

Przemysław Kędzierski

Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach

Kolegium Nauk Technicznych

40-007 Katowice, ul. Bankowa 8

ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA – POWSZECHNE ZJAWISKO I ZAGROŻENIE

Static electricity – a widespread phenomenon and a threat

Streszczenie

W publikacji przybliżono zjawisko elektryzacji wywołanej elektrycznością statyczną. Opisano metody elektryzacji oraz obszary zagrożeń od elektryczności statycznej. Przedstawiono różnice w zakresie poszczególnych obszarów, w szczególności jeżeli chodzi o obszar regulowany prawnie, to znaczy akty prawne prawa polskiego i europejskiego w zakresie wymagań od wyrobów posiadania właściwości elektrostatycznych. Opisano obszar produkcji komponentów elektronicznych, w którym opracowano wiele norm i metod badawczych różnych parametrów.

Słowa kluczowe: *elektryczność statyczna, elektrostatyka, elektryzacja, antystatyzacja, zagrożenie, strefy zagrożone wybuchem*

Abstract

The publication presents the phenomenon of electrification caused by static electricity. Electrification methods and static electricity hazard areas are described. Differences in individual areas are presented, in particular when it comes to the legally regulated area, i.e. legal acts of Polish and European law regarding the requirements for products to have electrostatic properties. The area of electronic component production is described, in which many standards and research methods for various parameters have been developed.

Keywords: *static electricity, electrostatics, electrification, antistatic, hazard, explosion hazard zones*

1. Wstęp

Elektryczność statyczna to zjawisko powszechne, związane z powstaniem ładunków elektrostatycznych. Ładunki elektrostatyczne powstają wskutek tarcia, rozdzielania lub indukcji. Wyladowania elektrostatyczne skutkują negatywnie dla człowieka oraz urządzeń elektronicznych i wyrobów wrażliwych. Wyladowania elektrostatyczne niosą zagrożenie wybuchu w strefach wybuchowych.

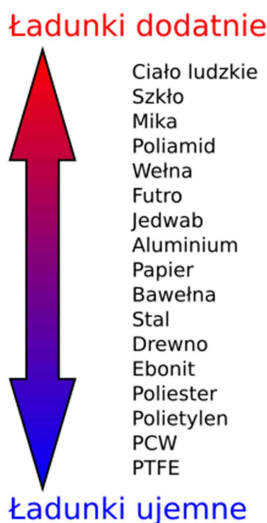
Wraz ze wzrostem produkcji tworzyw sztucznych na poziomie: 1 mln ton w 1950 roku, 100 mln ton w 1990 roku oraz 265 mln ton w 2010 roku, rośnie zagrożenie ze strony elektryzacji tworzyw sztucznych. Wraz ze wzrostem minimalizacji urządzeń, wzrostem zaawansowania technologicznego, rozwo-

jem techniki oraz związanym z tym pojawianiem się stref zagrożonych wybuchem wzrasta ryzyko negatywnych skutków wyładowań elektrostatycznych. W elektrostatyce wprowadzono następującą klasyfikację materiałów: przewodzące, rozpraszające i izolatory. Za kryterium podziału przyjęto rezystancję powierzchniową (RS): materiały przewodzące o rezystancji powierzchniowej $<105\Omega$, materiały rozpraszające $>105\Omega$ i $<109\Omega$ oraz izolatory $>109\Omega$.

2. Wprowadzenie do elektryczności statycznej

Ładunki elektrostatyczne powstają podczas elektryzacji: rozdzielania ładunków ujemnych od dodatnich, wyodrębnieniu ich z materii lub oddaleniu od siebie. Do elektryzacji dochodzi podczas: tarcia, rozdzielania, rozbryzgiwania, przelewania, rozdrabniania, przemian termicznych, procesów mechanicznych, zmiany stanów skupienia, indukcji elektrycznej.

W aspekcie elektryzacji kluczową rolę pełni szereg tryboelektryczny, czyli uporządkowanie materiałów pod względem biegunowości i wielkości wytworzonego ładunku. Niektóre materiały łatwiej tracą elektrony, inne łatwiej je kumulują.



