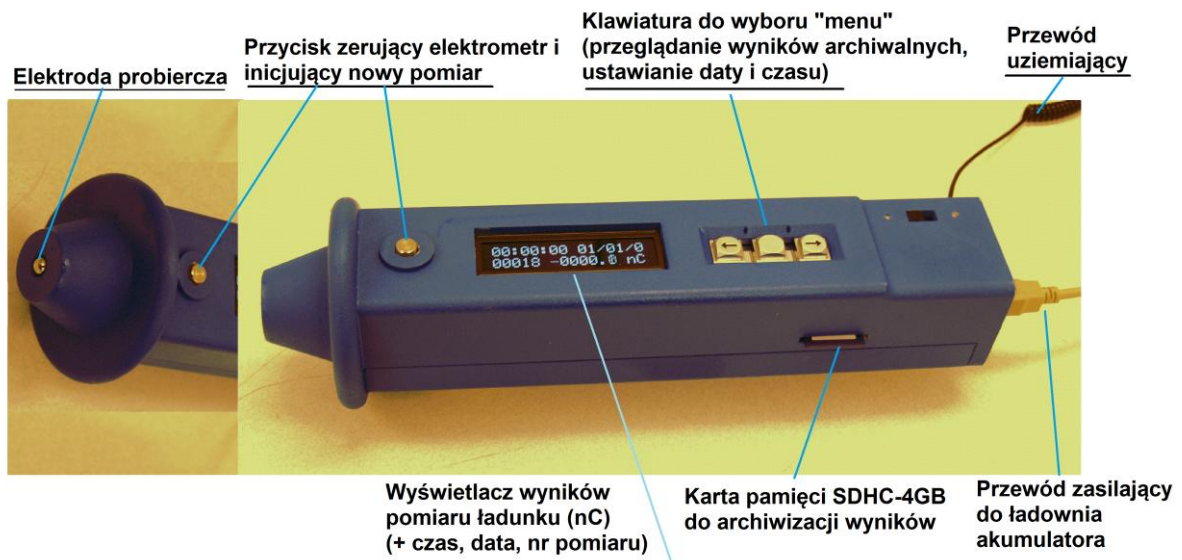


dr inż. Zygmunt Grabarczyk

## Zasady oceny narażenia pracowników na pole elektrostatyczne

Materiał informacyjny



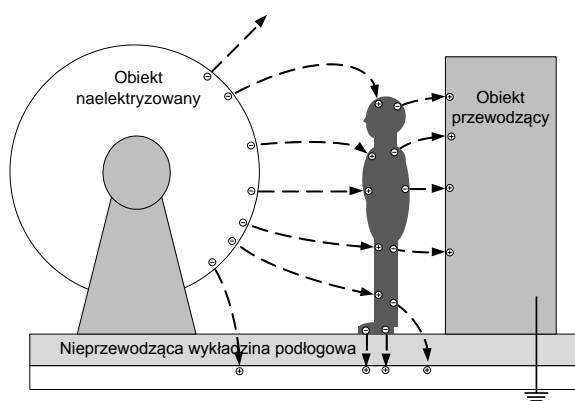
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2016

## Wprowadzenie

W ramach transpozycji dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi), do polskich przepisów dotyczących NDN wprowadzono także wymaganie oceny narażenia pracowników na stanowiskach pracy na pole elektrostatyczne (PES).

Pole elektrostatyczne jest jednym z fizycznych czynników środowiska pracy. Na potrzeby oceny ekspozycji lub narażenia w przestrzeni pracy, jako pole elektrostatyczne (PES) określono w polskich przepisach [1] pole elektryczne o częstotliwości z zakresu 0 – 5 Hz. Najczęstszym jego źródłem pierwotnym są obiekty (materiały, opakowania, taśmociągi, itp.) naelektryzowane w trakcie procesów wytwarzania i przetwarzania tworzywa sztucznego. Ekspozycja człowieka na PES powoduje elektryzowanie się ciała przez indukcję, jeśli jego rezystancja upływu do ziemi przekracza wartość 1 – 10 GΩ. Zjawisko to pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Mechanizm elektryzacji przez indukcję ciała pracownika odizolowanego od ziemi

Jedynym dotychczas zidentyfikowanym niekorzystnym skutkiem ekspozycji ciała człowieka na PES jest rażenie elektrostatyczne, którego poziom szkodliwości jest bezpośrednio związany z wartością ładunku elektrycznego przeniesionego w czasie rażenia.

