

Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną

Przemysław Kędziński

Główny Instytut Górnictwa, plac Gwarków 1, 40-166 Katowice

Streszczenie: W przeglądowym artykule omówiono różne problemy towarzyszące wyładowaniom elektrostatycznym, m.in. dotyczące bezpieczeństwa i komfortu człowieka, uszkodzeń podczas produkcji przyrządów elektronicznych w przemyśle oraz atmosfer wybuchowych w przemyśle podczas produkcji maszyn, a także dotyczące niebezpieczeństw występujących podczas badań medycznych. Opracowanie przedstawia system ochrony przed szkodliwymi wyładowaniami elektrostatycznymi, głównie w przemyśle elektronicznym wynikający z norm międzynarodowych.

Słowa kluczowe: elektryczność statyczna, wyładowanie elektrostatyczne

1. Wprowadzenie

Elektryczność statyczna jest zjawiskiem powszechnym, a związana jest z powstaniem nadmiarowych ładunków elektrycznych. Nadmiarowe ładunki (elektryczne) elektrostatyczne powstają podczas tarcia, rozdzielania lub indukcji. Wyładowania elektrostatyczne powodują negatywne skutki, zarówno dla człowieka, jak i dla urządzeń (szczególnie urządzeń elektronicznych) i wyrobów. Wyładowaniom tym towarzyszy zagrożenie wybuchem i pożarem w strefach potencjalnie wybuchowych oraz zniszczeniem przyrządów czułych na wyładowania (tzw. ESDS).

Wraz ze wzrostem produkcji tworzyw sztucznych, klasyfikowanych jako nie antystatyczne (1 mln ton w 1950 r., 100 mln ton w 1990 r., 265 mln ton w 2010 r.), rośnie zagrożenie ze strony elektryczności statycznej. Również minimalizacja urządzeń, rozwój zaawansowanych technologii oraz związanym z tym pojawianiem się stref zagrożonych wybuchem wpływa na wzrost ryzyka niszczących skutków wyładowania elektrostatycznego.

W elektrostatyce wprowadzono podział materiałów na trzy grupy: materiały przewodzące, materiały rozpraszające i izolatory. Kryterium podziału jest rezystancja powierzchniowa (R_s): materiały przewodzące wykazują rezystancję powierzchniową $< 10^5 \Omega$, materiały rozpraszające $> 10^5 \Omega$ oraz $< 10^9 \Omega$, a izolatory $> 10^9 \Omega$ [3].

W dalszym tekście wprowadzono skrócone nazwy wynikające z norm powołanych w literaturze:

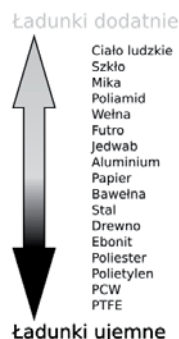
– ESD (ang. *ElectroStatic Discharge*) – wyładowanie elektrostatyczne,

- ESDS (ang. *ElectroStatic Discharge Sensitive*) – wrażliwość, element wrażliwy na wyładowanie elektrostatyczne,
- EBP (ang. *Electrostatic Bonding Point*) – punkt uziemienia elektrostatycznego,
- EPA (ang. *Electrostatic Protected Area*) – strefa chroniona przed wyładowaniami ESD.

2. Wprowadzenie do elektryczności statycznej

Do powstania ładunków elektrostatycznych dochodzi podczas elektryzacji. Elektryzacja, czyli rozdzielanie ładunków elektrycznych ujemnych od dodatnich, polega na wyodrębnieniu ich z materii lub oddaleniu od siebie [1-3, 10]. Dochodzi do niej podczas czynności takich jak: tarcie, rozdzielanie, rozbryzgiwanie, przelewanie, rozdrabnianie, przemiany termiczne, procesy mechaniczne, zmiany stanów skupienia, indukcja elektryczna. Wszystkie te zjawiska można łatwo zidentyfikować nie tylko w życiu codziennym, ale również w wielu procesach produkcyjnych i technologicznych.

W ocenie zdolności do elektryzacji przeanalizować należy szereg tryboelektryczny, czyli uporządkowanie materiałów pod względem biegunowości i wielkości ładunku elektrycznego wytwarzanego podczas metod kontaktowo-tarciowych. Niektóre materiały łatwiej tracą elektrony, inne łatwiej je gromadzą.



Rys. 1. Szereg tryboelektryczny
Fig. 1. Triboelectric series

Autor korespondujący:

Przemysław Kędziński, pkedziński@gig.eu

Artykuł recenzowany

nadesłany 6.06.2017 r., przyjęty do druku 30.06.2017 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

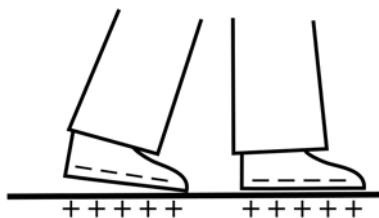
Badania nad szeregiem tryboelektrycznym (rys. 1) prowadził Cohen w XIX wieku. Celem badań było wskazanie, które elementy elektryzują się znakiem dodatnim, a które ujemnym. Cohen uznał, że o znaku elektryzacji decyduje stała dielektryczna – im jest większa, tym ciała bardziej elektryzują się ładunkiem dodatnim.

2.1. Elektryzacja kontaktowo-tarciowa

Najpowszechniejszym sposobem elektryzacji jest elektryzacja przez tarcie i kontakt, nazywana również metodą kontaktowo-tarciową lub stykową. Na granicy styku dwóch ciał dochodzi do wymiany elektronów – tak zwana warstwa podwójna. W następstwie rozdzielenia tych ciał, na jednym z nich wystąpi nadmiar elektronów (ładunki ujemne), natomiast na drugim ciele wystąpi niedomiar elektronów (ładunki dodatnie). Liczba powstałych nadmiarowych ładunków uzależniona jest od właściwości powierzchni, rodzaju materiału, docisku oraz parametrów otoczenia.

