

# Niebezpieczeństwo porażenia prądem przy bieżącym użytkowaniu maszyn i instalacji ogólnotechnicznych

Energia elektryczna jest powszechnie wykorzystywana we wszystkich obszarach funkcjonowania człowieka. Urządzenia elektryczne spotykamy wszędzie, począwszy od naszych domów i mieszkań, po obszary przemysłowe, w których pracujemy. Energia elektryczna jest przyjazna człowiekowi, jednak w pewnych sytuacjach – jeżeli dojdzie do porażenia prądem elektrycznym – może być bardzo dużym zagrożeniem, skutkującym nawet śmiercią.

**TOMASZ OTRĘBSKI**

kierownik Regionu Południe, specjalista ds. inżynierii bezpieczeństwa maszyn i procesów  
Elokon Polska, [www.elokon.pl](http://www.elokon.pl)

## Porażenie prądem

Człowiek jest przewodnikiem o impedancji zależnej od kilku czynników, takich jak:

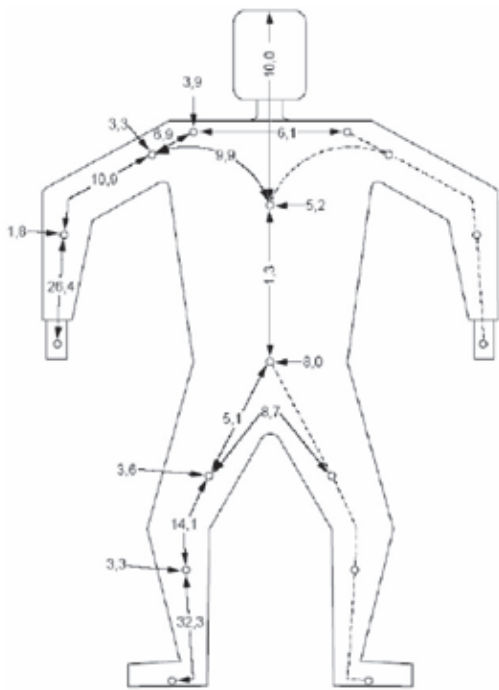
- rodzaj źródła prądu (AC lub DC),
- wartość napięcia dotyku,
- droga przepływu prądu (np. ręka – ręka, ręka – stopa, obie ręce – obie stopy),
- obszar kontaktu ze skórą,
- warunki skóry w miejscu kontaktu (skóra mokra – sucha, skóra mokra, skóra sucha),

- czas trwania przepływu prądu.

Jeżeli dojdzie do bezpośredniego kontaktu części ciała człowieka z częścią czynną pod napięciem, zgodnie z prawem Ohma dochodzi do przepływu prądu. Przyłożona różnica potencjałów do dwóch różnych części ciała człowieka (np. prawa ręka – lewa stopa) wymusza przepływ prądu, którego wartość zależy od impedancji ciała ludzkiego na drodze

przepływu. Rysunek 1 przedstawia procentowy rozdział całkowitej rezystancji ciała ludzkiego.

Przeprowadzono szereg badań w celu wyznaczenia impedancji ciała człowieka, pierwsze takie badania miały miejsce w 1870 r. i wykazały, że rezystancja naskórka jest większa od tkanki podskórnej. Wartość impedancji ciała ludzkiego i jej poprawne wyznaczenie oraz opisanie jest o tyle ważne, że od tej właśnie wartości zależy dobór środków bezpieczeństwa, których zadaniem jest chronić człowieka znajdującego się w sytuacji, w której dojdzie do porażenia prądem.



Rys. 1. Procentowy udział rezystancji poszczególnych elementów ludzkiego ciała w stosunku do rezystancji całego ludzkiego ciała

Zabezpieczenia takie muszą minimalizować szkodę, czyli wykrywać jak najniższą wartość prądu oraz najszybciej jak to możliwe odłączać źródło prądu, tak aby czas narażenia był jak najkrótszy. Mówiąc w taki sposób o zjawisku porażenia prądem, opisujemy sytuację, w której dochodzi już do zdarzenia niebezpiecznego, czyli o ochronie niezależnej, poza podstawową, która ma chronić w przypadku uszkodzenia (PN-HD 60364-4-41:2009).

Tabela 1 przedstawia odczucia i reakcje organizmu ludzkiego na przepływający prąd przemienny podczas zjawiska porażenia prądem.

