$7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 5 \times 10^6$ Viz poznámku 3		
Nástroje	viz poznámku 4	$R_p \leq 1 \times 10^{10}$ viz poznámky 1 a 4	Na 10% počáteční hodnoty (maximálně 1000V) za méně než 2 sec
Ionizátor			Pokles z 1000V na 100V za 20 sec maximálně
Požadavky systému			
Náramky nasazené		$7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 3,5 \times 10^7$	
Nasazené rukavice nebo návleky na prsty		$7,5 \times 10^5 \leq R_g \leq 1 \times 10^{11}$	
Nasazená obuv na kovové desce		5×10^4 (1×10^5 na botu) $\leq R_g \leq 1 \times 10^8$ viz poznámku 2	
POZNÁMKY			
1 Neexistuje minimální hodnota rezistance pro ochranu součástek ESDS. Avšak minimální hodnota rezistance může být požadována pro ochranu z důvodu bezpečnosti (např. zařízení je připojeno k síťovému napájení).			
2 Obuv/podlahové systémy jsou použity jako základní prostředky uzemnění pracovníků, hodnota této kombinace být mezi $7,5 \times 10^5 \Omega$ a $3,5 \times 10^7 \Omega$ (viz 5.5)			
3 Maximální hodnoty rezistance k zemi EPA jsou zvýšeny pro zajištění shody s minimální hodnotou rezistance $7,5 \times 10^5 \Omega$ pro AC 250V nebo DC 500V (jmenovitá hodnota: $1 \times 10^6 \Omega$). Rezistory musí mít minimální zatížitelnost 1/4W pro AC 250V nebo DC 500V.			
4 Viz IEC 61340-5-2			
5 Povinné pouze když povrchová rezistance, rezistance mezi body nebo rezistance k uzemnitelnému bodu je větší než $10^{10} \Omega$ nebo pokud jde o nehomogenní tkaný materiál nebo o jinou konstrukci obsahující izolační oblasti.			
6 Standardní zemnění přes rezistor s jmenovitou hodnotou: $1 \times 10^6 \Omega$. Dovoleno je však i použití povrchů, které jsou „natvrdo uzemněny“, tj. rezistance k zemi EPA je menší než $1 \times 10^4 \Omega$. Pokud však tento povrch je v kontaktu s výrobkem (LCD, modul), musí být polepeny disipativní fólií jejíž povrchová rezistance je mezi $1 \times 10^5 \Omega$ a $1 \times 10^{11} \Omega$. U pracovních ploch zařízení s pohyblivým odpojitelým přívodem (zástrčkou), musí být pracovní plochy vždy samostatně Paralelně připojeny k zemi EPA přes rezistor s jmenovitou hodnotou: $1 \times 10^6 \Omega$ (i po odpojení zařízení (zemnicího vodiče), zůstává plocha chráněna).			

Tab. 6 Požadavky na předměty chránící před ESD

1.5.4. Konstrukce prostoru EPA viz lit. [2]

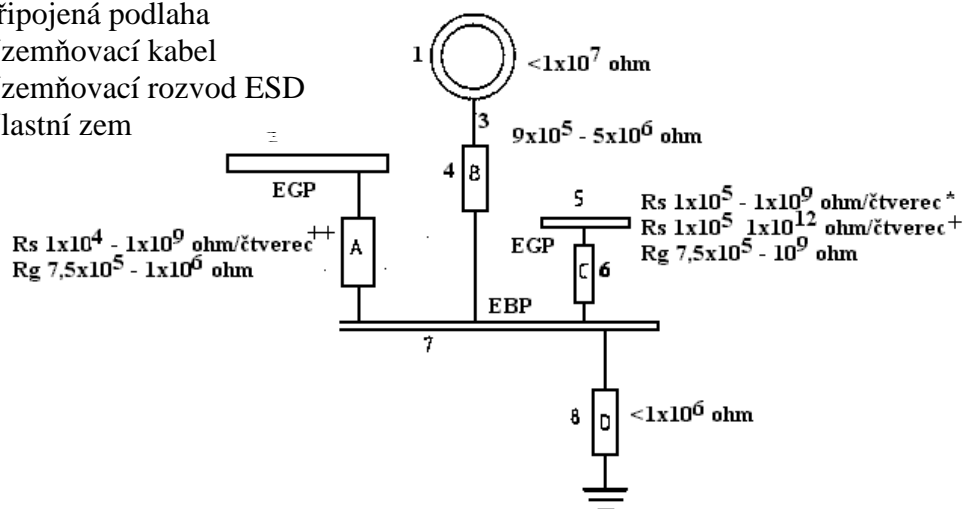
Příklad typického prostoru EPA je ukázán na obr. 16 a schéma zapojení systému zemnění takového prostoru EPA je na obr. 17.



Obr. 16 Příklad vyhrazeného prostoru s typickým vybavením

- A1 Uzemňovací kolečka
- A2 Uzemňovací stěrač
- A3 Uzemňovací povrch
- B1 Zkoušeč náramku
- B2 Zkoušeč obuvi (podpatku)
- B3 Deska zkoušeče obuvi
- C1 Kabel náramku a náramek
- C2 Uzemňovací kabel
- C3 Uzemňovací rozvod pro ESD
- C4 Zem
- C5 Uzemňovací svorka
- C6 Uzemňovací bod
- C7 Rukavice, prstové návleky
- C8 Pásy pro prsty na nohou a patu
- D1 Ionizátor
- E1 Pracovní povrchy
- F1 Sedadlo s uzemněnými nohama a opěrkami
- G1 Podlaha pro uzemnění personálu
- H1 Oděv
- H2 Pokrývka hlavy
- I1 Police s uzemněnými povrchy
- I2 Uzemněné rošty
- J1 Nápis pro vyhrazený prostor

- 1 Uzemňovací náramek
- 2 Pracovní povrch
- 3 Kabel náramku
- 4 Diskrétní rezistor
- 5 Připojená podlaha
- 6 Uzemňovací kabel
- 7 Uzemňovací rozvod ESD
- 8 Vlastní zem



Obr. 17 Zapojení typického vyhrazeného prostoru (EPA)

Uzemňovací rozvod prostoru EPA by měl být připojen k zemi prostoru EPA a poskytovat malou rezistanci k zemi EPA ($< 2 \Omega$). Pokud je k dispozici, musí být použita síťová ochranná zem.

Pro každou pracovní oblast nebo pracovní povrch je pro náramek k dispozici snadno dosažitelná jednoúčelová uzemňovací svorka. Pro operátory a návštěvníky musí být k dispozici dostatečný počet uzemňovacích svorek. Uzemňovací svorka je připojena k uzemňovacímu rozvodu prostoru EPA přes rezistanci, která nepřesahuje $1 \text{ M}\Omega$ dle obr. 17. Systém propojení uzemňovacích svorek nesmí být kompatibilní se žádným jiným propojovacím systémem, použitým pro libovolný účel, jiný než uzemnění v prostoru EPA. Pokud je kabel připojen k uzemňovací svorce a je používán, musí být elektrické vodivé části propojovacího rozhraní pokryty izolačním materiálem. Uzemňovací svorka musí být zřetelně označena, jak je již ukázáno na obr. 12.