Rys. 1. Szereg tryboelektryczny

Fig. 1. Triboelectric series

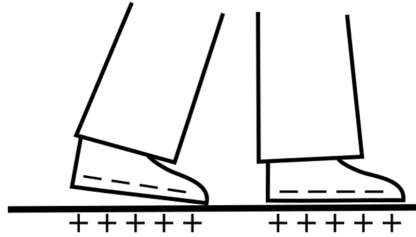
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Badania nad szeregiem tryboelektrycznym (rysunek 1) prowadził Cohen w XIX wieku. Badania były prowadzone w celu wskazania, które materiały wykazują elektryzację ze znakiem „+”, a które ze znakiem „-”. Cohen zauważył, że o znaku elektryzacji decyduje stała dielektryczna.

2.1. Elektryzacja kontaktowo-tarciowa

Elektryzacja kontaktowo-tarciowa, nazywana również jest metodą stykową, ponieważ na granicy styku ciał dochodzi do powstania warstwy podwójnej. W następstwie rozdzielenia jednym z nich wystąpi nadmiar elektronów.



Rys. 2. Elektryzacja przez kontakt – chodzenie

Fig. 2. Electrification by contact – walking

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

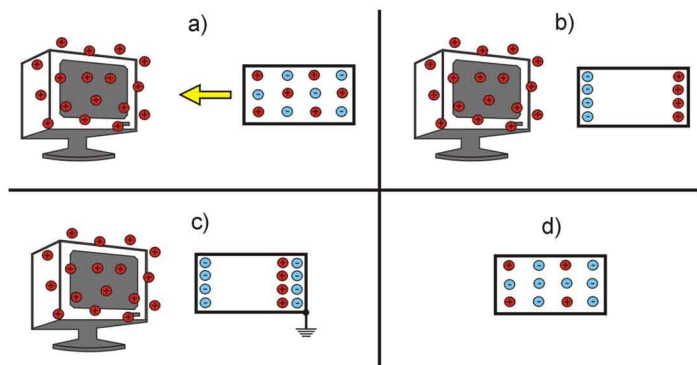
2.2. Elektryzacja przez ulot

Do elektryzacji ulotem dochodzi w polu elektrycznym. Obiekt będący pod wpływem pola elektrycznego absorbuje na swojej powierzchni ładunki. 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, zaczęłyby się gromadzić ładunki elektrostatyczne. Do ulotu może dojść tylko przy spełnieniu następujących warunków: napięcie musi być większe niż wartość progowa napięcia przebicia lub natężenia pola danego gazu, kształt i rozmiar elektrody ulotowej musi być odpowiedni.

2.3. Elektryzacja przez indukcję

Elektryzować przez indukcję mogą się materiały przewodzące. Pod wpływem pola elektrostatycznego w materiale indukuje się dipol, ładunki różnoimienne się przyciągają a jednoimienne odpychają.

Przebieg elektryzacji przez indukcję przedstawiono na rysunku 3. Wskutek uziemienia i odprowadzenia ładunku jednoimiennego z dipola, przewodnik elektryzuje się.



Rys. 3. Elektryzacja przez indukcję

Fig. 3. Charging by induction

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

3. Obszary ryzyka i zagrożeń

Przedstawiony poniżej podział jest podziałem własnym autora, opartym na analizie literatury, głównie aktów prawa europejskiego, polskiego i norm.

Zagrożenia związane z elektrycznością statyczną rozważać można w następujących obszarach:

- komfort i bezpieczeństwo człowieka;
- przemysł elektroniczny i wytwarzający elementy wrażliwe na wyładowania typu ESDS;
- przemysł;
- atmosfery wybuchowe, w tym górnictwo węgla kamiennego;
- sale operacyjne.

Pierwszy obszar zagrożeń to komfort człowieka i jego bezpieczeństwo. Obszar komfortu nie jest uregulowany ani aktami prawnymi ani normami – nie wyznaczono żadnych kryteriów oraz metod badań parametrów elektrostatycznych. Stosowanie obuwia bądź odzieży 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).