Jak widać, skutki długotrwałego przepływu prądu przez organizm ludzki mogą być bardzo groźne, włącznie z takimi, które będą prowadzić do śmierci.

### Obszary, w których jesteśmy narażeni na porażenie prądem

Kontakt z energią elektryczną mamy w zasadzie w każdym obszarze przemysłu. Z punktu widzenia stawianych wymagań oraz propozycji środków ochrony przeciwporażeniowej rysuje się pewien podział, który dzieli obszar, w którym wykorzystujemy energię elektryczną na dwa podobszary. Jeden podobszar obejmuje urządzenia energetyczne związane z wytwarzaniem, przetwarzaniem, przesyłaniem, dystrybucją, magazynowaniem oraz użytkowaniem energii. Drugi podobszar dotyczy bezpośrednio odbiorników, jakim są maszyny podlegające dyrektywie maszynowej i systemy

Tab. 1. Odczucia i reakcje na długotrwały przepływ prądu przemiennego przez organizm ludzki

| Charakter odczuwalnego wrażenia, reakcja organizmu i skutki   | Prąd rażeniowy $I_r$ , mA |                  |
|---|---------------------------|------------------|
|   | zakres                    | wartości średnie |
| Próg odczuwania przepływu prądu w miejscu styku z elektrodą o małej powierzchni, mrowienie  | 0,1÷0,6                   | 0,4              |
| Wyczuwalność wyraźna, łaskotanie i swędzenie, lekkie skurcze mięśni dłoni   | 0,8÷2                     | 1,2              |
| Wyczuwalność bolesna, cierpienie dłoni i przegubów, lekkie usztywnienie rąk i nieznaczny wzrost ciśnienia tętniczego krwi   | 2÷4                       | 3,5              |
| Silna reakcja nerwowa, nerwobóle przedramienia, lekkie skurcze dłoni, usztywnienie i drżenie rąk  | 4÷5                       | 4,5              |
| Skurcze przedramienia i ramię dochodzące do palców, trudności samodzielnego oderwania się od elektrod, wzrost ciśnienia tętniczego krwi, zaburzenia rytmu serca i oddechu występują po kilku minutach   | 5÷15                      | 12,5             |
| Bardzo silne i bolesne skurcze mięśni rąk, samodzielne uwolnienie się rażonego (bez pomocy) jest niemożliwe, możliwość zatrzymania czynności serca w fazie rozkurczu                                    | 15÷30                     | 19               |
| Skurcze tętnicowe mięśni rąk i klatki piersiowej, niemożliwość dokonania wydechu, arytmia serca i duże prawdopodobieństwo zatrzymania jego czynności, utrata świadomości, możliwe migotanie komór serca | 22÷50                     | 40               |

zasilające sterownicze współpracujące z tymi maszynami.

Wymagania stawiane urządzeniom energetycznym przedstawione są w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych. Rozporządzenie opisuje, w jaki sposób powinno się przeprowadzać prace związane z eksploatacją, konserwacją i pomiarami urządzeń energetycznych, tak aby zminimalizować wypadki związane z tymi pracami, czyli m.in. wyeliminować zdarzenia porażenia prądem.

Przechodząc z podobszaru przesyłania i dystrybucji energii elektrycznej w obszar odbiorników energii i instalacji elektrycznych niezbędnych do pracy tychże odbiorników, wchodzimy w obszar obowiązywania dyrektywy niskonapięciowej 2006/95/WE i rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 sierpnia 2007 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla sprzętu elektrycznego. Rozporządzenie to wdraża do prawa polskiego dyrektywę niskonapięciową 2006/95/WE i obejmuje swoim zakresem sprzęt elektryczny przeznaczony do użytkowania przy napięciu nominalnym 50–1000 V prądu przemiennego lub 75–1500 V prądu stałego. W kwestiach sposobu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w instalacjach elektrycznych możemy sięgnąć do polskich norm. Jedną z norm opisującą sposoby ochrony przed porażeniem elektrycznym jest PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym. Kolejną polską normą jest norma z obszaru maszynowego

PN-EN 60204-1. Bezpieczeństwo maszyn. Wyposażenie elektryczne maszyn. Część 1: Wymagania ogólne. O zastosowaniu tych norm w fazie projektowania instalacji elektrycznych pisał Sławomir Gronczewski w poprzednim wydaniu magazynu „Industrial Monitor” w artykule pt. „Ochrona przeciwporażeniowa w maszynach. Część pierwsza – budowa maszyny”.