Pro vytvoření elektrického spojení mezi uzemnitelnými body a uzemňovacím rozvodem prostoru EPA jsou používány uzemňovací kabely prostoru EPA. Pokud je v uzemňovacím kabelu prostoru EPA použit jeden rezistor, musí být umístěn v blízkosti uzemnitelného bodu. Pokud je použit více než jeden rezistor, pak rezistor o minimální hodnotě rezistance rovné jedné polovině celkové rezistance umístíme blíže k uzemnitelnému bodu. Uzemňovací kabel prostoru EPA a jeho připojení na uzemnitelný bod, pokud jsou přístupné, musí být pokryty izolačním materiálem.

1.5.5. Kompenzace elektrostatického náboje viz lit. [4]

Statický náboj izolačního tělesa se dá velmi účinně neutralizovat ionizací. Princip ionizace je elektrické rozštěpení molekul vzduchu na pozitivní a negativní ionty. Ionizační přístroje vytváří proud takto rozštěpených molekul kolem nabitého materiálu. Náboj materiálu si přitáhne náboje s opačnou polaritou, které se pak vykompenzují. Ionizační přístroje pracují na třech základních principech :

- Ionizátory pracující na principu jaderné ionizace jsou velmi drahé a náročné na údržbu (obsahují polonium 210, které se však rozpadá a musí být alespoň jednou ročně vyměněno), proto je jejich užití malé.
- Ionizátory pracující na principu elektrické ionizace vzduchu, které jsou ve firmě Optrex nejrozšířenější. Takovýto ionizátor obsahuje jeden nebo více kovových hrotů, na které je přivedeno vysoké napětí (typ. 4-7 kV). Tyto hroty jsou pak umístěny v proudu vzduchu (ventilátor), který strhává rozštěpené molekuly vzduchu a fouká je na kompenzovaný materiál. Účinnost a rychlost takového ionizátoru je dána velikostí ionizačního napětí, počtem hrotů, rychlostí proudění a vzdáleností od kompenzovaného materiálu
- Přístroje na bázi indukce pracují obvykle jako kolmá tyč připojená na vysoké napětí, s řadou přidružených uzemněných hrotů. Touto metodou nelze spolehlivě dosáhnout úplné neutralizace, vždy zůstane nějaký zbytkový náboj. Přitom vlastní neutralizace je zdlouhavá. Používají se především ke kompenzaci velmi vysokých nábojů např. v papírenském průmyslu.

Ionizátory musí umožňovat, aby náboj libovolné polarity na předmětech byl snížen a udržován na takové hodnotě, že příslušné napětí je menší než 100 V dle tab. 6 (Pokles náboje). Ve vyhrazeném prostoru je dovoleno použít výhradně „vyvážené“ ionizátory, které dodávají konstantní a shodné proudy záporných a kladných iontů s výjimkou automatických prostředků pro rozlišování polarity a velikostí náboje, které vyrovnávají okamžitou nerovnováhu. Ionizace nesmí být použita jako náhrada za náramky nebo ochranné povrchy a podlahy. Všechny typy ionizátorů, určených

pro použití, musí mít bezpečnostní schválení příslušného národního orgánu. V rámci vyhrazeného prostoru nesmí ionizující zařízení a přívody k tomuto zařízení generovat kontinuální ani impulsní elektrické pole vně zařízení větší, než je ekvivalent potenciálu pracovního povrchu 100 V. Jsou-li z hlediska výrobního procesu nutné odchylky, příslušný pracovník procesu je přesně specifikuje v příslušné dokumentaci k výrobě (Uspořádání pracoviště, Seznam a umístění přístrojů v EPA).

2. Detekce a měření elektrostatického pole a ESD

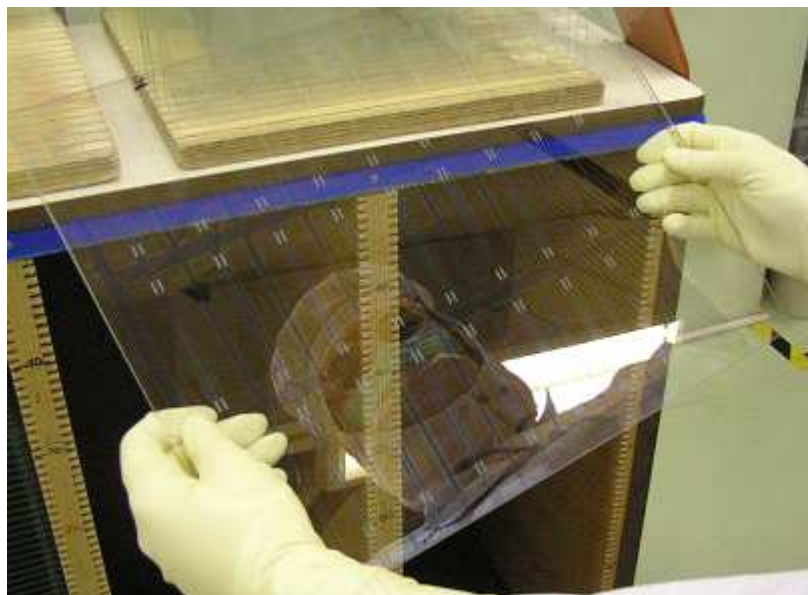
Jak již bylo zmíněno v úvodu, elektrostatický náboj ve výrobním procesu nejčastěji vzniká při tření a oddělování dvou materiálů. Velikost náboje je závislá na druhu materiálů, tlaku mezi nimi, rychlosti odtržení a relativní vlhkosti. Tyto zmíněné děje ve výrobním procesu odhalují podezřelá místa, kde se může tvořit elektrostatický náboj.

2.1. Vznik ESD ve výrobních prostorech

Jelikož ve firmě OPTREX prochází LCD složitým výrobním procesem jak na oddělení Panelů, tak na oddělení Modulů, dochází k jeho neustálému nabíjení a vybíjení elektrostatickým nábojem.

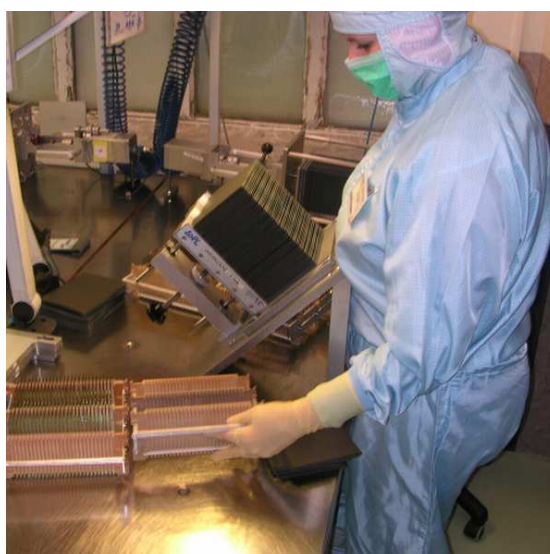
2.1.1. Oddělení Panelů

Budoucí LCD přichází z německé společnosti OPTREX Europe GmbH v podobě přřezu skla, na kterém jsou nanесeny ITO (Indium Tin Oxid) vodivé dráhy. Na obr. 18 je vidět sklo, které je před rozřezáním na malé LCD.