Bezpieczeństwo człowieka w pracy, w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną reguluje w prawie europejskim dyrektywa [89/686/EWG] dotycząca środków ochrony osobistej, a w prawie polskim – rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21.12.2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony [Dz.U. z 2005 r. Nr 259, poz. 2173], rozporządzenie Ministra

Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. z 2015 r. poz. 1422], rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 06.02.2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych [Dz.U. z 2003 r. Nr 47, poz. 401] oraz rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 11.06.2002 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny [Dz.U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650]. Wymienione rozporządzenia stanowią akty wykonawcze do ustaw: Kodeks pracy [Dz.U. z 2014 r. poz. 1502], Prawo budowlane [Dz.U. z 2016 r. poz. 290]. Wskazane w nich wymagania dotyczą ochrony przed elektrycznością statyczną, w tym głównie przed nadmierną elektryzacją.

Drugi obszar zagrożeń obejmuje ochronę przyrządów elektronicznych i wrażliwych na wyładowania elektrostatyczne, tak zwanych obiektów typu ESDS. Jest to obszar bogaty w normy (rodzina norm serii PN-EN 61340 i IEC 61340). Niestety, obszaru tego nie regulują akty wykonawcze, tzn. stosowanie norm nie jest przymusem, a wyłącznie dobrą wolą producenta, chęcią zainwestowania w ochronę antystatyczną. 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, ma zastosowanie 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 przymusowe ani wymagane przez prawo. Coraz częściej wdrożenie wymagań tych norm wynika z potrzeby zapewnienia jakości produkcji i produktów w przedsiębiorstwach elektronicznych.

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 [2006/42/WE] dotycząca maszyn, a w prawie polskim rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21.10.2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn [Dz.U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1228].

W polskich przepisach znaleźć można: rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14.08.2014 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie [Dz.U. z 2014 r. poz. 1853], rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 21.11.2014 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny

odpowiadać urządzeniom do napełniania i opróżniania zbiorników transportowych [Dz.U. z 2015 r. poz. 34], rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 07.06.2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [Dz.U. z 2010 r. Nr 109, poz. 719] oraz rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 07.10.1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie [Dz.U. z 2014 r. poz. 81]. Rozporządzenia te stanowią akty wykonawcze do ustaw: o dozorze technicznym [Dz.U. z 2015 r. poz. 1125], Kodeks pracy [Dz.U. z 2014 r. poz. 1502], Prawo budowlane [Dz.U. z 2016 r. poz. 290], o ochronie przeciwpożarowej [Dz.U. z 2016 r. poz. 191]. Określone w nich wymagania dotyczą ochrony przed nadmierną elektryzacją tam, gdzie ładunek elektrostatyczny może stanowić zagrożenie.

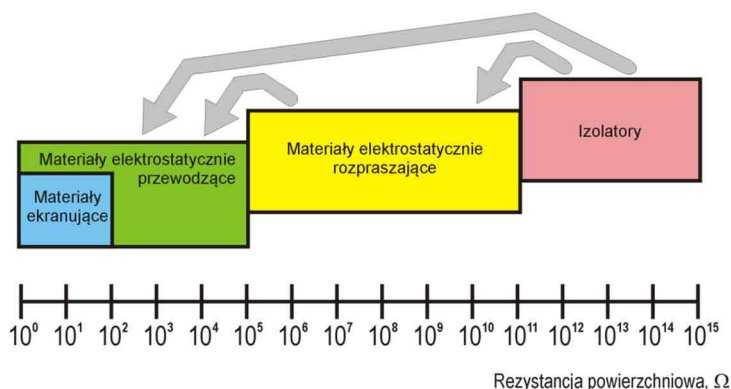
Czwarty obszar zagrożeń dotyczy stref zagrożonych wybuchem. Jest on najbardziej restrykcyjny, a określone dla niego parametry antystatyczne wynikają z dyrektyw Unii Europejskiej, rozporządzeń właściwych ministrów oraz norm, jako aktów wykonawczych. Kontrola właściwości elektrostatycznych materiałów,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

4. Antystatyzacja

Antystatyzacja, czyli nadanie materiałowi cech antystatycznych, jest procesem polegającym na zmianie właściwości elektrycznych wyrobu, realizowanym w celu zwiększenia szybkości rozpraszania (odprowadzania) ładunków lub zmniejszenia zdolności do elektryzacji albo zwiększenia szybkości rozpraszania (odprowadzania) ładunków i zmniejszenia zdolności do elektryzacji.