W czasie rozdzielania – zgodnie z zasadą szeregu tryboelektrycznego – w zależności od charakteru powinowactwa elektronowego, materiały oddają lub przyjmują elektrony, doprowadzając do powstania nierównowagi elektrycznej w materiałach – w jednym przewagi elektronów, a w drugim ich niedomiaru. Przykładem może być odrywanie stóp od podłoża (rys. 2) lub otwieranie książki oprawionej oprawką foliową.

Elektryzacja przez tarcie, podobnie jak przez kontakt, związana jest z szeregiem tryboelektrycznym. Wskutek tarcia mechanicznego dochodzi do przechodzenia ładunków elektrycznych



Rys. 2. Przykład elektryzacji przez kontakt – odrywanie stóp od podłoża
Fig. 2. Electrization by contact – tearing the feet off the ground

między ciałami – w wyniku tego ciała elektryzują się nadmiarowym ładunkiem elektrycznym.

2.2. Elektryzacja przez ulot

Kolejną metodą elektryzacji jest elektryzacja ulotem. Do elektryzacji ulotem dochodzi w polu elektrycznym. Materiał będący pod wpływem pola elektrycznego absorbuje na swojej powierzchni ładunki elektrostatyczne. Powietrze i inne gazy (jeżeli w nich jest elektryzowany materiał) nie są przewodzące, ale wskutek silnego pola elektrycznego wywołanego na przykład przyłożonym wysokim napięciem, zaczynają przewodzić. Na materiale izolacyjnym elektrostatycznie będącym w otoczeniu jonów, zaczął gromadzić się ładunki elektrostatyczne. Do ulotu może dojść przy spełnieniu kilku warunków: napięcie musi być większe niż wartość progowa napięcia przebicia lub natężenia pola danego gazu, kształt i wielkość elektrody ulotowej muszą być odpowiednie.

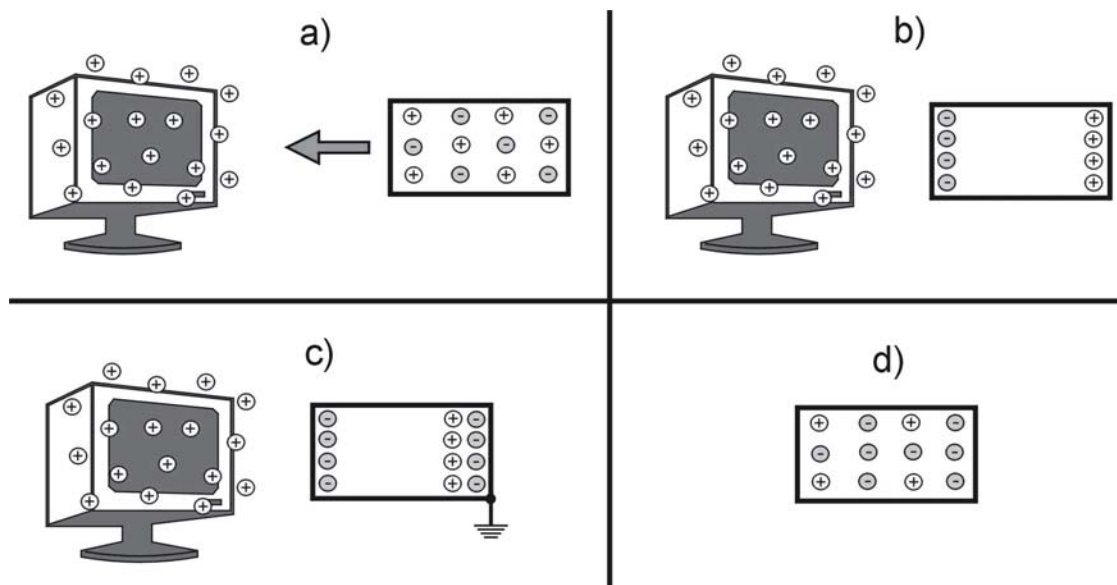
2.3. Elektryzacja przez indukcję

Elektryzować przez indukcję mogą się tylko materiały przewodzące ładunki elektryczne – przewodniki i materiały rozpraszające. Pod wpływem zewnętrznego pola elektrostatycznego w materiale przewodzącym wytwarza się (indukuje) dipol, a ładunki gromadzą się na powierzchni materiału przewodzącego – zgodnie z zasadą przyciągania ładunków różnoimiennych i odpychania ładunków jednoimiennych. Na materiale przewodzącym ładunek wyindukuje się tylko wtedy, gdy jest on w polu elektrycznym.

Naelektryzowany obiekt może naelektryzować przewodnik, wytwarzając na nim dipol przez doprowadzenie do rozdziału ładunków: jednoimienne się odpychają, różnoimienne się przyciągają. Przykładowy przebieg elektryzacji przez indukcję przedstawiono na rys. 3. Na skutek uziemienia i odprowadzenia ładunku jednoimiennego z materiału będącego dipolem, przewodnik elektryzuje się jednoimiennie.

2.4. Wyładowania elektrostatyczne

Wyładowanie elektrostatyczne jest krótkim impulsem prądowym, pojawiającym się zazwyczaj między obiektami o dużej różnicy potencjałów elektrostatycznych. Czas trwania wyładowania jest krótki, dochodzi do powstawania impulsów o bardzo dużych mocach, mogących doprowadzić do zapłonu atmosfery



Rys. 3. Elektryzacja przez indukcję
Fig. 3. Electrization by induction

wybuchowej, rażenia pracowników, uszkodzenia przyrządów elektronicznych.

Do wyładowania elektrostatycznego dochodzi w wyniku powstania dużej różnicy potencjałów. Napięcie przebicia powietrza wynosi około 32 kV/cm, a więc do wyładowania w nim dojdzie tylko w przypadku, gdy różnica potencjałów między ciałami przekroczy wartość tego napięcia. Do wyładowania nie dojdzie w sytuacji, gdy obiekt jest silnie naelektryzowany, ale nie występuje różnica potencjałów między nim a drugim obiektem.

3. Zagrożenia i regulacje w przemyśle

Przedstawiony poniżej podział jest podziałem autorskim, opartym na analizie literatury, głównie aktów prawa europejskiego i polskiego oraz norm [10].