Obr. 18 Duté sklo s ITO drahami

Je-li sklo rozřezáno na jednotlivé LCD začíná se plnit tekutým krystalem, který je hlavním strůjcem zobrazovacích schopností. Již vyndáním z plnicích boxů se LCD stává citlivým na elektrostatický náboj, protože určité napětí, které se vlivem elektrostatického pole indukuje na kontaktních ploškách, dokáže polarizovat krystal. Proto se od této chvíle začíná sledovat manipulace s LCD. Po naplnění se vkládají kusy do lisu (presu) viz obr. 19, kde dochází ke stlačení LCD mezi „presovací gumičky“ (proklady mezi LCD v lisu), jenž eliminují nerovnosti na povrchu. Jelikož použitý materiál na presování není prověřen z hlediska ESD a při manipulaci dochází ke tření a oddělování, stává se tato operace předmětem další analýzy.



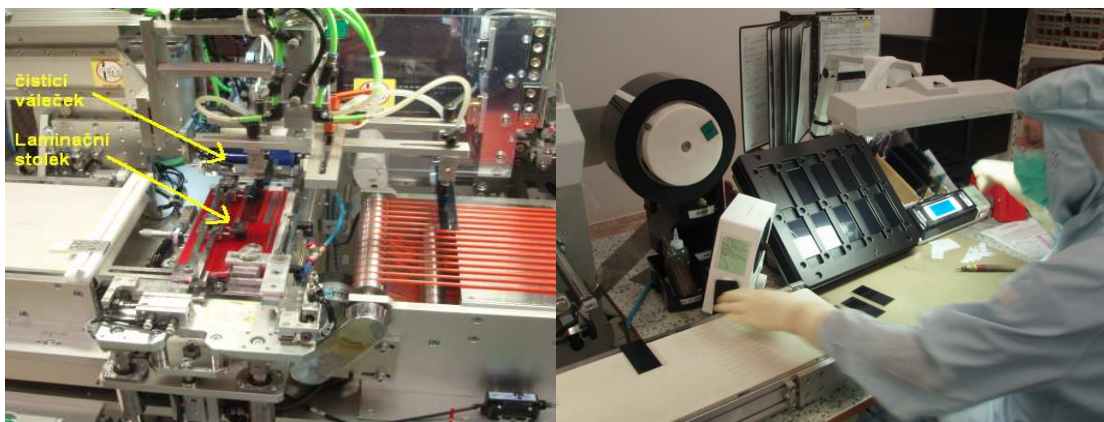
Obr. 19 Vkládání LCD do presu mezi černé gumičky

Následující výrobní postup je broušení, mytí a čištění LCD. To probíhá na strojních zařízeních, kde displej přijde do styku se speciálním roztokem v nerezových vanách, která jsou přímo připojeny k uzemnění.

Dalším z řady procesů je laminace, kde se pomocí automatické linky nanáší polarizační folie na sklo displeje viz obr. 20. Tato operace probíhá ve vyhrazeném prostoru EPA a zároveň je zde kladen důraz na čistotu, jelikož v době nanesení polarizační fólie nesmí na povrchu LCD být žádná nečistota. Pro zajištění čistoty skla LCD se používá čistící váleček, který přejíždí plochu displeje viz obr. 21. Při této strojové manipulaci dochází v oblasti laminačního stolu k pokládání a rychlému zvedání LCD, což dává podnět pro vytvoření náboje.



Obr. 20 Automatická linka laminace LCD



Obr. 21 Laminační stolek (vlevo), odvíjení polarizační folie (vpravo)

Dalším místem možného vzniku elektrostatického napětí je odvíjení polarizační folie, jenž je nanášena na LCD viz obr. 21.

Poslední zastávkou LCD ve výrobním toku na oddělení Panelů je konečná kontrola, kde se displeje testují a provádí se jejich vzhledová kontrola. Samozřejmě, že jsou pracoviště prohlášena za vyhrazený prostor EPA a splňují příslušná kritéria. Zde probíhá ruční manipulace, při zakládání LCD do měřicího přípravku viz obr. 22.



Obr. 22 Měření na konečné kontrole

2.1.2. Oddělení Modulů

V případě tohoto výrobního úseku můžeme brát v potaz to, že všechny dílny jsou vyhrazenými prostory EPA. Oddělení Modulů je vzhledem k požadavkům zákazníka velice různorodé, a proto zde uvedu jeden zajímavý proces.

Pracoviště, kde dochází k ruční manipulaci s LDC, je lepení kaptonové pásky viz obr. 23, která nesplňuje ESD požadavky. Při této činnosti se ručně přelepjuje oblast spoje LCD s flexem, na kterém se nachází čip. Z technologických důvodů výroby LCD nelze jednoduše nahradit kaptonovou páskou, a proto je zde nebezpečí výskytu elektrostatického náboje.



Obr. 23 Lepení kaptonové pásky

2.2. Způsoby zjišťování ESD a elektrostatického pole

Jeden z hlavních úkolů je přesně analyzovat vlastnosti materiálů používaných ve vyhrazeném prostoru EPA. To se většinou provádí měřením povrchové rezistance. Pokud sledovaný materiál projde tímto testem, je sledován ve vyhrazeném prostoru. Důvodem je, že při jeho používání může vznikat na jeho povrchu elektrostatický náboj.

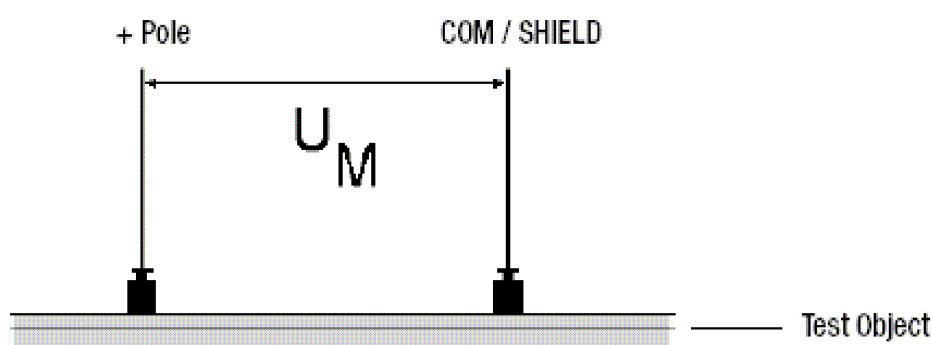
2.2.1. Měření rezistance viz lit. [7]

Pro měření rezistance k zemi a povrchové rezistivity se používá měřicí souprava Metrigo 2000 viz obr 24, která obsahuje digitální teraohmmetr, senzor pro měření teploty a relativní vlhkosti, infra adaptér RS 232 pro přenos dat do PC. Testovací stejnosměrné napětí se nastavuje na 10 V, 100 V, 250 V a 500 V dle potřeby. Pro různé druhy měření rezistivity se používají sondy, které jsou pro danou úlohu vhodné.

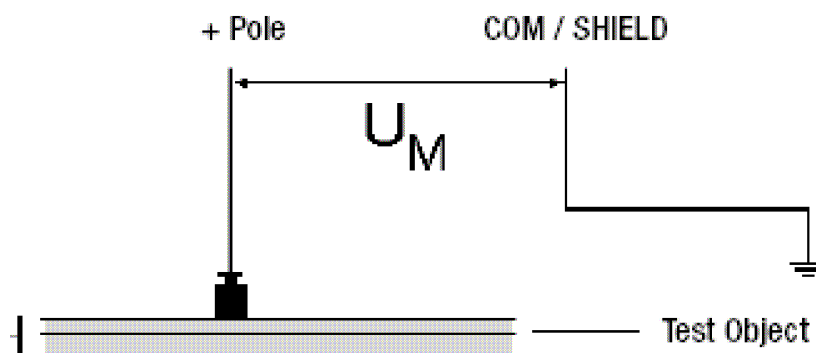


Obr. 24 Metrigo 2000 a sonda Model 850

Sonda Model 850 na obr. 24 se používá jak na zjištění povrchové rezistance viz obr. 25, tak k měření rezistance k zemi viz obr. 26. Většinou se tyto sondy používají k prověření podlah nebo větších podložek.