Rażeniami elektrostatycznymi określa odczuwalne skutki przepływu prądu wyładowania przez ciało człowieka. Do rażeń dochodzi przy dotyku przez człowieka obiektów naelektryzowanych, lub w przypadku, gdy odizolowany od ziemi pracownik, ekspozycja na pole elektrostatyczne dotyka obiektów przewodzących (także innych osób). Mogą być one przykre lub bolesne. Typowe reakcje na rażenia przedstawiono w Tab.1.

W przypadku rażeń spowodowanych ekspozycją ciała na PES, ładunek nie przekracza wartości maksymalnej ok. 10 000 nC. Stosunkowo mało prawdopodobne jest także wyładowanie o energii większej od ok. 200 mJ. Dlatego nie dochodzi tu do utraty przytomności ani zatrzymania akcji serca. Natomiast pozostałe skutki mogą powodować niekontrolowane ruchy, stwarzając zagrożenie wypadkowe.

Ocena zagrożenia skutkami pośrednimi powinna opierać się na wynikach pomiaru natężenia PES w miejscu ekspozycji, jednak w praktyce taki pomiar jest obecnie niemożliwy do wykonania (brak metody i aparatury pomiarowej). Dlatego w CIOP-PIB opracowano metodę równoważną, polegającą na pomiarze ładunku elektrycznego indukowanego na powierzchni ciała osoby ekspozycji na PES.

Tab. 1. Zależność skutków rażeń elektrostatycznych od energii wyładowania elektrostatycznego - dane szacunkowe na podstawie przeglądu literatury lub ładunku elektrycznego przepływającego w trakcie wyładowania

Skutki rażenia – progi:	Zakres wartości energii wyładowania, mJ	Zakres wartości ładunku elektrycznego przeniesionego w czasie wyładowania z ciała człowieka, nC
- percepcji wyładowania (nieuciążliwe odczucie)	0,185 – 2,0	161 – 1095
- odczuwania ukłucia, impuls wzdłuż palca	0,875 – 3,75	350 - 1500
- lekkich skurczów palca, ukłucie	2,24 – 9,6	560 - 2400
- rażeń przykrych, odruchowe cofnięcia ręki	5,04 – 21,6	840 - 3600
- gwałtownego cofania ręki, drgnięcia ciała	31,5 – 135	2100 - 9000
- skurczów mięśni dłoni	56 – 240	2800 - 12000
- skurczów mięśni ręki, lęk, odczuwalny ruch włosów	161 – 346	4750 - 14400
- poważnych rażeń, skurcze mięśni, piekący ból	250 – 800	5916 - 21910
- utraty przytomności	1 000	11830 - 24500
Śmierć (zatrzymanie akcji serca)	10 000 – 70 000	37417 - 77460

## Metoda pomiaru ładunku

### Uzasadnienie metody

Pomiar wartości ładunku elektrycznego zaindukowanego na powierzchni ciała osoby ekspozowanej na PES polega na zmierzeniu wartości ładunku przepływającego między naelektryzowanym ciałem pracownika a ziemią, w momencie uziemienia ciała. W momencie uziemienia dodatni albo ujemny ładunek (w zależności zwrotu PES względem ciała) dopływa do ciała elektryzując je jednoimiennie. Dlatego możliwe jest wykonanie dwóch równoważnych pomiarów wartości bezwzględnej ładunku: pomiar ładunku na stanowisku pracy, przy uziemieniu ciała pracownika i pomiar ładunku o przeciwnej polaryzacji przy uziemieniu pracownika po wyjściu z zasięgu PES. Przy braku upływu z ciała do ziemi, obie metody są równoważne, natomiast obecność upływu może spowodować, że drugi pomiar wykaże mniejszą wartość bezwzględną ładunku niż pierwszy.

Zależność między natężeniem PES a wartością indukowanego ładunku można wyrazić poniższą zależnością:

$$Q_i = \frac{1}{2\epsilon_0} \iint_S |\vec{E} \cdot \vec{ds}| \quad (1)$$

gdzie  $Q_i$  – wartość ładunku indukowanego na powierzchni ciała,  $S$  – powierzchnia ciała, strzałki oznaczają zapis wektorowy natężenia PES i wektora powierzchni ciała,  $\epsilon_0$  – przenikalność elektryczna powietrza

Wartość ładunku indukowanego  $Q_i$  jest równa połowie wartości strumienia indukcji elektrycznej przenikającej całą powierzchnię ciała.