Zagrożenia związane z elektrycznością statyczną rozważać można w następujących obszarach:

- komfort i bezpieczeństwo człowieka,
- przemysł elektroniczny i wytwarzanie elementów wrażliwych na wyładowania typu ESDS,
- pozostałe gałęzie przemysłu,
- atmosfery wybuchowe, w tym górnictwo węgla kamiennego,
- sale operacyjne.

Pierwszy obszar zagrożeń związany jest z komfortem człowieka i jego bezpieczeństwem. Obszar komfortu nie jest uregulowany ani aktami prawnymi ani normami – nie wyznaczono żadnych kryteriów oraz metod badań parametrów elektrostatycznych. Stosowanie obuwia lub odzieży z materiałów klasyfikowanych jako izolator lub materiał rozpraszający, zależy tylko od danej osoby. W tym obszarze często człowiek jest naelektryzowany, dochodzi do wyładowań elektrostatycznych i w konsekwencji do wypadków, nawet śmiertelnych. Dla przykładu można podać uszkodzenie kończyn wskutek upadku będącego efektem odruchu bezwarunkowego po wyładowaniu z ciała człowieka do metalowej poręczy (człowiek w izolujących butach w czasie chodzenia uległ naelektryzowaniu).

Drugi obszar zagrożeń obejmuje ochronę przyrządów elektronicznych i wrażliwych na wyładowania elektrostatyczne, tzw. obiektów typu ESDS. Jest to obszar bogato opisany w normach (rodzina norm serii PN-EN 61340 i IEC 61340).

Trzeci obszar zagrożeń obejmuje przemysł, głównie związany z materiałami niebezpiecznymi i palnymi. Bezpieczeństwo człowieka w pracy w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną reguluje w prawie europejskim dyrektywa dotycząca maszyn, a w prawie polskim rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21.10.2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn [11].

Czwarty obszar zagrożeń dotyczy stref zagrożonych wybuchem. Jest on najbardziej restrykcyjny, a określone dla niego parametry antystatyczne wynikają z dyrektyw Unii Europejskiej, rozporządzeń właściwych ministrów oraz norm jako aktów wykonawczych. Kontrola właściwości elektrostatycznych materiałów, ich ocena oraz posiadanie certyfikatu są niezbędne w przypadku stosowania ich w strefach zagrożonych wybuchem.

Nowym, piątym obszarem zagrożeń, będącym przedmiotem zainteresowania specjalistów od elektryczności statycznej jest medycyna – głównie miejsca, gdzie są prowadzone badania tomografem komputerowym, rezonansem magnetycznym itp. W miejscach tych występują silne pola i promieniowanie elektromagnetyczne, dlatego wskazane jest, aby powierzchnie robocze, w tym podłogi oraz obuwie pracowników były antystatyczne. W każdym z opisanych obszarów nadzór nad kontrolą parametrów elektrostatycznych wykorzystywanych materiałów i wyrobów jest zróżnicowany.

Wraz ze wzrostem udziału tworzyw sztucznych jako surowca w produkcji materiałów codziennego użytku oraz wzrostem liczby obiektów wrażliwych na wyładowanie elektrostatyczne

(ESDS), konieczne jest zapobieganie nadmiernej elektryzacji tych materiałów. Również w górnictwie węgla kamiennego wykorzystuje się wyroby wykonane z tworzyw sztucznych. Zapobieganie powstawaniu nadmiarowych ładunków elektryczności statycznej jest realizowane za pomocą środków zaradczych, głównie przez realizację procesu antystatyzacji.

4. System ochrony przed ESD w przemyśle elektronicznym

Niestety, obszaru tego nie regulują akty prawne, tzn. stosowanie norm nie jest przymusem, a wyłącznie dobrą wolą producenta, chęcią zainwestowania w ochronę antystatyczną, a tym samym jakością wyrobu. Coraz częściej jednak producenci lub odbiorcy żądają od swoich dostawców wdrożenia rozwiązań z norm serii PN-EN 61340 i IEC 61340, ponieważ mogą w ten sposób zagwarantować jakość i trwałość wyrobu, wykluczając na przykład wyładowanie elektrostatyczne z odzieży pracownika do układu elektronicznego. Uszkodzenie układu elektronicznego stanowi ukrytą wadę, która ujawnia się w czasie eksploatacji, a jest nie do wykrycia na etapie produkcji.

W przemyśle elektronicznym i związanym z komponentami wrażliwymi na ESD stosowanych jest szereg norm określających metody kontroli, badań oraz działań prewencyjnych, mających na celu zapewnienie bezpiecznego manipulowania – najczęściej podczas produkcji – elementami elektronicznymi. Komponenty elektroniczne (płyty drukowane, mikroprocesory) mogą ulec zniszczeniu wskutek wyładowania ładunku o potencjale 50 V. Stosowanie norm opisujących metody badań i kontroli w przemyśle elektronicznym nie jest przymusem ani wymagane przez prawo. Coraz częściej wdrożenie wymagań tych norm wynika z potrzeby zapewnienia jakości produkcji i produktów w przedsiębiorstwach elektronicznych.

4.1. Normy

System ochrony przyrządów elektronicznych przed wyładowaniami elektrostatycznymi (ESD) jest opisany w rodzinie norm serii PN-EN IEC 61340. Normy te są opracowywane przez europejski Komitet Techniczny IEC TC101 oraz polski Komitet Techniczny KT nr 143 ds. elektryczności statycznej PKN. W ramach komitetów technicznych pracują zarówno przedstawiciele świata nauki, producenci komponentów oraz producenci aparatury pomiarowej i wyposażenia ESD.