Niektóre antystatyki (napelniacze), dodawane w celu nadania pewnych cech, np. koloru, posiadają właściwości antystatyczne i wpływają na zmianę właściwości elektrycznych modyfikowanego materiału, jednak nie są one traktowane jako antystatyki, a ich użycie nie jest traktowane jako proces antystatyzacji.

Z punktu widzenia właściwości elektrostatycznych [CLC/TR 50404] materiały dzielimy na: ekranujące, przewodzące, rozpraszające i izolatory. Kryterium podziału materiałów jest rezystancja powierzchniowa. Z uwagi na powyższe, antystatyzację można uznać za proces polegający na zmianie rezystancji materiału, czyli jego zmianie: z rozpraszającego na przewodzący, z izolatora na rozpraszający lub z izolatora na przewodzący. Proces antystatyzacji przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Podział materiałów ze względu na ich rezystancję. Proces antystatyzacji

Fig. 4. Classification of materials according to their resistance. The antistatic process

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Na szybkość odprowadzenia ładunku z materiału wpływ ma również pojemność elektryczna, jednak antystatyzacja nie jest utożsamiana ze zmianą pojemności elektrycznej wyrobu chociażby dlatego, że trudno jest modyfikować i sterować pojemnością elektryczną tworzywa sztucznego. Ponadto, nie ma opracowanej żadnej znormalizowanej metody do pomiaru pojemności elektrycznej wyrobów. Dodanie do wyrobu chociażby metalowych elementów, poza modyfikacją pojemności elektrycznej, modyfikuje też jego rezystancję.

Przyjmując, że antystatyzowany materiał jest uziemiony, to wyładowanie elektrostatyczne (rozładowanie lub odprowadzenie nadmiarowego ładunku elektrostatycznego z obiektu do uziemienia lub ziemi) opisane jest funkcją wykładniczą:

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Z tej zależności wynika, że na szybkość rozładowania decydujący wpływ ma pojemność elektryczna i rezystancja wyrobu. W artykule pojemność elektryczną wyrobu potraktowano jako cechę wyrobu określającą jego zdolność do kumulacji ładunków.

Przyjmując, że antystatyzowany materiał jest odizolowany, to całkowity ładunek elektrostatyczny naniesiony na materiał pozostanie na nim. Od rezystancji materiału zależy czy ładunek elektrostatyczny rozprzysię się po całej powierzchni lub objętości materiału, czy też pozostanie w miejscu powstania (naniesienia). Rozkład powierzchniowy ładunku na odizolowanym materiale ma duże znaczenie, ponieważ decyduje o wielkości ładunku elektrycznego na jego powierzchni. Od pojemności elektrycznej wyrobu, niezależnie od wielkości zgromadzonego na nim ładunku elektrostatycznego, zależy potencjał elek-

tryczny obiektu naelektryzowanego, a w konsekwencji energia wyładowania elektrostatycznego.

5. Koordynator ESD

Według normy [8] Koordynator ESD to osoba odpowiedzialna za wszystkie aspekty związane z ochroną przed wyładowaniami elektrostatycznymi. Uprawnienia te wydawane są na podstawie Rozporządzenia Ministra Edukacji i Nauki w sprawie uzyskania kwalifikacji zawodowych. Wg normy [7] Koordynator ESD jest: *pracownikiem odpowiedzialnym za wdrażanie wymagań niniejszej normy.*

6. Strefy EPA

Strefy chronione przed wyładowaniami elektrostatycznymi, czyli obszary, gdzie eliminuje się możliwość powstania wyładowania elektrostatycznego wdraża się wszędzie tam, gdzie istnieje taka potrzeba. Co prawda rozwiązania EPA czyli ESD Protected Area zostały opisane w normach dotyczących branży elektronicznej, ale rozwiązania te stosuje się również w innych obszarach, w tym strefach zagrożonych wybuchem.