Wartość zaindukowanego ładunku zależy od natężenia PES i od wartości pola powierzchni ciała. W celu oszacowania średniej wartości natężenia PES na podstawie wartości zmierzonego ładunku, wprowadzono pojęcie powierzchni skutecznej ciała  $S_{sk}$ , wiążącej obie wielkości:

$$S_{sk} = \frac{Q_i}{\epsilon_0 E_{sr}} \quad (2)$$

Wartość  $S_{sk}$  jest zależna od rozmiarów ciała. Można ją wyznaczyć metodą doświadczalną umieszczając człowieka lub fantom o przewodzącej powierzchni w jednorodnym PES o znanym natężeniu  $E_0$  i mierząc ładunek zaindukowany na jego powierzchni. Równoważną metodą jest metoda numeryczna, polegająca na obliczeniu maksymalnej wartości strumienia indukcji elektrycznej przenikającej model ciała. Przy opracowywaniu transpozycji dyrektywy 2013/35/UE do prawa polskiego, w celu ustalenia wartości natężenia PES dopuszczalnych z uwagi na możliwe skutki rażeń elektrostatycznych, przyjęto wartość  $S_{sk} = 1,3 \text{ m}^2$  - wartość oszacowaną dla rozmiarów ciała 95-centylowego mężczyzny dla populacji polskiej,

podanych w (Gedliczka A., Pochopień P., Szklarska A., Welon Z. (2001) Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy).

## Dobór aparatury pomiarowej

W celu zmierzenia ładunku, wywołuje się wyładowanie elektrostatyczne (ESD) między ciałem pracownika ekspozowanego na PES a elektrodą pomiarową uziemionego miernika ładunku. W celu uniknięcia przykrego lub bolesnego rażenia osoby badanej, opracowano elektrodę pomocniczą, trzymaną w dłoni przez pracownika. Elektroda pośrednia musi mieć gładką powierzchnię, bez krawędzi i ostrzy, w celu uniknięcia utraty ładunku z powierzchni ciała badanego, na skutek wyładowania ulotowego. Konstrukcję elektrody pośredniczącej pokazano w zestawieniu z modelem miernika ładunku na rys. 2.

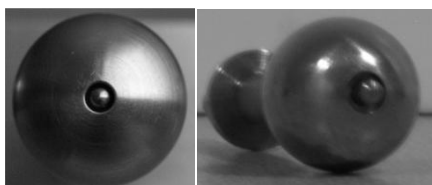


Rys. 2. Widok elektrody pośredniczącej

Zazwyczaj przepływ ładunku między ciałem (lub elektrodą pośrednią) a elektrodą probierczą miernika ładunku, następuje na skutek wyładowania iskrowego. Każdorazowy pomiar ładunku powoduje jego neutralizację.

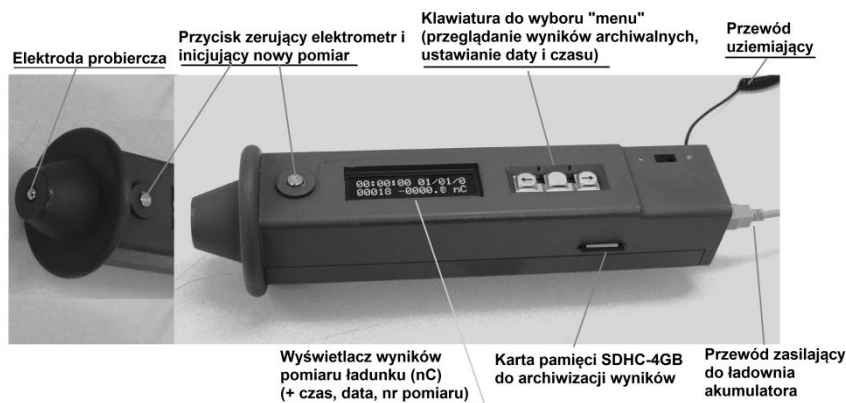
Należy stosować Przyrząd składający się z metalowej elektrody zbierającej ładunek, połączonej z uziemionym kulombomierzem. Zakres pomiarowy miernika powinien pokrywać zakres potencjalnie możliwych wartości ładunku indukowanego na powierzchni ciała osoby ekspozowanej na PES. Zakres ten wynosi 0 - 10  $\mu\text{C}$ . Rozdzielczość wskazań miernika nie powinna być gorsza od 1 nC.

W celu uniknięcia dużych ujemnych błędów pomiaru, spowodowanych indukowaniem w obwodzie pomiarowym kulombomierza dodatkowego prądu przesunięcia, o kierunku przeciwnym do prądu wyładowania, należy koniecznie stosować kulombomierz wyposażony w ekranowaną elektrodę probierczą (tylko niewielka część elektrody probierczej jest wysunięta z ekranu), jak pokazano na rys. 3.