W skład rodziny norm wchodzi:

- PN EN 61340-2-1 – zdolność materiałów i wyrobów do rozpraszania ładunku elektrostatycznego,
- PN EN 61340-2-3 – metody badań stosowane do wyznaczania rezystancji i rezystywności płaskich materiałów stałych, używanych do zapobiegania gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego,
- PN EN 61340-3-1 – metody symulacji – model ciała człowieka,
- PN EN 61340-3-2 – metody symulacji – model mechaniczny,
- PN EN 61340-4-1 – rezystancja elektryczna wykładzin podłogowych i gotowych podłóg,
- PN EN 61340-4-3 – obuwie,
- PN EN 61340-4-4 – kontenery elastyczne (ang. *flexible intermediate bulk containers*),
- PN EN 61340-4-5 – metody oceny skuteczności ochrony przed elektrycznością statyczną, zapewnianej przez obuwie i podłogę w układzie z udziałem człowieka,
- IEC 61340-4-6 – opaski,
- IEC 61340-4-7 – jonizatory,
- IEC 61340-4-9 – odzież,
- PN EN 61340-5-1 – wymagania ogólne,
- PN EN 61340-5-2 – przewodnik użytkownika,
- PN EN 61340-5-3 – właściwości i wymagania dotyczące klasyfikacji opakowań.

4.2. Koordynator ESD

W rozumieniu normy [8] Koordynator ESD jest odpowiedzialny za wszystkie aspekty związane z ochroną przed wyładowaniami ESD. Posiadane uprawnienia Koordynatora ESD są wydawane na podstawie Rozporządzenia Ministra Edukacji i Nauki w sprawie uzyskania kwalifikacji zawodowych. Według zapisów normy [7] Koordynator ESD jest: *pracownikiem odpowiedzialnym za wdrażanie wymagań niniejszej normy.*

4.3. Strefy EPA

Przedsiębiorstwo powinno wyznaczyć pracownika odpowiedzialnego za wdrażanie wymagań programu, a przede wszystkim za dokumentowanie, nadzorowanie i weryfikowanie wymagań programu. Program ochrony przed ESD powinien uwzględniać: szkolenia, oceny zgodności, systemy uziemienia, uziemienie personelu, wymagania EPA oraz znakowanie (rys. 4).

Podstawą programu ochrony przed ESD jest stworzenie uziemiającego systemu połączeń w celu zlikwidowania różnic potencjału między przyrządami, personelem i innym wyposażeniem.

Drugą kluczową sprawą jest uziemienie personelu zgodnie z powyższymi wymaganiami. Schemat systemu uziemienia przedstawiono na rys. 5. Strefy EPA tworzy Koordynator ESD. Praca z komponentami wrażliwymi na ESD oraz praca z wysokimi napięciami powinna odbywać się w strefie EPA. Strefa EPA może być na przykład budynkiem, pomieszczeniem lub pojedynczym stanowiskiem pracy. Dostęp do strefy EPA powinien być ograniczony do personelu z odpowiednimi uprawnieniami oraz personelu z odbytym odpowiednim szkoleniem. Osobom nieprzeszkolonym powinien towarzyszyć personel.

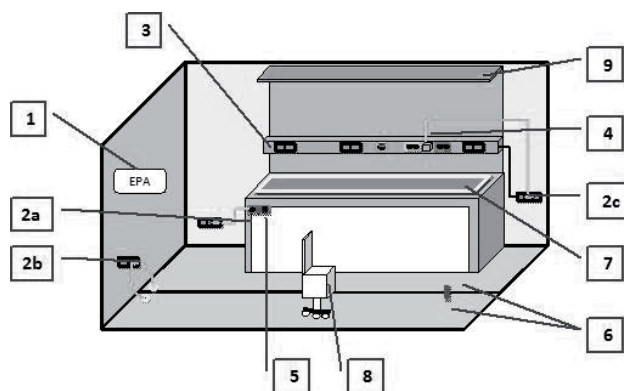
Wdrożone wymagania konstrukcyjne strefy EPA zapewniają, że wewnątrz nie dochodzi do wyładowań elektrostatycznych, a ładunek na operatorze wykonującym badania, na wyrobie lub innych urządzeniach jest odprowadzany do uziemienia z zachowaniem wymogów bezpieczeństwa. Uziemienie zapewnia dwuwarstwowa podłoga (warstwa przewodząca i rozpraszająca), jonizator powietrza, krzesło antystatyczne, opaski nadgarstkowe (rys. 6) wraz z punktami uziemień, obuwie oraz maty na blatach stołów. Wszystkie ściany muszą być oklejone specjalistyczną folią odprowadzającą (rozpraszającą) ładunek.

Zaletą zastosowanego systemu uziemień są punkty uziemień typu EBP (ang. *ElectroStatic Bonding Point*) – przykład skrzynki EPB i sposób znakowania przedstawiono na rys. 7. Punkty EBP są połączone z centralną skrzynką uziemiającą. Do centralnej skrzynki uziemiającej podłącza się też aparaturę i inne urządzenia wymagające uziemienia, natomiast do skrzynki EBP podłącza się uziemienie maty biurkowej, uziemienie opasek nadgarstkowych oraz uziemienie innych powierzchni roboczych (półki, ściany itp.). Punkty EBP zawierają wbudowane rezystory o wartości 1 MΩ, których zadaniem jest ograniczanie prądu wyładowania elektrostatycznego.

Okresowo w strefie EPA przeprowadzane są badania sprawności systemu uziemień. Badany jest potencjał pola elektrostatycznego na wszystkich powierzchniach roboczych oraz rezystancja

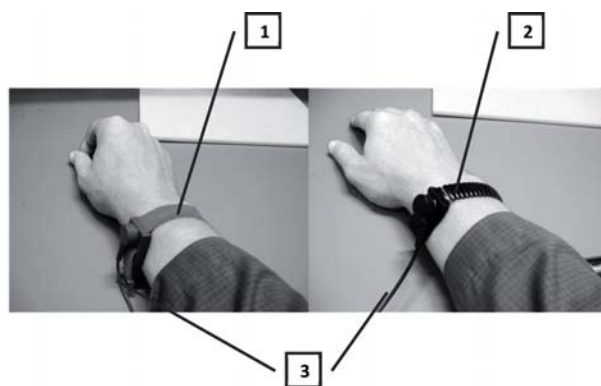


Rys. 4. Prawidłowe oznaczenie strefy EPA
Fig. 4. Correct marking EPA



Rys. 5. Schemat wykonania strefy EPA (1 – oznakowanie rejonu strefy EPA, 2 – gniazda instalacji elektrycznej z wpiętym adapterem uziemienia, 2a – uziemienie skrzynki uziemienia opasek nadgarstkowych, 2b – uziemienie wykładzin podłogowych, 2c – uziemienie centralnej skrzynki uziemiającej, 3 – listwa zasilania z awaryjnym wyłącznikiem napięcia, 4 – centralna skrzynka uziemiająca połączona z EBP, 5 – punkt podpięcia opaski nadgarstkowej, 6 – wykładziny podłogowe połączone między sobą paskami miedzianymi, 7 – mata nabiurkowa uziemiona, 8 – krzesło wykonane z rozpraszających materiałów i gumowych przewodzących kółek, 9 – oświetlenie miejsca pracy)