Obr. 25 Model 850-Měření povrchové rezistance

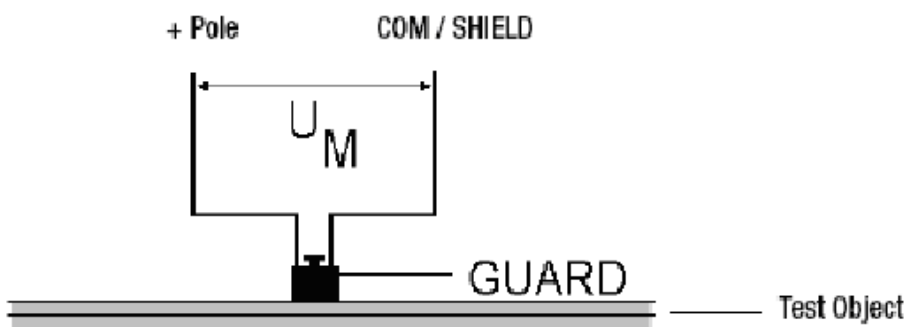


Obr. 26 Model 850 - Měření rezistence k zemi

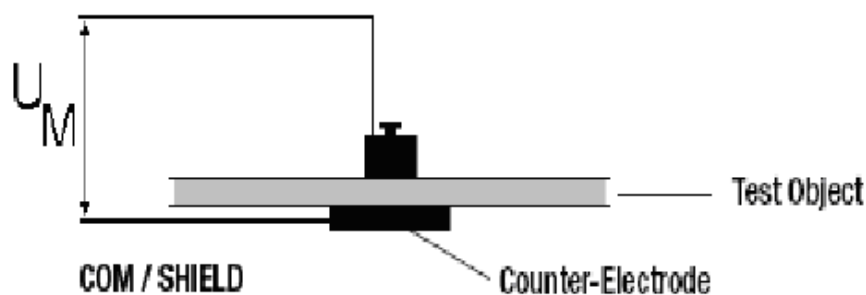
Soustředná sonda Model 880 viz obr. 27 slouží k měření povrchové viz obr. 28 a objemové rezistivity viz obr. 29. Tato sonda má v příslušenství izolační desku, pro oddělení měřené části od podložky stolu a vodivou desku z nerez, pro stanovení objemové rezistivity.



Obr. 27 Model 880 s příslušenstvím



Obr. 28 Model 880 - Měření povrchové rezistivity



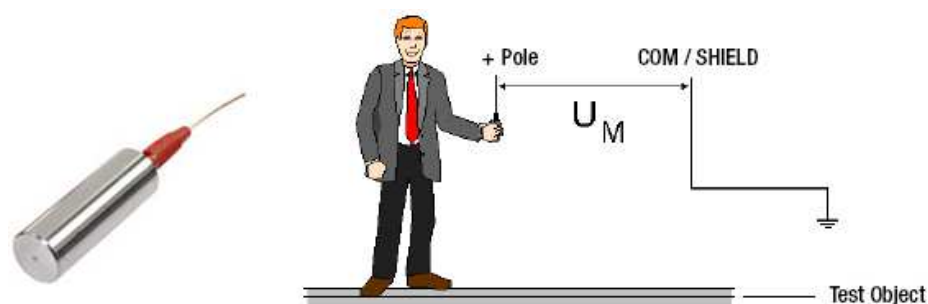
Obr. 29 Model 880 - Měření objemové rezistivity

Souprava Minisond viz obr. 30 je určená k měření povrchové rezistence malých nerovných ploch. Pro zajištění správného kontaktu slouží pružinový přítlačný mechanismus.



Obr. 30 Soprava Minisond

Pro měření systémové rezistence je dobré použít sondu Model 45, která je z nerez oceli viz obr. 31.



Obr. 31 Model 45 a způsob měření

Ovládání a orientace není složitá, jelikož vše je zobrazeno na displeji. Při měření s jakoukoliv sondou platí to, že jakmile překročí měřená hodnota odporu $10^5 \Omega$, musí být změněno testovací napětí na 100V viz tab. 7.

Measured Quantity	Measuring Range	Test Current	Nominal Range of Use	Nominal Values / Impedance	Intrinsic Error	Measuring Error
R_{ESD}	01.0 k Ω ... 99.9 k Ω	—	1 k Ω ... 100 k Ω	$U_M = 10 \text{ V}^{4)}$	$\pm(5\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$	$\pm(7\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$
R_{ESD}	> 100 k Ω ... 10.0 G Ω	1 mA ³⁾	> 100 k Ω ... 10 G Ω	$U_M = 100 \text{ V}^{2)}$	$\pm(5\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$	$\pm(7\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$
R_{ESD}	> 10 G Ω ... 100 G Ω	1 mA ³⁾	> 10 G Ω ... 100 G Ω	$U_M = 100 \text{ V}^{2)}$	$\pm(8\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$	$\pm(10\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$
R_{ESD}	0.00 M Ω ... 10.0 G Ω	1 mA ³⁾	> 100 k Ω ... 10 G Ω	$U_M = 250/500 \text{ V}^{2)}$	$\pm(5\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$	$\pm(7\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$
R_{ESD}	0.00 M Ω ... 100 G Ω	1 mA ³⁾	> 10 G Ω ... 100 G Ω	$U_M = 250/500 \text{ V}^{2)}$	$\pm(8\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$	$\pm(10\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$
R_{ESD}	> 100 G Ω ... 999 G Ω	1 mA ³⁾	> 100 G Ω ... 1 T Ω	$U_M = 100/250/500 \text{ V}^{2)}$	$\pm(25\% \text{ rdg.} + 5 \text{ d})$	$\pm(50\% \text{ rdg.} + 20 \text{ d})$
U_M	000 V ... 720 V		50 ... 600 V	5 M Ω	$\pm(2.5\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$	$\pm(5\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$
U_{\sim}	00.0 V ... 720 V		10 ... 600 V	5 M Ω	$\pm(2.5\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$	$\pm(5\% \text{ rdg.} + 3 \text{ d})$
f	15.0 ... 400 Hz		45 ... 200 Hz	5 M Ω	$\pm(0.5\% \text{ rdg.} + 2 \text{ d})$	$\pm(1\% \text{ rdg.} + 2 \text{ d})$
T ¹⁾	-10.0 ... +50.0 °C		0 ... +40 °C		$\pm 2 \text{ °C}$	
F _{Tel} ¹⁾	10.0 ... 90.0%		20 ... 80%		$\pm 5\%$	
Phase Test	LED PE > 100 V		100 ... 1000 V	> 100 M Ω /50 Hz		

1) With external adapter

2) DC test voltage = $U_M \pm 5\%$

3) At nominal resistance $R_N = 1000 \Omega/V$

4) No-load voltage at $R \geq 10 \text{ M}\Omega$

Tab. 7 Charakteristické vlastnosti

2.2.2. Měření elektrostatického pole viz lit. [4]

Pro přímé měření se používá ElektroFeldMeter FM022 a pro detekci elektrostatického pole uijeme EMI Locatoru Sanki viz obr. 32.