Norma IEC 61340 stanowi, że przedsiębiorstwo powinno wyznaczyć pracownika odpowiedzialnego za wdrażanie wymagań programu a przede wszystkim: dokumentowanie, nadzorowanie i weryfikowanie wymagań programu. Program ochrony przed ESD powinien uwzględniać: szkolenia, oceny zgodności, systemy uziemienia, uziemienie personelu, wymagania EPA oraz znakowanie (rysunek 5).



Rys. 5. Oznaczenie strefy EPA

Fig. 5. EPA zone marking

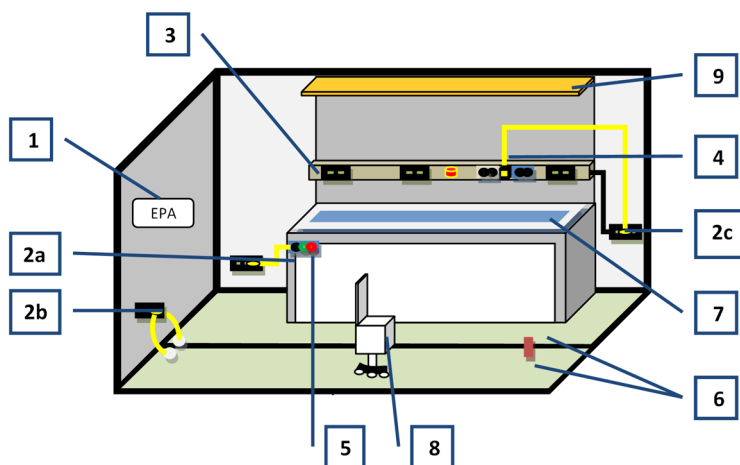
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Podstawą programu ochrony przed ESD jest stworzenie uziemiającego systemu połączeń w celu zlikwidowania różnic potencjału pomiędzy przyrządami, personelem i innym wyposażeniem. Drugą kluczową sprawą jest uziemienie personelu zgodnie z powyższymi wymaganiami. Schemat systemu uziemienia przedstawiono na rysunku 6.

Strefy EPA tworzy Koordynator ESD.

Praca z komponentami ESDS oraz praca z wysokimi napięciami powinna odbywać się w strefie EPA. Strefą EPA może być budynek, pomieszczenie lub pojedyncze stanowisko pracy. Dostęp do strefy EPA powinien być ograniczony tylko dla personelu z odpowiednimi uprawnieniami oraz odpowiednim szkoleniem.



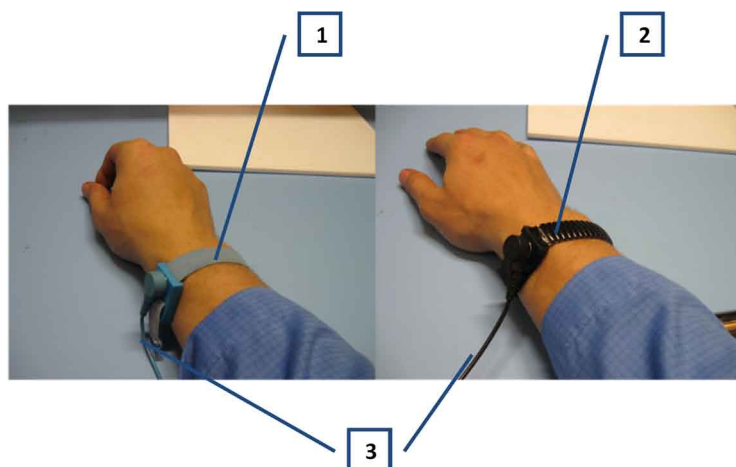
Rys. 6. Schemat strefy EPA (1 – oznakowanie rejonu strefy EPA, 2 – gniazda instalacji elektrycznej z wpiętym adapterem uziemienia, 2a – uziemienie skrzynki uziemienia opasek nadgarstkowych, 2b – uziemienie wykładzin podłogowych, 2c – uziemienie centralnej skrzynki uziemiającej, 3 – listwa zasilania z 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. 6. Schematic of an EPA zone (1 – EPA zone marking, 2 – electrical outlets with grounding adapter inserted, 2a – grounding of wrist strap grounding box, 2b – grounding of floor coverings, 2c – grounding of central grounding box, 3 – power strip with emergency voltage cut-off switch, 4 – central grounding box connected to EBP, 5 – wrist strap connection point, 6 – floor coverings connected together with copper strips, 7 – grounded desk mat, 8 – chair made of dissipative materials and conductive rubber casters, 9 – work area lighting)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wdrożone wymagania dla strefy EPA zapewniają, że w strefie nie dochodzi do wyladowań elektrostatycznych, a ładunek elektrostatyczny na człowieku, wyrobie lub innych urządzeniach jest odprowadzany do uziemienia z zachowaniem bezpieczeństwa. Uziemienie zapewnione jest przez: podłogę, jonizator powietrza, krzesło antystatyczne, opaski nadgarstkowe (rysunek 7), obuwie oraz maty na blatach stołów.