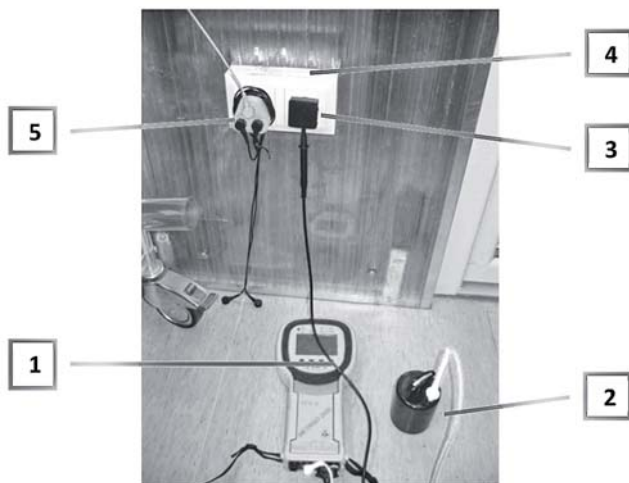
Fig. 5. Scheme of execution of the EPA zone (1 – EPA marking, 2 – electrical outlets with ground adapter, 2a – earthing of the earthing case, 2b – earthing of the floor cover, 2c – earthing of the central earthing box, 3 – power supply with emergency voltage switch, 4 – earthing hub connected to EBP, 5 – point of attachment of the wristband, 6 – Interconnected with copper strips, 7 – ground floor mat, 8 – chair made of diffused materials and rubber conductive wheels, 9 – workplace lighting)



Rys. 6. Opaski nadgarstkowe (1 – opaska wykonana z przewodzącej tkaniny, 2 – opaska wykonana z metalu, 3 – przewody uziemiające)
Fig. 6. Wrist band (1 – conductor made of conductive fabric, 2 – band made of metal, 3 – earthing conductor)



Rys. 7. Prawidłowe oznaczenie punktu Electrostatic Bonding Point (po lewej) oraz przykładowa skrzynka EBP (po prawej)
Fig. 7. Correct Bonding Point Electrostatic Mark (left) and Sample EBP Box (right)



Rys. 8. Układ do badań rezystancji względem punktu uziemienia gotowej podłogi: 1 – omomierz, 2 – elektroda pomiarowa, 3 – adapter uziemienia (potencjał 0 czyli ten sam, co w centralnej skrzynce uziemiającej), 4 – gniazdo instalacji elektrycznej, 5 – adapter uziemienia EBP z podłączonymi przewodami uziemiającymi wykładzinę podłogową

Fig. 8. Resistance test system with respect to the ground terminal of the finished floor: 1 – ohm, 2 – measuring electrode, 3 – grounding adapter (potential 0, same as in the central ground box), 4 – electrical outlet, 5 – EBP grounding with grounding wires connected to flooring

wszystkich powierzchni roboczych względem uziemienia (rys. 8 przedstawia badanie rezystancji podłogi), a także wykonuje się badanie czasu zaniku ładunku.

Konfiguracja strefy EPA

W opaskach nadgarstkowych i do uziemienia powierzchni roboczych stosuje się zwykle rezystor o znamionowej wartości $1 \times 10^6 \Omega$. Jeżeli operator dotknie naładowanego kondensatora (np. napięciem o wartości 500 V) rezystor ten ogranicza prąd płynący przez ciało człowieka do wartości mniejszej niż 0,5 mA. Wartość ta uważana jest za bezpieczną według odpowiednich norm.

Wszelkie powierzchnie robocze powinny być przystosowane do uziemienia przez rezystancję i wykazywać wartość rezystancji między punktami określoną w [7]. Odradza się uziemiania za pomocą szeregowego połączenia.

Jeżeli podłoga jest używana jako uziemienie człowieka przez specjalne obuwie, zaleca się aby spełniała te same wymagania co opaska nadgarstkowa – określone w normie [7]. Dla nowych podłóg próg oczekiwanej wartości określono na $1 \times 10^8 \Omega$.

Krzesła powinny być wykonane z materiałów słabo elektryzujących się.

Fartuchy ochronne powinny w pełni pokrywać rękawy ubrania spodniego, ponadto ubrania ochronne powinny chronić przed zetknięciem aparatury lub mierzonej próbki z ubraniem własnym.

Rękawice powinny być wykonane z przewodzących lub rozpraszających materiałów.

Jeżeli obuwie zapewnia system ochrony operatora przez podłogę, obuwie musi spełniać wymagania [7]. Samo noszenie obuwia nie zapewnia ochrony przed ESD a powinno być używane łącznie z odpowiednią podłogą (posadzką) i innymi środkami ochronnymi. Obuwie, tak jak opaski, wymaga regularnych kontroli. Rezystancja w układzie człowiek–podłoga–obuwie nie powinno przekraczać $3,5 \times 10^6 \Omega$.

Jonizator to środek do neutralizacji ładunków elektrostatycznych na nieprzewodzących wyrobach.

Nie zaleca się stosowania narzędzi z izolowanymi uchwytami. Z narzędzi ręcznych ładunek powinien być odprowadzony przez ciało operatora. Przepisy normy odnoszą się do małych urzą-

dzeń, zebranie zaleceń odnośnie urządzeń i aparatury dużej nie zostały ujęte w normie.