Analizując przypadki, w jakich może dojść do porażenia prądem elektrycznym, musimy mieć świadomość, w jakim obszarze wymagań się poruszamy. Zupełnie inne środki techniczne stosuje się dla obszarów dystrybucji energii na poziomie napięć wysokich i średnich i inne dla obszarów maszynowych, instalacji elektrycznych układów zasilających-sterowniczych przy poziomie napięć do 400 V.

### Współzależność zagrożeń i narażeń środowiskowych

Wpływ na wystąpienie zagrożenia powodowanego przez porażenie elektryczne ma wiele czynników. Na to, czy dojdzie do kontaktu z częścią czynną pod napięciem, mogą wpłynąć np. długotrwałe niszczące warunki środowiskowe, złe lub brak praktyki prac konserwacyjnych związanych z instalacjami elektrycznymi, szkodliwe oddziaływania mechaniczne na instalacje elektryczne. Rysunek 3 przedstawia zależność pomiędzy środowiskiem, człowiekiem a urządzeniem elektrycznym.

W fazie projektowania instalacji elektrycznej musimy znać i założyć zarówno odpowiednie warunki środowiskowe, jak i warunki pracy, w jakich urządzenia elektryczne będą eksploatowane. Błędne określenie tych warunków w fazie

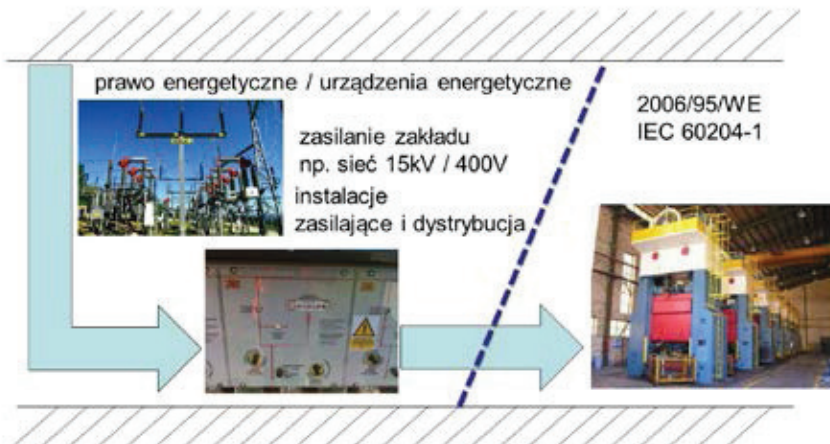
projektu będzie skutkować zagrożeniami w fazie użytkowania instalacji.

Urządzenia elektryczne i instalacje elektryczne przechodzą odpowiednie pomiary przed oddaniem ich do użytkowania. Najczęściej wykonywanymi badaniami są pomiary rezystancji izolacji, ciągłości układu połączenia ochronnego i impedancji pętli zwarcia. Pozytywne wyniki badań pozwalają na przekazanie instalacji elektrycznej do eksploatacji.

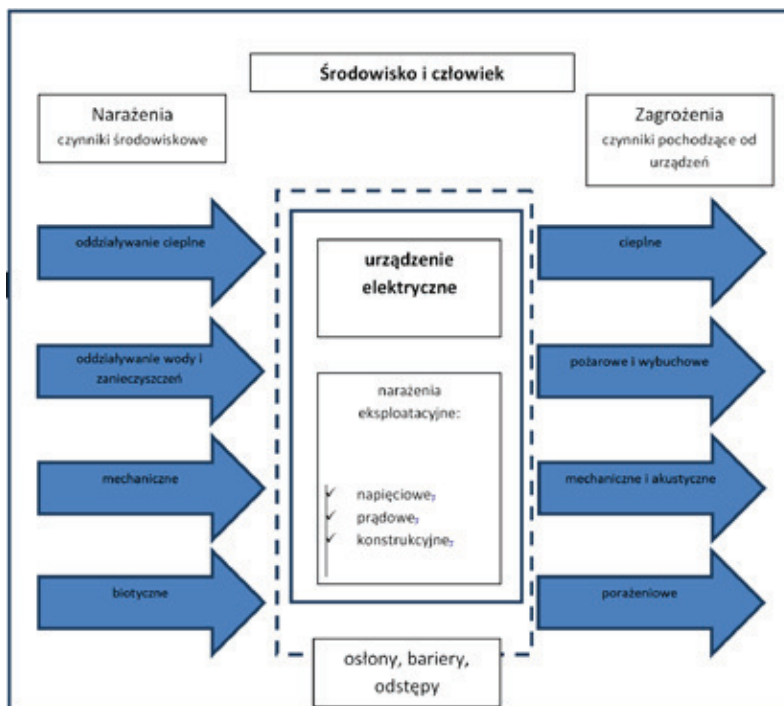
## Eksploatacja urządzeń i instalacji – zagrożenia porażeniem