Obr. 32 Měřiče elektrostatického pole

Přístroj EFM 022 má pouzdro vyrobené ze speciální vodivé umělé hmoty. Influenzní měřicí elektroda je hvězdicového tvaru. V malé vzdálenosti od této rotující elektrody je kruhová elektroda, která jednak chrání rotující část, ale také má pomocnou elektrickou funkci. Ukazatel na přední straně je složen z alfanumerického LCD displeje. V přístroji je osazen mikropočítač, který přepočítává naměřenou sílu pole podle

nastavené vzdálenosti na potenciál ve voltech. Permanentně kontroluje stav napájecí baterie a zpracovává informace z ovládacího tlačítka.

Měřič pole je svou funkcí parametrický zesilovač. Elektrostatický náboj vytváří kolem sebe elektrostatické pole. V tomto poli pohybující se influenční elektroda vytváří proporcionální střídavý proud, který je pak měřen přes selektivní zesilovač bez toho, že by zpětně ovlivnil měřenou hodnotu. Elektrostatické pole je pak dle zvolené vzdálenosti přepočteno na napětíový potenciál a zobrazeno ve Voltech. Zobrazená hodnota (V) = Síla pole (V/m) x vzdálenost (m), např. zobrazená hodnota = 1.000V vzdálenost = 10cm => 1.000V = 10.000V/m x 0,1m. Rozsah měření je uveden v tab. 8.

vzdálenost [cm]	měřený rozsah [kV]	rozlišení [V]
1	0 - 10	1
2	0 - 20	2
5	0 - 50	10
10	0 - 100	10
20	0 - 200	20

Tab. 8 Rozsah měření

Nastavení vzdálenosti se provádí stisknutím tlačítka „function/on“ dokud se neukáže na spodním řádku „change distance“ (ca. 2 sec). Na horním řádku je pak zobrazena aktuální vzdálenost. Dalším stiskem tuto vzdálenost změníme. Posloupnost změny je: 2 cm => 5 cm => 10 cm => 20 cm => 1 cm=> CPSmode => 2 cm a opět od začátku. K měřiči jsou přiloženy dva distanční sloupky, které mohou být našroubovány na spodní elektrodu jako pomůcka k dodržení vzdálenosti 2 cm pro lepší přesnost měření.

ElektroFeldMeter FM022 se používá pro orientační určení velikosti elektrostatického pole.

EMI Locator Sanky model ES-100V (ES-81V) je určený jako naslouchací zařízení indikující existenci elektromagnetického rušení. Využití indikátoru EMI jako indikátoru ESD událostí (výbojů) vychází z faktu, že každý elektrostatický výboj je provázen i elektromagnetickými krátkovlnnými výboji.

Sanky model ES-100V je malé ruční zařízení, které používá krátkou anténku pro objevení a indikaci krátkovlnných impulsů vygenerovaných během ESD události. Zařízení má citlivost pro Low 5mV resp. 120 mV pro High s oddělenými indikátory

a alarmem pro každou úroveň. Případná delší anténka může zvednout citlivost pro nižší hladiny signálu. Protože se jedná o bateriové zařízení, hodí se pro mapování celého výrobního procesu s výskytem ESD událostí. Jelikož EMI Locator má malé rozměry, může být umístěn uvnitř provozního zařízení a objevit tak signály, které jsou jinak odstíněné panelem či krytem. Tento lokátor může určit rozmístění ESD událostí v zařízení, které se pak mohou přiřadit ke konkrétním operacím.

Lokátor pracuje na kmitočtovém rozsahu přibližně 100Khz až 35 MHz a úroveň snímané hladiny je Low 5mV (74 dB) / High 120 mV (102 dB) v přívodní svorce bez anténky, která má délku 25 mm (součástí dodávky). Pokud lokátor indikuje elektrostatický výboj Low rozsvítí se první Led dioda a ozve se krátký tón alarmu. Je-li High rozsvítí se druhá Led dioda a zvuk alarmu je dlouhý.

Neexistuje žádné pravidlo či předpis, který by určoval, jaký počet impulsů v daném čase je ještě v pořádku, a co už je nebezpečné. Výskyt ESD událostí a jejich nebezpečnost je naprosto individuální. Proto je možné využít pouze relativní srovnávací kontroly. EMI Locator slouží pouze jako pomůcka k vyhledávání možných ESD událostí, neposkytuje žádné absolutní změřené údaje.

2.3. Měření elektrostatického pole na pracovišti při ruční manipulaci s ESDS (moduly LCD)

Pro měření bylo vybráno pracoviště Lepení kaptonové pásky, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.2. U tohoto pracoviště je podezření na vytváření elektrostatického náboje při odvíjení této pásky. Jako měřicí přístroj bude použit ElektroFeldMeter EFM 022.

2.3.1. Měření samotné pásky

Abychom zjistili přesné chování kaptonové pásky změříme jí mimo vyhrazený prostor EPA. Ze samotné pásky odvineme asi tak 10 centimetrů a přiložíme ji k distančním sloupkům (2 cm) měřicího přístroje. Změříme elektrostatické napětí ve voltech..

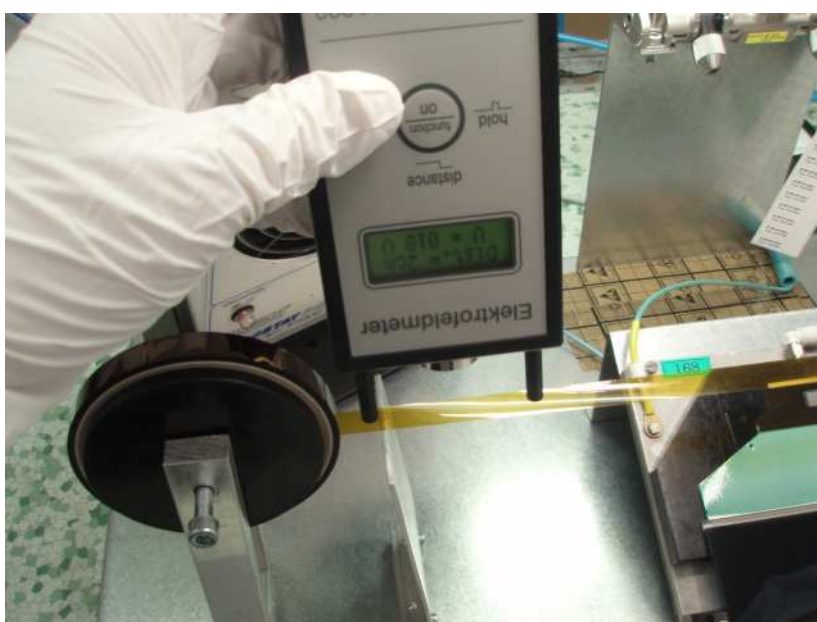


Obr. 33 Měření kaptonové pásky

Z obr. 33 je zřejmé, že bylo naměřeno vysoké elektrostatické napětí okolo 1,18 kV. To znamená, že samotná pásky je v prostoru EPA velkým nebezpečím, a proto je vytvořena dodatečná ochrana před vznikem ESD.

2.3.2. Měření pásky umístěné v systému ochrany před ESD

Další měření probíhá již ve vyhrazeném prostoru EPA s dodatečnou ochranou před výskytem elektrostatického napětí viz obr. 34.