Zaleca się stosowanie przewodzących łańcuchów o odpowiedniej sile nacisku albo stosowanie przewodzących kółek wózka. Zaleca się wykonywanie pomiarów upływu do ziemi.

4.4. Metody badań

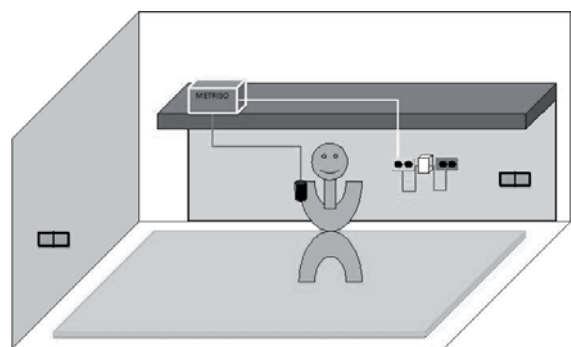
Celem pomiarów elektrostatycznych jest określenie cech badanego obiektu – stanu (stopnia) naelektryzowania lub właściwości antystatycznych (statusu materiału: izolator, rozpraszający lub przewodzący). Obie wymienione cechy związane są z natężeniem pola elektrycznego, które jest podstawowym parametrem służącym do opisu pola elektrycznego otaczającego ładunki elektrostatyczne.

Rezystancja elektryczna definiowana jest jako iloraz wartości napięcia stałego i prądu. Rezystancja obiektu jest ilorazem wartości napięcia stałego przyłożonego do badanego obiektu i prądu płynącego między elektrodami przez badany obiekt. Rezystancja wynika z zależności opisanej prawem Ohma.

Rezystancja powierzchniowa zwana oporem powierzchniowym jest to opór elektryczny materiału wyrażony w omach, mierzony między elektrodami pomiarowymi na tej samej powierzchni badanego materiału – zgodnie z odpowiednimi normami [5, 6].

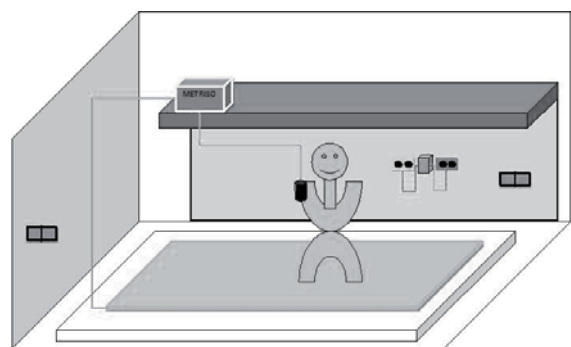
Rezystancja skrośna definiowana jest za pomocą ilorazu wartości napięcia stałego przyłożonego do dwóch elektrod na przeciwległych stronach materiału, do prądu skrośnego płynącego między elektrodami. Wynik pomiaru rezystancji skrośnej, tak samo jak w przypadku pomiaru rezystancji powierzchniowej, zależy od zastosowanej metody, czyli od układu elektrod.

Rezystancja układu człowiek–obuwie–podłoga jest modyfikacją pomiaru rezystancji skrośnej. Pomiaru rezystancji dokonuje się przez ciało człowieka (wartość znikoma), obuwie i podłogę. W przypadku pomiaru rezystancji układu na blaszce wynik pomiaru jest rezystancją skrośną obuwia. Układ pomiarowy przedstawiono na rysunkach 9a i 9b.



Rys. 9a. Układ człowiek–obuwie–podłoga – badanie odbiorcze na gotowej (zainstalowanej) podłodze

Fig. 9a. Layout man–footwear–floor – pickup test on ready (installed) floor

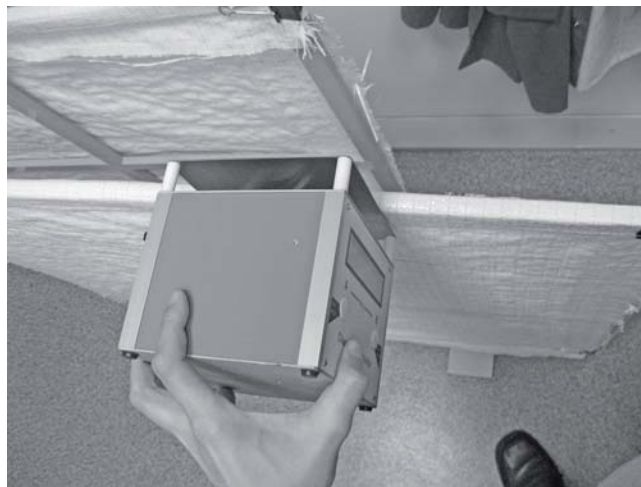


Rys. 9b. Układ człowiek–obuwie–podłoga na próbce podłogi umieszczonej na płycie podłożowej

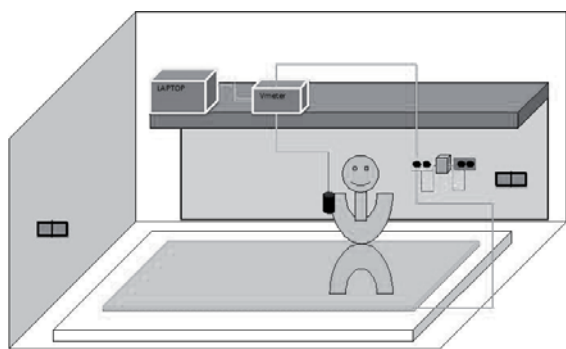
Fig. 9b. Layout man–footwear–floor on a floor sample placed on a backing plate



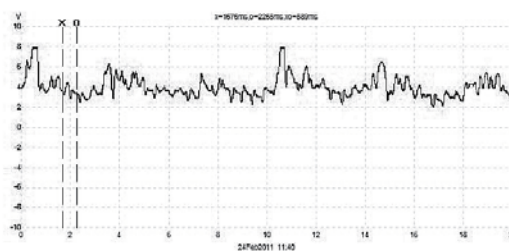
Rys. 10a. Monitor ładunku płyty CPM
Fig. 10a. Charged Plate Monitor CPM