Urządzenia i instalacje po przejściu pierwotnych niezbędnych badań oddawane są do użytkowania. Od tego momentu bezpieczeństwo pracy z instalacjami i urządzeniami elektrycznymi zależy tylko od użytkownika i od planu działań związanego z konserwacją i serwisowaniem takich instalacji. Wbrew pozorom instalacje elektryczne wymagają odpowiedniego podejścia podczas eksploatacji związanego z monitorowaniem stanu zużycia. Plan działania i praktyki konserwacji mogą być różne i będą zależeć od rodzaju instalacji, od liczby urządzeń, od warunków, w jakich pracują i szeregu innych aspektów. Ważne jest, aby istniał w praktyce plan działań związanych z utrzymaniem instalacji elektrycznych w ruchu. Pozwoli to na bezpieczne eksploataowanie instalacji przez długi czas i zminimalizuje sytuacje niebezpieczne związane np. z zagrożeniami porażeniem elektrycznym w wyniku uszkodzenia podstawowej ochrony, jakim jest np. izolacja części czynnych.

W zależności od tego, jakie środki ochrony przeciwporażeniowej stosujemy jako ochronę podstawową, a jakie dla ochrony przy uszkodzeniu, odpowiednio opracowujemy strategię okresowych kontroli tych środków. Przykładowo, jeśli naszym podstawowym środkiem ochrony jest izolacja, musimy złożyć okresowe badanie rezystancji izolacji, a czasookres badań na pewno uzależnić musimy od warunków eksploatacji. Im cięższe warunki pracy np. przewodów elektrycznych, tym częściej należy badać ich zdolność do pracy, czasami nawet wyznaczać wymianę takich przewodów (jeśli pracują np. w środowisku mocno zaolejonym, najskuteczniejszym działaniem jest okresowa wymiana takich przewodów). Jeżeli ochroną jest np. przegroda lub obudowa, musimy wykonywać okresowe oględziny i weryfikować stan takiej przegrody lub obudowy, określając wytrzymałość mechaniczną, zdystansowanie, wielkość ewentualnych szczelin, skuteczność połączenia



Rys. 2. Podział na podobszary związany z wymaganiami stawianymi urządzeniom energetycznym i elektrycznym



Rys. 3. Współzależność środowiska, człowieka i urządzenia elektrycznego w odniesieniu do narażeń i zagrożeń

ochronnego. Oceny zdolności instalacji i urządzeń elektrycznych powinno dokonywać się również po wszystkiego rodzaju pracach, które odbywały się w otoczeniu tychże instalacji i urządzeń, a które mogły mieć wpływ na te instalacje, ingerując w nie lub uszkadzając, np. izolację lub przewód ochronny, powodując tym samym utratę podstawowego środka ochrony.

Prawo budowlane nakazuje dla obiektów budowlanych wykonywać badania zdolności technicznej w okresie co 1 rok lub co 5 lat w zależności od rodzaju budynku i przeznaczenia. Dobrze jest przenieść tę praktykę również na instalacje związane bezpośrednio z maszynami i układy zasilające sterujące linii produkcyjnych. Okresowe audyty połączone z badaniami i oględzinami maszyn, szaf sterowniczych i urządzeń ogólnotech-

nicznych z pewnością zminimalizują sytuacje niebezpieczne podczas normalnej eksploatacji urządzeń elektrycznych.

## Literatura:

1. Dina A., Zaharescu V., Guzun B., Comănescu G. Maximum permissible touch and step voltages assessment in high voltage systems (> 1 kV). U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 74, Iss. 3, 2012.
2. Gierlotka S. Badania impedancji ciała człowieka – elektro.info.pl.
3. Urządzenia elektryczne. Materiały z wykładu na wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Dr inż. Marian Sauczek.
4. Markiewicz H. Bezpieczeństwo w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane. Warszawa 1999.