Rys. 7. Opaski nadgarstkowe (1 – opaska wykonana z przewodzącej tkaniny, 2 – opaska wykonana z metalu, 3 – przewody uziemiające)

Fig. 7. Wristbands (1 – wristband made of conductive fabric, 2 – wristband made of metal, 3 – grounding cords)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



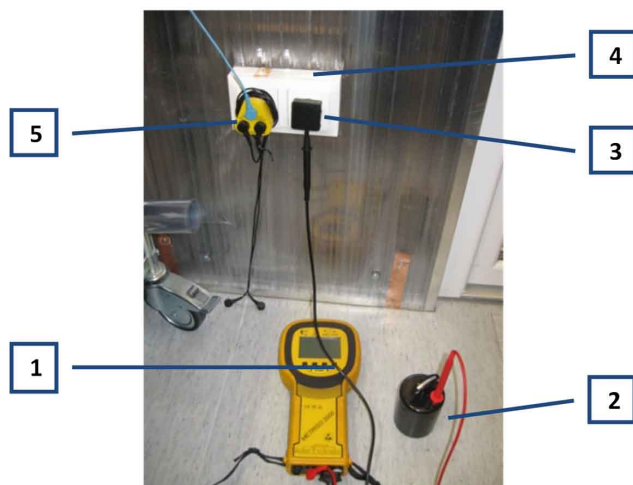
Rys. 8. Oznaczenie punktu Electrostatic Bonding Point oraz skrzynka EBP

Fig. 8. Location of the Electrostatic Bonding Point (EBP) and EBP box

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Okresowo przeprowadza się w strefie EPA testy sprawności systemu uziemień. Sprawdzany jest potencjał pola elektrostatycznego na wszystkich powierzchniach roboczych oraz rezystancja wszystkich powierzchni roboczych względem uziemienia (rysunek 9).



Rys. 9. 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. 9. Arrangement for testing resistance to ground of a finished floor (1 – ohmmeter, 2 – measuring electrode, 3 – grounding adapter (potential 0 i.e. the same as in the central grounding box), 4 – electrical outlet, 5 – EBP grounding adapter with connected grounding wires of the floor covering)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

7. Konfiguracja strefy EPA

W opaskach nadgarstkowych i do uziemienia blatów stosuje się rezystory o znamionowej wartości rezystancji $1 \times 10^6 \Omega$. W sytuacji, gdy operator dotknie naelektryzowanego obiektu to rezystor ten ogranicza prąd płynący przez ciało człowieka do wartości mniejszej niż 0,5mA. Wartość ta uważana jest za bezpieczną dla człowieka.

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

Jeżeli podłoga jest używana jako uziemienie człowieka poprzez 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 czy próbki z ubraniem własnym.

Rękawice powinny być wykonane z przewodzących lub rozpraszających materiałów.

Jeżeli obuwie zapewnia system ochrony operatora poprzez 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. Obutwie, tak jak opaski, wymaga regularnych kontroli. Rezystancja w układzie człowiek podłoga obuwie nie powinno przekraczać $3,5 \times 10^6 \Omega$.

Nie zaleca się stosowania narzędzi z izolowanymi uchwytami. Z narzędzi ręcznych ładunek powinien być odprowadzony przez ciało operatora. Przepisy normy dotyczą małych urządzeń, zebranie zaleceń odnośnie urządzeń i aparatury dużej nie zostały ujęte w normie.