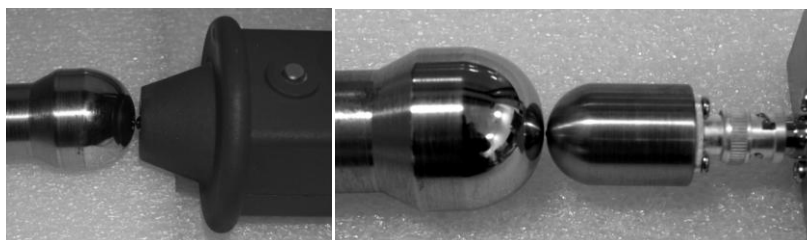


Rys. 3. Przykłady konstrukcji ekranowanej elektrody zbierającej

Przykładowy model miernika skonstruowanego w CIOP-PIB (elektroda zbiorcza i kulombomierz w formie zespolonej) pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Model miernika ładunku elektrostatycznego zgromadzonego na obiektach przewodzących



Rys. 5. Sposób stykania pomocniczej elektrody kontaktowej z elektrodami zbierającymi mierników ładunku

Powierzchnia styku elektrody pośredniczącej powinna mieć kształt kulisty, by przy stykaniu z elektrodą zbierającą miernika nie dochodziło do stykania tej powierzchni z powierzchnią ekranującą elektrodę zbierającą (por. rys. 5).

## Ocena narażenia pracownika na PES

Stosując zasady przyjęte w nowej Dyrektywie 2013/35/UE oraz na podstawie przeprowadzonej analizy, Zespół Ekspertów ds. Pól Elektromagnetycznych Międzyresortowej Komisji do spraw Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy, zaproponował dla pola elektrycznego z zakresu częstotliwości 0 – 5 Hz wartości interwencyjnych poziomów narażenia (IPN).

Podane są one w rozporządzeniu ministra rodziny, pracy i polityki społecznej z dnia 27 czerwca 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. z dnia 30 czerwca 2016 r. poz. 952.

Jako czynnik stwarzający zagrożenie uznano wyładowania elektrostatyczne między odizolowanym do ziemi ciałem człowieka ekspozowanego na PES, a obiektami przewodzącymi, uziemionymi. Przyjęto zasadę, że ekspozycja na stanowisku pracy powinna być ograniczona na tyle, by nie dochodziło do odczuwalnych ani bolesnych rażeń elektrostatycznych, które mogłyby doprowadzić do niekontrolowanych ruchów, grożących urazami mechanicznymi. Takie ograniczenie zapobiega również rażeniom grożącym utratą przytomności.

Tab. 2. Wartości GPO i IPN dotyczące ładunku indukowanego na powierzchni ciała osoby ekspozowanej na pole elektryczne o częstotliwości z zakresu 0 - 5 Hz

		Wartość ładunku elektrycznego przenieszonego w czasie rażenia, $Q_g$	Minimalne natężenie pola elektrycznego indukującego ładunek $Q_g$
Graniczne Interwencyjne Poziomy Narażenia	Strefy ochronne	Wartości IPN-Q	Wartości IPN-E
IPNog-Q /IPNog-E	Górny limit strefy zagrożenia	700 nC	60 kV/m
IPNod-Q/IPNod-E	Dolny limit strefy zagrożenia	230 nC	20 kV/m
IPNp-Q /IPNp-E	Dolny limit strefy pośredniej	160 nC	15 kV/m

Wartości IPN (tab. 2) odniesiono do wartości szczytowej natężenia PES na stanowisku pracy i wartości szczytowej ładunku elektrycznego indukowanego na ciele pracownika przez to pole. Wartości IPN wybrano z zakresu wartości ładunku i odpowiadającego mu natężenia PES. Wartości te odpowiadają odpowiednio:

IPNp-Q /IPNp-E – próg percepcji rażenia elektrostatycznego,

IPNod-Q/IPNod-E – próg rażeń przykrych,

IPNog-Q /IPNog-E próg skurczów mięśni palców dłoni.

#### UWAGA

Powyższa metoda oceny dotyczy wyłącznie zapobiegania rażeniom elektrostatycznym spowodowanym ekspozycją ciała człowieka na PES, natomiast nie dotyczy zagrożenia rażeniami spowodowanymi wyładowaniami z obiektów naelektryzowanych do ciała. Dotyczy to również przypadku obecności w zasięgu pola obiektów metalowych nieuziemionych, naelektryzowanych przez indukcję.

Rażeniom na skutek elektryzacji ciała przez indukcję można zapobiec stosując antystatyczne wykładziny podłogowe i oraz obuwie antystatyczne. W zasięgu PES wszystkie duże obiekty (o objętości rzędu kilkudziesięciu litrów lub większe) powinny być uziemione, jeżeli stwierdzono występowanie rażeń przy ich dotykaniu.