Rys. 10b. Pomiar czasu zaniku ładunku z CPM poprzez badany obiekt (instalację, urządzenie)
Fig. 10b. Measurement of time of cargo decay from CPM through the tested object (installation, device)



Rys. 11a. Badanie zdolności do elektryzacji – tak zwany test chodzenia
Fig. 11a. Electrification ability test – the so-called walking test



Rys. 11b. Wykres napięcia na ciele człowieka w czasie testu chodzenia
Fig. 11b. Voltage graph on the human body during the walking test

W metrologii pomiarów elektrostatycznych często występuje pojęcie rezystancji upływu lub rezystancji względem uziemienia. Jest to rezystancja mierzona między elektrodą a uziemieniem obiektu lub materiału badanego [5]. Badanie wykonywane jest w celu określenia potencjalnej drogi ładunku elektrostatycznego z punktu pomiaru (przyłożenia elektrody) do punktu uziemienia.

Układ dwuelektrodowy do badania rezystancji powierzchniowej nazywany jest rezystancją między punktami [5]. Układ charakteryzuje się odległością między osiami elektrod większą niż 250 mm. Wśród wielu odbiorców metoda ta nie jest uznawana za rezystancję powierzchniową, choć od rezystancji paskowej różni się tylko kształtem i odległością między elektrodami do wyznaczenia rezystancji powierzchniowej.

W celu określenia stanu naelektryzowania stosuje się pomiar napięcia i potencjału elektrycznego względem uziemienia.

Potencjał elektrostatyczny lub potencjał pola elektrostatycznego definiowany jest jako praca wykonana przy przemieszczeniu ładunku q w polu elektrostatycznym z nieskończoności do punktu A, odniesioną do wartości tego ładunku. Wartość potencjału zależy tylko od położenia punktu A w polu, natomiast nie zależy od drogi. Napięcie elektrostatyczne jest różnicą potencjałów elektrostatycznych między dwoma punktami znajdującymi się w polu elektrostatycznym. Jeśli drugim punktem jest uziemienie o potencjale równym zero, to punkt pierwszy ma napięcie elektryczne równe potencjałowi tego punktu.

Na każdy ładunek będący w otoczeniu pola elektrostatycznego działa siła. Przesunięcie ładunku próbnego przez działanie pola z punktu A do punktu B wymaga wykonania pracy. Stosunek

tej pracy do ładunku elektrostatycznego jest napięciem elektrostatycznym:

Pomiar czasu zaniku ładunku jest stosunkowo młodą metodą metrologiczną. W literaturze można się spotkać z pomiarem czasu zaniku ładunku lub z pomiarem czasu półzaniku, według [4]. W obu metodach chodzi o pomiar zdolności badanego obiektu do odprowadzania do uziemienia ładunku elektrostatycznego.

Pomiar, wykonywany zgodnie z wymaganiami normy [4], jest realizowany za pomocą monitora ładunku płyty (CPM), przyrządu będącego rozbudowaną wersją elektrometru (rys. 10a). Przyrząd mierzy nie tylko potencjał pola elektrostatycznego w funkcji podstawowej, ale również czas zaniku ładunku z płyty – czas między wystąpieniem potencjału początkowego płyty, a potencjału końcowego. Dla przykładu, przyrząd zaczyna mierzyć czas, gdy na płycie zapanuje potencjał 1000 V, a skończy pomiar gdy potencjał płyty osiągnie wartość 500 V. Zanik potencjału z płyty następuje przez uziemiony badany obiekt (rys. 10b). Wynik pomiaru – czas zaniku ładunku jest czasem spadku napięcia płyty z 1000 V do 500 V przez badany obiekt.

Badanie zdolności do elektryzacji, tak zwany test chodzenia, wykonuje się w celu oceny parametrów elektrostatycznych posadzki wraz z obuwiem. Elementem układu pomiarowego jest człowiek (operator) (rys. 11a). W wyniku badania otrzymuje się przebieg napięcia na ciele człowieka (rys. 11b). Piki na przebiegu czasowym można łatwo zidentyfikować jako podniesienie stopy przez operatora.

4.5. System do wdrożenia

W normach [8–10] opisany jest pewien system ochrony przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną. W normach tych zawarte są wymagania techniczne dla uziemienia personelu i dla konstrukcji strefy EPA. Wymagania te przedstawiono w tabeli 1.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono podstawy ochrony przyrządów elektronicznych przed wyładowaniem elektrostatycznym. Zagrożenie, wraz z rozwojem techniki i miniaturyzacją, jest coraz większe. Z uwagi na coraz to mniejsze gabaryty komponentów elektronicznych oraz coraz większe ich upakowanie na jak najmniejszej powierzchni skutkuje wzrostem zagrożenia (mniejszą odpornością) na wyładowania elektrostatyczne. Wyładowania elektrostatyczne, które mogą zniszczyć przyrządy wrażliwe na wyładowania elektrostatyczne jest nieodczuwalne przez człowieka, który nie jest świadomy, że zniszczenie nastąpiło w wyniku wyładowania. Wyładowanie elektrostatyczne odczuwalne przez człowieka jest wywołane różnicą potencjałów o wiele wyższą niż te, które niszczą przyrządy elektroniczne. Wyładowanie elektrostatyczne odczuwalne przez człowieka charakteryzuje się o wiele większym napięciem (nawet kilka rzędów) od napięcia zdolnego zniszczyć przyrządy elektroniczne.

Uszkodzenia przyrządów elektronicznych (ESDS) przez wyładowania elektrostatyczne są na porządku dziennym. Większość tych uszkodzeń ma charakter wad ukrytych, które ujawniają się po jakimś czasie eksploatacji urządzenia, a ich efektem jest awaria lub dysfunkcja urządzenia. Uwzględniając obecną wielkość produkcji płyt drukowanych i urządzeń elektronicznych łatwo w prosty, systemowy sposób zapewnić właściwą jakość produkcji komponentów elektronicznych. Reżim elektrostatyczny występuje w branży samochodowej, elektronicznej, AGD, TV i wielu innych. Wymagania te nie są narzucone przez przepisy, ustawy czy dyrektywy, ale są coraz częściej wymagane przed odbiorców i klientów, a wiążą się z gwarancją działania.