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

8. Metody badań

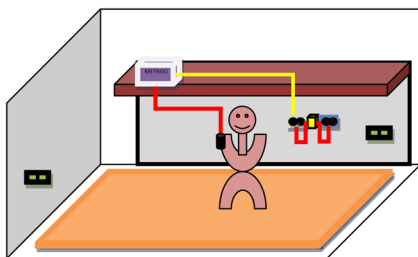
Pomiary elektrostatyczne mają na celu określenie cech badanego obiektu: stanu (stopnia) naelektryzowania lub właściwości antystatycznych (statusu materiału: izolator, rozpraszający lub przewodzący). Obie wymienione cechy związane są z natężeniem pola elektrycznego, które jest podstawowym parametrem służącym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

Rezystancję elektryczną definiuje się jako iloraz wartości napięcia stałego i prądu. Rezystancję obiektu należy rozumieć jako iloraz wartości napięcia stałego przyłożonego do badanego obiektu i prądu płynącego między elektrodami przez badany obiekt. Rezystancja wynika z zależności zwanej 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 – według [5 i 6].

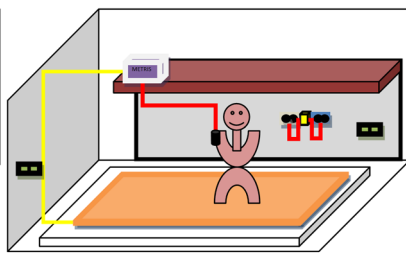
Rezystancja skrośna definiowana jest jako iloraz wartości napięcia stałego przyłożonego do dwóch elektrod na przeciwnych stronach materiału, do prądu skrośnego płynącego między elektrodami. Wynik pomiaru rezystancji skrośnej, tak samo jak w przypadku pomiaru rezystancji powierzchniowej, zależy od zastosowanej metody czyli 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 rysunku 10a i 10b.



Rys. 10a. Układ człowiek-obuwie-podłoga
– badanie odbiorcze na gotowej (zainstalowanej)
podłodze

Fig. 10a. Human footwear-floor system
– acceptance testing on a finished (installed) floor



Rys. 10b. Układ człowiek-obuwie-podłoga na
próbce podłogi umieszczonej na płycie podłożowej

Fig. 10b. The human-footwear-floor system on
a floor sample placed on a substrate board.

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

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, według [5]. Badanie wykonywane jest w celu określenia potencjalnej drogi ładunku elektrostatycznego z punktu pomiaru (przyłożenia elektrody) do punktu uziemienia.

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

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 [4], odbywa się przy użyciu monitora ładunku płyty (CPM), przyrządu będącego rozbudowaną wersją elektrometru (rysunek 11a). Przyrząd mierzy nie tylko potencjał pola elektrostatycznego w funkcji podstawowej, ale również czas zaniku ładunku z płyty – czas pomiędzy 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 poprzez uziemiony badany obiekt – jak na rysunku 11b. Wynik pomiaru – czas zaniku ładunku jest czasem spadku napięcia płyty z 1000 V do 500 V przez badany obiekt.



Rys. 11a. Monitor ładunku płyty CPM

Fig. 11a. CPM plate load monitor

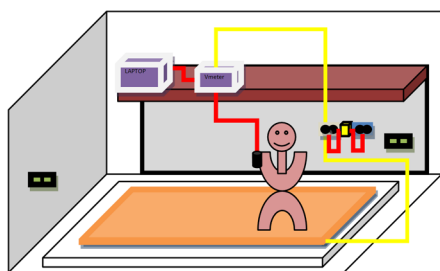


Rys. 11b. Pomiar czasu zaniku ładunku z CPM poprzez badany obiekt (instalację, urządzenie)

Fig. 11b. Measurement of charge decay time from CPM through the tested object (installation, device)

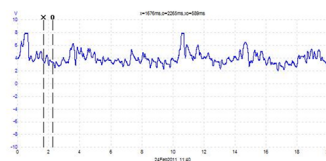
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

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) jak na rysunku 12a. W wyniku badania otrzymuje się przebieg napięcia na ciele człowieka (rysunek 12b). Piki na przebiegu czasowym łatwo można zidentyfikować jako podniesienie stopy przez operatora.