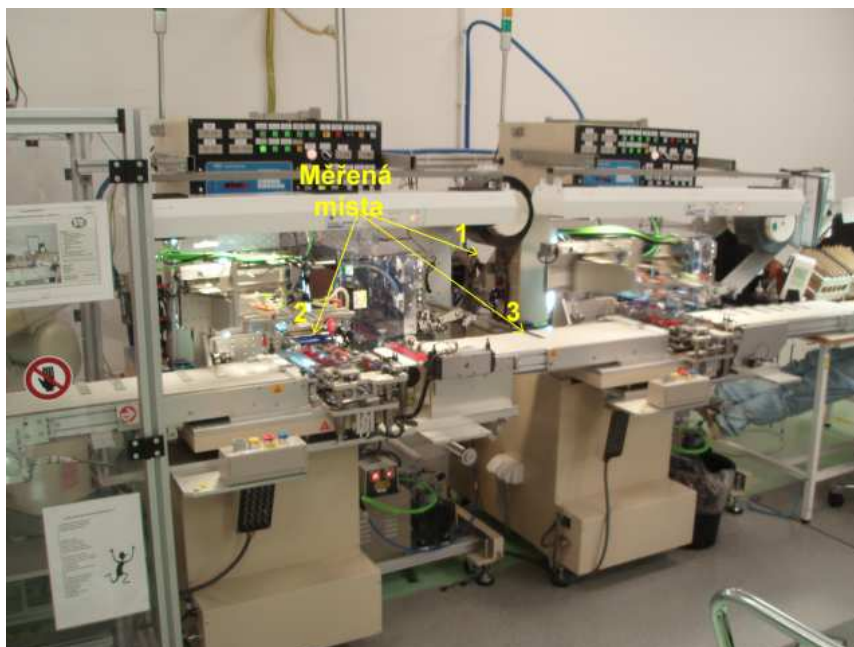
Obr. 34 Kaptonová pásky v prostoru EPA (18V)

Při měření elektrostatického pole přímo na pracovišti nebylo zjištěno překročení hranice 100V, což splňuje daná kritéria vyhrazeného pracoviště EPA pro manipulaci s elektrostaticky citlivými součástkami ESDS. Daná opatření jsou popsána v kapitole 4.1.

2.4. Měření elektrostatického pole na pracovišti při strojní manipulaci s ESDS (panely LCD)

Z kapitoly 2.1.1., kde se popisuje výskyt elektrostatického pole na oddělení Panelů, je zřejmé, že měření probíhá na laminaci. Jedná se o strojovou manipulaci, kterou ovládá automatizační zařízení. Je použit ElektroFeldMeter EFM 022. Měření provádíme při chodu automatické linky, a proto je získání dat velice obtížné.

Na automatické lince se monitorují tři nejzajímavější místa možnosti výskytu elektrostatického pole viz obr 35. První je odvíjení polarizační fólie - naměřená hodnota je kolem 1 kV. Druhé měření bylo orientováno na oblast laminačního stolku a čistícího válečku - naměřená hodnota je okolo 200 V. Ve třetím měření se prověřuje jaké elektrostatické napětí se objeví na LCD již pokrytém polarizační folií - naměřená hodnota je zhruba 40V.



Obr. 35 Měření místa na automatické lince

Opatření proti vzniku jsou popsána níže v kapitole 4.2.

2.5. Měření povrchové rezistivity

Praktické měření lze demonstrovat na prověření presovacích gumiček (viz kapitola 2.1.1). Změřením povrchové rezistivity presovací gumičky určíme parametry tohoto materiálu a zjistíme, zda vyhovuje normě viz [2]. K měření je použit systém Metriso 2000 se sondami Model 850 a metoda měření je zvolena dle obr. 25 v kapitole 2.2.1. Na obr. 36 je znázorněna použitá metoda v praxi a naměřená hodnota povrchové rezistivity, která je větší než $1 \text{ T}\Omega$. To znamená, že materiál nevyhovuje normě viz lit. [2] tab. 6.



Obr. 36. – Měření presování gumičky

Jelikož stávající presovací gumička nevyhovuje, otestujeme jiný materiál, který by ji mohl časem nahradit. Jedná se o PVC Breno Pedro 740. Měříme stejným měřicím systémem a metodou viz obr. 37.



Obr. 37 Měření alternativní náhrady presovací gumičky

Naměřené hodnoty povrchové rezistivity jsou uvedeny v tab. 9 a výpočet je proveden dle níže uvedených vzorců

R_s [G Ω]	30,6	36,6	28,2	28,7	28,3	28,8	29,1	29,6	28,6	29,5
---------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tab. 9 Naměřené hodnoty

$$\text{Aritmetický průměr} - \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{x} = \underline{\underline{29,8G\Omega}}$$

$$\text{Standardní nejistota typu A} - u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad u_A = \underline{\underline{2,49G\Omega}}$$

Standardní nejistota typu B - měřicí rozsah je 10 – 100 G Ω

a skutečná chyba je $\pm(8\% \text{ rdg} + 3d)$ viz lit. [7] tab. 7

$$u_B = \frac{\delta \cdot \bar{x} + n \cdot x_{\min}}{\Theta} \quad u_B = \frac{0,08 \cdot 29,8 + 0,003 \cdot 10}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{1,39G\Omega}}$$

$$\text{Kombinovaná standardní nejistota U} - \quad u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \underline{\underline{2,85G\Omega}}$$

Výsledek: $\underline{\underline{R_s = (29,8 \pm 2,9)G\Omega}}$

Závěr k měření je zpracován v kapitole 4.3.

3. Analýza materiálů z hlediska ESD

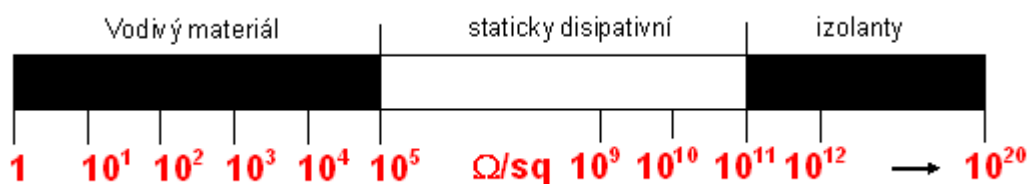
Pokud je to možné, musí se ve vyhrazených prostorech EPA používat materiály elektrostaticky ztrátové, neboli disipativní. Jelikož LCD prochází složitým výrobním procesem (čisté prostory, teplotní zatížení), nelze zaručit, že všechny použité materiály budou splňovat daná kritéria. V takovém případě musíme mít zmapováno, kde se tyto předměty pohybují, aby nedošlo k poškození ESDS.

3.1. Rozdělení materiálů podle naměřených hodnot povrchové rezistivity

Snadným prověřením všech materiálů, které se pohybují v EPA, je měření jejich povrchové rezistivity. Ta určí, do jaké skupiny měřený objekt patří. K měření je používán měřicí systém Metriso 2000 (viz 2.2.1). Sonda se volí podle struktury nebo profilu zkoumaného materiálu.