Wprowadzenie w zakładzie produkcyjnym rozwiązań chroniących urządzenia elektroniczne przed wyładowaniami elektrostatycznymi gwarantuje ich wysoką jakość i trwałość oraz zwiększa zaufanie do producenta. Coraz więcej przedsiębiorstw produkcyjnych powołuje koordynatorów ESD czyli swojego rodzaju behapowców od wyładowań elektrostatycznych. Koszt wprowadzenie takich rozwiązań uzależniony jest od skali i potrzeb producenta, natomiast jest to wydatek jednorazowy, a utrzymanie systemu i jego cykliczna kontrola są znikome. Wprowadzenie rozwiązań strefy chroniącej przed wyładowaniami (EPA) musi być poprzedzone szkoleniami dla pracowników z zakresu ochrony przed elektrycznością statyczną.

Tabela 1. Wymagania techniczne dla uziemienia personelu

Table 1. Technical requirements for earthing of staff

Sposób kontroli przed ESD	Kwalifikacja produktu		Weryfikacja	
	metoda badań	limit	metoda badań	limit
opaski nadgarstkowe (pasek i przewód)	IEC 61340-4-6	$R < 5 \times 10^5 \Omega$ lub zdefiniowana	–	–
opaska nadgarstkowa	IEC 61340-4-6	$R \leq 1 \times 10^5 \Omega$ wewnątrz $R < 1 \times 10^7 \Omega$ zewnątrz	–	–
system opasek nadgarstkowych	–	–	IEC 61340-4-6	$R < 3,5 \times 10^7 \Omega$
buty	IEC 61340-4-3	$R \leq 1 \times 10^8 \Omega$	–	–
człowiek–obuwie–podłoga	IEC 61340-4-5	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$ i napięcie < 100 V	IEC 61340-4-5	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
człowiek–obuwie	–	–	Annex A	$R_{gp} < 1 \times 10^8 \Omega$

Tabela 2. Wymagania techniczne dla wyposażenia strefy EPA

Table 2. Technical requirements for EPA zone equipment

Sposób kontroli przed ESD	Kwalifikacja produktu		Weryfikacja	
	metoda badań	limit	metoda badań	limit
powierzchnie robocze	IEC 61340-2-3	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$ $R_{pp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-2-3	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
punkt uziemienia opasek				$R_g < 5 \times 10^6 \Omega$
podłogi	IEC 61340-4-1	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-1	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
jonizatory	IEC 61340-4-7	zanik (1000 V do 100 V) < 20 s nap. resztkowe < 35 V	IEC 61340-4-7	zanik (1000 V do 100 V) < 20 s nap. resztkowe < 35 V
siedzenia	IEC 61340-2-3	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-2-3	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$
odzież	IEC 61340-24-9 albo inna	$R_{pp} < 1 \times 10^{11} \Omega$ albo własna	IEC 61340-24-9 albo inna	$R_{pp} < 1 \times 10^{11} \Omega$ albo własna
odzież z uziemieniem	IEC 61340-24-9	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-24-9	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$

Bibliografia

1. Kędzierski P., *Kontrola właściwości elektrostatycznych wyrobów i urządzeń*. „Wiadomości Górnicze”, R. 63, Nr 1, 2012, 15–21.
2. Kędzierski P., *Badania dynamicznych właściwości elektrostatycznych – metody symulacji wyładowań*. „Wiadomości Górnicze”, R. 63, Nr 6, 2012, 337–340.
3. CLC/TR 50404:2003. Elektrostatyka – Kodeks postępowania praktycznego dla unikania zagrożeń związanych z elektrycznością statyczną.
4. PN-EN 61340-2-1:2004. Elektryczność statyczna. Część 2-1: Metody pomiaru – Zdolność materiałów i wyrobów do rozpraszania ładunku elektrostatycznego.
5. PN-EN 61340-2-3:2002. Elektryczność statyczna. Część 2-3: Metody badań stosowane do wyznaczania rezystancji i rezystywności płaskich materiałów stałych, używanych do zapobiegania gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego.
6. IEC 61340-4-10:2012. Electrostatics – Part 4-10: Standard tests methods for specific applications – Two-point resistance measurement.
7. PN-EN 61340-5-1:2009. Elektryczność statyczna. Część 5-1: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną. Wymagania ogólne.
8. PKN-CLC TR 61340-5-2:2014. Elektryczność statyczna. Część 5-2: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną – Przewodnik użytkownika.
9. PN-EN 61340-5-3:2015-11. Elektryczność statyczna – Część 5-3: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną – Właściwości i wymagania dotyczące klasyfikacji opakowań przeznaczonych dla przyrządów wrażliwych na wyładowania elektrostatyczne.
10. Kędzierski P., *Identyfikacja i ocena metod realizacji procesu antystatyzacji materiałów stosowanych w górnictwie*, rozprawa doktorska, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2017.
11. Dz. U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1228 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn.

Protection of Electronic Components against Static Electricity

Abstract: The publication contains an introduction to the various problems arising from electrostatic discharge. List the dangers of electrostatic discharges related to human safety and comfort, electronic defects in industrial electronics, explosive atmospheres in industry for the manufacture of various machines, and the dangers of medical research. The study presents a system of protection against harmful electrostatic discharge in the electronics industry resulting from international standards.

Keywords: static electricity, electrostatic discharge

dr inż. Przemysław Kędzierski

pkedzierski@gig.eu
www.elektrostatyka.gig.eu

Pracownik naukowy Głównego Instytutu Górnictwa. Absolwent Wydziału Elektrycznego oraz Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej. Kierownik wielu prac badawczych, ekspertyz oraz prac naukowych z zakresu elektryczności statycznej. Posiada kwalifikacje zawodowe Koordynatora ESD w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną. Zastępca Przewodniczącego KT nr 143 ds. Elektryczności Statycznej. Członek Prezydium Polskiego Komitetu Elektrostatyki SEP.