Rys. 12a. Badanie zdolności do elektryzacji – tak zwany test chodzenia

Fig. 12a. Research on the ability to electrify – the so-called walking test



Rys. 12b. Wykres napięcia na ciele człowieka w czasie testu chodzenia

Fig. 12b. Graph of voltage on the human body during the walking test

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

9. System do wdrożenia

Normy [8, 9, 10] opisują 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 poniżej.

Tabela 1. Wymagania techniczne dla uziemienia personelu

Table 1. Technical requirements for personnel grounding

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 $< 100V$	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 (1000V do 100V) $< 20s$ nap. resztkowe $< 35V$	IEC 61340-4-7	Zanik (1000V do 100V) $< 20s$ nap. resztkowe $< 35V$
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 61340-4-9 albo inna	$R_{pp} < 1 \times 10^{11} \Omega$ albo własna	IEC 61340-4-9 albo inna	$R_{pp} < 1 \times 10^{11} \Omega$ albo własna
odzież z uziemieniem	IEC 61340-4-9	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-9	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$

10. Podsumowanie

W publikacji przedstawiono podstawy ochrony przyrządów elektronicznych przed wyladowaniem elektrostatycznym. Zagrożenie, wraz z rozwojem techniki i minimalizacją, jest coraz większe. Coraz mniejsze gabaryty kompo-

mentów elektronicznych oraz coraz gęstsze ich upakowanie na jak najmniejszej powierzchni skutkuje wzrostem zagrożenia (mniejszą odpornością) na wyładowania elektrostatyczne. Wyładowania elektrostatyczne, nieodczuwalne przez człowieka, są w stanie zniszczyć przyrządy wrażliwe na wyładowania elektrostatyczne. Wyładowanie elektrostatyczne odczuwalne przez człowieka jest wywołane różnicą potencjałów o wiele wyższą niż te różnice potencjałów niszczące 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 są to wady ukryte, które ujawniają się po jakimś czasie eksploatacji urządzenia a ich efektem jest awaria lub dysfunkcja urządzenia. Przy obecnym ogromie produkcji płyt drukowanych i urządzeń elektrycznych łatwo w prosty, systemowy sposób, zapewnić właściwą jakość produkcji komponentów elektronicznych. Reżim elektrostatyczny pojawia się 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 przed wyładowaniami elektrostatycznymi gwarantuje wysoką jakość i trwałość wyrobów elektronicznych i zwiększa zaufanie do producenta. Coraz więcej przedsiębiorstw produkcyjnych ustanawia u siebie koordynatorów ESD czyli swojego rodzaju „behopowców” 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 jest znikomy. Wprowadzenie rozwiązań strefy chroniącej przed wyładowaniami (EPA) musi być poprzedzone szkoleniami dla pracowników z zakresu ochrony przed elektrycznością statyczną.

References

- [1] Kędzierski P., 2012a. *Kontrola właściwości elektrostatycznych wyrobów i urządzeń*. Wiadomości Górnicze, 1.
- [2] Kędzierski P., 2012b. *Badania dynamicznych właściwości elektrostatycznych – metody symulacji wyładowań*. Wiadomości Górnicze, 6.
- [3] CLC/TR 50404:2003. Elektrostatyka – Kodeks postępowania praktycznego dla unikania zagrożeń związanych z elektrycznością statyczną.
- [4] PN-EN 61340-2-1. Elektryczność statyczna. Część 2-1: Metody pomiaru – Zdolność materiałów i wyrobów do rozpraszania ładunku elektrostatycznego.
- [5] PN-EN 61340-2-3. 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 Electrostatics – Part 4-10: Standard tests methods for specific applications – Two-point resistance measurement.
- [7] PN-EN 61340-5-1 Elektryczność statyczna. Część 5-1: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną. Wymagania ogólne.
- [8] PKN-CLC TR 61340-5-2 Elektryczność statyczna. Część 5-2: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną – Przewodnik użytkownika.
- [9] PN-EN 61340-5-3 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] Rozprawa doktorska „Identyfikacja i ocena metod realizacji procesu antystatyzacji materiałów stosowanych w górnictwie”, Przemysław Kędzierski, Główny Instytut Górnictwa, 2017.