Obecně materiály dělíme podle povrchové rezistivity do tří skupin viz lit. [4] obr. 38:

- Vodivé - povrchová rezistance od $1 \times 10^2 \Omega$ do $1 \times 10^5 \Omega$
- staticky disipativní - povrchová rezistance od $1 \times 10^5 \Omega$ do $1 \times 10^{11} \Omega$
- izolační - povrchová rezistance nad $1 \times 10^{11} \Omega$



Obr. 38 Rozdělení materiálu

Z pohledu ochrany před elektrostatickým nábojem je nejvhodnější použít staticky disipativní materiál, jelikož se na něm nehromadí vygenerovaný náboj, jako na izolačních materiálech. Vodivé látky jsou zase nebezpečné v tom, že mezi nimi a nabitým objektem dochází k rychlému vyrovnání potenciálů. Optimální je v těchto

ohledech použít právě disipativní materiál, který dokáže bezpečně rozptýlit vytvořený náboj po své ploše a pokud je uzemněn, tak ho pomalu svede k zemi.

3.2. Materiály používané v chráněném prostoru

Ve firmě OPTREX se používá ochrana před ESD ve standardním provedení. Systém ochrany je stavěn na speciálně provedené ESD podlaze, která je složena z měděných uzemněných pásů. Na to se položí specifická podlahová krytina označením Lino Fatra 2301 viz obr.39, která zajistí stanovené vlastnosti určené viz lit. [2] tab. 6.



Obr. 39 Struktura Lina Fatra

Pracovní plochy, které přijdou do styku s elektrostaticky citlivou součástí ESDS, jsou tvořeny dvěma vrstvami. Spodní strana černé barvy je vodivá a vrchní strana, většinou v barevném provedení viz obr. 40, má disipativní vlastnosti. V celém systému pak musí splňovat parametry uvedené viz lit.[2] tab. 6. Ve firmě Optrex se nejčastěji používá podložka, která je ze syntetického kaučuku a odolná proti otěru s typickou rezistencí k zemi $1 \times 10^6 \Omega$ - $1 \times 10^7 \Omega$.



Obr. 40 Disipativní podložka viz lit. [8]

Osoby vcházející do vyhrazeného prostoru EPA mají kompletní vybavení, které se skládá z ESD pláště či kombinézy, kukly, rukavic, ESD náramku a bot viz obr. 41.

Tento systém ochrany eliminuje a odvádí elektrostatický náboj, který vzniká při pohybu pracovníka. Pracovní oděv je vyroben ze směsi, jenž obsahuje 65% polyesteru, 32% bavlny a 3% příze potažené uhlíkem viz lit. [8]. Boty jsou konstruovány z vodivých materiálů tak, aby splňovali požadavky viz lit [2] tab. 6. Rukavice by měly být také s antistatického materiálu, jelikož přicházejí do přímého kontaktu ESDS. Měly by splňovat celkovou rezistivitu k zemi v systému ochrany viz lit[2] tab. 6.



Obr. 41 Pracovní oděv (vlevo pro čisté prostory)

Primární ochranou je antistatický náramek s uzemňovacím kablíkem viz obr. 42, jenž odvádí náboj z pracovníka na pracovišti, které je tvořeno pracovním stolem. Náramek je aplikován ve všech prostorách EPA.



Obr. 42 Uzemňovací náramek s kablíkem viz lit. [8]

3.3. ESD materiály na dnešním trhu

Dnes již existuje mnoho firem zabývajících se problematikou ESD, jenž se snaží nabízet ucelený sortiment. V Evropě se nachází tři společnosti:

- Itálie - firma Iteco
- Velké Británii - firma CharlesWater
- Německo - firma Wolfgang Warmbier

Firmy v Čechách zatím mají distribuci ESD produktů jako doplňkovou službu. Většinou se jedná o dealerskou činnost velkých evropských společností. U nás jsou nabízeny ESD výrobky těmito firmami:

- ABE.TEC Pardubice (Iteco, CharlesWater, částečně vlastní výroba)
- Smtronic Liberec (Wolfgang Warmbier)
- AZT Brno (CharlesWater).

Ve firmě Optrex se nejen musí brát ohled na ESD opatření, ale i na čistotu prostředí, proto je někdy velice obtížné najít materiál či systém, který bude splňovat všechny tyto požadavky.

Při výběru jakéhokoliv materiálu nebo zařízení do výrobních prostorů EPA, musí ESD koordinátor, který je zodpovědný za všechny prostory EPA, projednat s procestechnikem daného oddělení, zda dodaný systém bude vyhovovat.

4. Opatření proti vzniku ESD

Definovaná opatření a podmínky chráněného prostoru pro manipulaci s elektrostaticky citlivými součástkami se ve firmě Optrex se řídí dle normy ČSN 61340-5-1 a ČSN 61340-5-2. Aby systém ochrany byl účinný, probíhají pravidelná školení pracovníků a kontroly pracovišť. Výsledky se poté evidují do tak zvaných checklistů (formuláře do kterých pracovník stvrdí provedenou kontrolu svým podpisem). Kontrol se účastní každý pracovník, který přichází do styku s elektrostaticky citlivou součástkou ESDS.

Denní kontroly provádí sám pracovník. Před vstupem si na Testeru PG 100 nebo PG 2000 otestuje náramek a boty. Dále ověří, zda je správně oblečen. Na dílně vizuálně zkontroluje uzemňovací body a čistotu ionizačního zařízení.

V týdenní kontrole seřizovač změří na pracovištích rezistenci uzemňovacích bodů k zemi a prověří měření výskyt elektrostatického pole u ionizátorů.

V měsíčních kontrolách mistr nebo vedoucí oddělení provede všechna měření jako v týdenních prověrkách, přičemž zkontroluje vyplněné denní a týdenní checklisty.

Jednou za rok se prověřuje na oddělení servisu účinnost ionizačních zařízení. Používá se tester Charged Plate Monitor CPM374. Na každém vyhrazeném pracovišti EPA provádí hlavní ESD koordinátor audit, kterým prověřuje podlahy, pracovní plochy, uzemňovací body a výskyt elektrostatického pole. Dále kontroluje označení vyhrazeného prostoru EPA, používané materiály na dílnách a příslušnou dokumentaci (zápisy o školení, checklisty).

4.1. Provedení konkrétních opatření na pracovišti pro ruční manipulaci s ESDS (moduly LCD)

Jak vyplývá z měření elektrostatického pole (kapitola 2.3.1), samotná kaptonová páska představuje značné riziko pro elektrostaticky citlivé součástky ESDS. Na obr. 43 je vidět použití pásky v systém ochrany.



Obr. 43 Použití ionizátorů

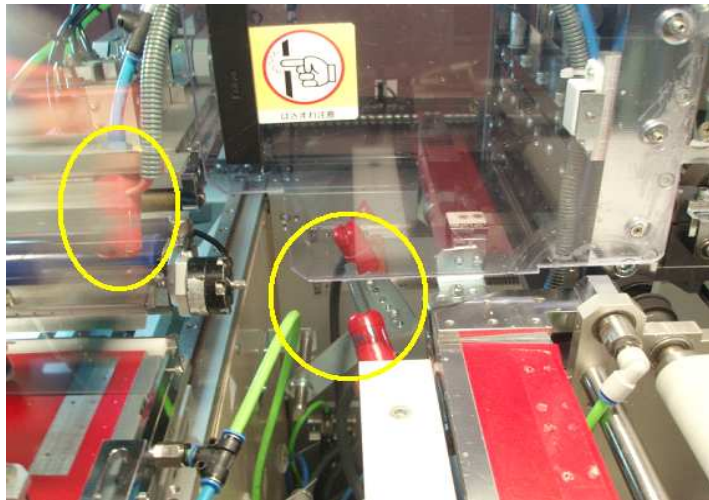
Z kapitoly 2.3.2, která uvádí naměřené hodnoty výskytu elektrostatického pole je zřejmé, že zde není překročena stanovená hranice 100 V. Díky ionizátoru Aerostat PCTM viz obr. 43 dochází k eliminaci vytvořeného náboj při odvíjení pásky. Lepení pásky na spoj mezi LCD a flexem je pod ofukem dvou trysek ionizátoru Sunx ER-VW viz obr. 43.

Aby nemuselo docházet k opatřením, jako jsou ionizátory, musí se do budoucna najít na trhu kaptonová páska, která při odvinutí a manipulaci nebude kolem sebe vytvářet elektrostatický náboj.

4.2. Návrh a provedení konkrétních opatření na pracovišti se strojní manipulací s ESDS (panely LCD)

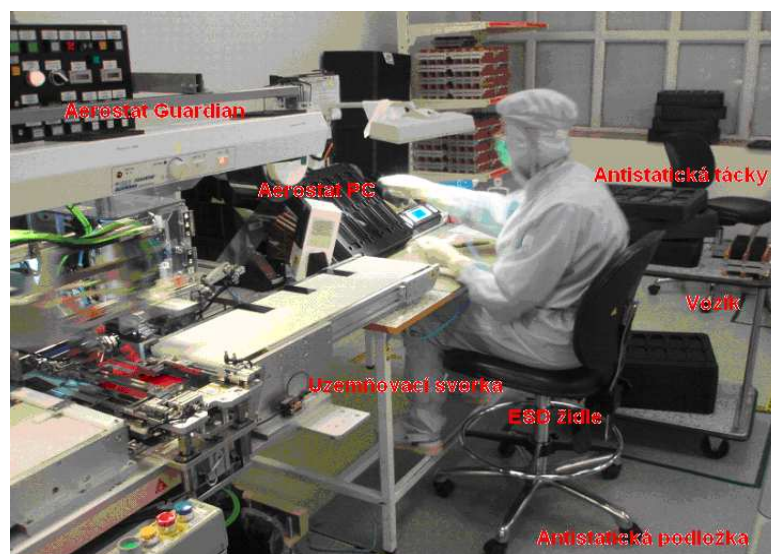
V kapitole 2.4 se naměřil nebezpečný výskyt elektrostatického pole při odvíjení polarizační folie. Na kompenzaci takto vzniklého náboje jsou instalovány ionizační trysky HE od firmy SIMCO viz obr. 44 (uprostřed). Bohužel se nedá při chodu ověřit jejich účinnost. Dalším místem, kde se objevilo pole, bylo okolo laminárního stolku.

Zde byla naměřená hodnota okolo 200V už po kompenzaci ionizační trysky HE viz obr. 44 (vlevo).



Obr. 44 Ionizační trysky HE

Další ochrana je tvořena ionizátory Aerostat Guaedian™, které jsou umístěny nad pásovým dopravníkem viz obr. 45. Tam již byla naměřena bezpečná hodnota elektrostatického napětí (viz kapitola 2.4). Stanoviště pracovníka je vybaveno antistatickou podložkou, ESD židlí, uzemňovacími svorka pro připojení náramku, přepravním vozíkem, který je spojen, přes vodivá kolečka, k uzemnění prostoru EPA a LCD se vkládají do antistatických táček. Samozřejmě je zde použit ionizátor Aerostat PC™ pro odstranění vzniklého náboje při ruční manipulaci s citlivým LCD viz obr. 45.



Obr. 45 Vybavené pracoviště

Jelikož v některých kritických místech překračuje elektrostatické pole 100 V, musíme najít vhodnější řešení, které eliminuje vzniklý náboj. Z důvodu požadavků procesu nelze měnit stávající materiály, jenž jsou použity k výrobě LCD. Proto odstranění nedostatků budeme řešit výměnou stávajících ionizačních trysek za výkonnější japonské ionizátory Sunx ER-V na obr. 46 viz lit. [4].



Obr. 46 Ionizátor Sunx ER-V

Kvůli složitosti umístění ionizátorů Sunx na laminační automatické lince, nebyly ionizátory v době psaní této bakalářské práce nainstalovány.

4.3. Zhodnocení měření povrchové rezistivity

V kapitole 2.5 byla měřena povrchová rezistivita u dvou vzorků.

V první případě se jedná o stávající černou presovanou gumičku, která podle měření vykazuje vlastnosti izolantu. Proto je její použití ve vyhrazených prostorech EPA v rozporu s normou ČSN 61340-5-1.

Druhý testovaný vzorek (PVC Breno Pedro 740) materiálu přibližně překračuje 3,5x stanovenou hodnotu povrchové rezistance. Z náročnosti požadavků tohoto procesu se budou muset vyzkoušet další vlastnosti. Ty proběhnou v rámci testu, který se uskuteční až bude k dispozici více tohoto vzorku. Při té příležitosti bude měřen výskyt elektrostatického pole při zakládání LCD a gumiček do presu. Poté se vyhodnotí výsledky a určí se zda je tento materiál vhodný.

5. Závěr

Oddělení Panelů je svou specifikací výroby a požadavky na materiály z hlediska ESD velice náročné na realizování vyhrazeného prostoru EPA. Nevýhodou je, že celé dílny nejsou vybaveny uzemněnou podlahou. Tento problém je řešen pomocí antistatických podložek, které vyhovují požadavkům normy, ale z hlediska praktičnosti nejsou vhodné.

Vyhrazené prostory se teprve optimalizují. V současné době jsou především zpracovávány LCD, jenž nejsou tak citlivé na elektrostatické pole. Z tohoto důvodu zde nedochází k masovému poškození elektrostatickým výbojem.

Oddělení Modulů je z pohledu ochrany před ESD na dobré úrovni. Vyhrazené prostory EPA zde tvoří celé dílny, které jsou patřičně chráněny před nepovoleným vstupem. Celý proces je vybaven uzemněnou podlahou a používané materiály většinou splňují požadavky normy ČSN 61340-5-1.

Bakalářská práce prezentuje vznik elektrostatického náboje a jeho nežádoucí účinky na elektrostaticky citlivé součástky ESDS. Zabývá se konstrukcí a značení pracovišť EPA ve firmě Optrex, kde se manipuluje s ESDS. Práce popisuje měření elektrostatického pole na oddělení Panelů během chodu laminační automatické linky a na oddělení Modulů při lepení kaptonové pásky. Prověřuje povrchovou rezistivitu používaného materiálu na lisování (presování) LCD. Popisuje a navrhuje možná řešení, která vedou ke splnění požadavků normy viz lit. [2]. Charakterizuje materiály a systémy ochrany před vznikem ESD a definuje nároky na vyhrazený prostor EPA.

Seznam použité literatury

- [1] Halliday, D., Resnik, R., Walker, J.: Fyzika, část 3 – Elektřina a magnetismus, VUTIUM a PROMETHEUS, Brno, 2001
- [2] ČSN EN 61340-5-1
- [3] ČSN EN 61340-5-2
- [4] Interní dokumenty fy Optrex Vrchlabí
- [5] ŠKOLENÍ ANTISTATIKA – KOORDINÁTOR, Ing.V.Cimburek (firma: ABE.TEC)
- [6] <http://www.siliconfareast.com/esd.htm>
- [7] Manuál METRISO 2000 – ESD Test Instrument
- [8] Wolfgang Warmbier 2007 - Katalog ESD vybavení