

doi:10.15199/48.2018.06.29

## Analiza wpływu prądu elektrycznego na organizmy żywe

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono podstawowe definicje związane z wpływem prądu elektrycznego na organizmy żywe oraz skutki przepływu prądu elektrycznego. Uwzględniono również graniczne dopuszczalne napięcia i prądy rażeniowe dla ludzi i zwierząt hodowlanych.

**Abstract.** The article presents basic definitions related to the influence of electric current on living organisms and the effects of electric current flow. There are also included the permissible voltage limits and currents for humans and farm animals. Title: Analysis of the influence of an electrical current on a living organisms. **Basic definitions related to the influence of electric current on living organisms**

**Słowa kluczowe:** prąd elektryczny, porażenie, przepływ prądu.

**Keywords:** electric current, electric shock, current flow.

### Wstęp

Porażenie elektryczne to zmiany chemiczne, fizyczne i biologiczne, które następują na skutek przepływającego prądu elektrycznego przez żywy organizm. Skutki oddziaływania prądu elektrycznego mogą być różnorodne w zależności od rodzaju prądu oraz jego wartości i częstotliwości. Ważnym aspektem jest również droga przepływu prądu przez organizm, czas trwania rażenia oraz cechy indywidualne organizmu. Możliwe skutki zostały przedstawione w tabeli 1. W celu ochrony przed porażeniem urządzenia elektryczne wyposażone są w środki ochrony pośredniej i bezpośredniej. W związku z tym można przypisać klasy ochronności urządzeń elektrycznych. Klasy ochronności zostały wyszczególnione w tabeli 4.

### Skutki przepływu prądu elektrycznego.

Skutki przepływu prądu elektrycznego przez organizm można podzielić pod względem rodzaju oddziaływania na fizyczne oraz patofizjologiczne. Dokładniejsze zestawienie przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Skutki przepływu prądu rażeniowego

rodzaj oddziaływania	skutki przepływu prądu rażeniowego na organizmy żywe
fizyczne	znamiona prądowe
	oparzenie wewnętrzne
	oparzenie łukiem elektrycznym
	oparzenie poprzez dotyk rozgrzanego przewodnika
	uszkodzenie wzroku poprzez dużą luminację łuku elektrycznego
	uszkodzenie mechaniczne
	uszkodzenie wzroku poprzez oddziaływanie promieni UV
patofizjologiczne	uszkodzenie słuchu
	wzrost ciśnienia tętniczego
	fibrylacja komór serca
	zatrzymanie pracy serca
	skurcze mięśni
mrowienie	
ból	

W tabeli 2 przedstawiono najmniejsze, średnie wartości prądów rażeniowych, które mogą wywołać określone efekty.

Tabela 2. Skutek przepływu prądu elektrycznego, dla określonej wartości prądu

wartość prądu [mA]	Skutek przepływu prądu elektrycznego
0,005	odczuwanie przepływu prądu elektrycznego za pomocą dotknięcia językiem
1	odczuwanie przepływu prądu elektrycznego za

	pomocą dotknięcia palcem
6	skurcze mięśni oraz brak możliwości samouwolnienia (kobiety)
10	skurcze mięśni oraz brak możliwości samouwolnienia (mężczyźni)
20	skurcze mięśni występujących w klatce piersiowej oraz brak możliwości samodzielnego oddychania
30	migotanie komór serca

Można wyróżnić dwie sytuacje, w których organizm może zostać rażony prądem elektrycznym:

- dotknięcie części czynnej urządzenia elektrycznego, która jest pod wpływem napięcia roboczego,
- dotknięcie części przewodzącej dostępnej, która jest pod napięciem na skutek uszkodzenia izolacji urządzenia.

Warto również pamiętać o podstawowych, możliwych drogach przepływu prądu elektrycznego przez organizm człowieka:

- prawa stopa – lewa stopa,
- pośladki – prawa ręka,
- pośladki – lewa ręka,
- szyja – prawa ręka,
- szyja – lewa ręka,
- klatka piersiowa – obie ręce,
- klatka piersiowa – prawa ręka,
- klatka piersiowa – lewa ręka,
- plecy – lewa ręka,
- plecy – prawa ręka,
- prawa ręka – stopa,
- lewa ręka – prawa ręka,
- obie stopy – obie ręce,
- lewa ręka - stopy.

Badania nad przepływem prądu rażeniowego oraz skutkami przez niego wywoływanymi były wykonywane przez wiele instytucji. Warto zaznaczyć, że badania przeprowadzane na ludziach musiały zostać ograniczone do wartości bezpiecznych, niewywołujących szkodliwych skutków dla życia i zdrowia osób badanych. Wartości progowe prądów rażeniowych, które mogą w konsekwencji być skutkiem fibrylacji komór serca lub śmierci były ustalane na podstawie badań wykonywanych na zwierzętach.

W zależności od różnych przyjętych metod badania otrzymano bardzo rozbieżne wyniki wartości progowych, które wywołują określone skutki. Najtrudniejszym zadaniem było określenie prądów, przy których może nastąpić migotanie komór serca. Po wystąpieniu fibrylacji przywrócenie normalnej akcji serca jest możliwe poprzez wykonanie w odpowiedni sposób masażu serca, bądź użycie specjalnego sprzętu medycznego jakim jest defibrylator (AED). Przywrócić akcję serca można przywrócić skutecznie maksymalnie do 4 minut po jej

zatrzymaniu, po tym czasie występują nieodwracalne skutki porażenia. Należy pamiętać, że nie ma jednej konkretnej wartości określającej możliwość wystąpienia fibrylacji.

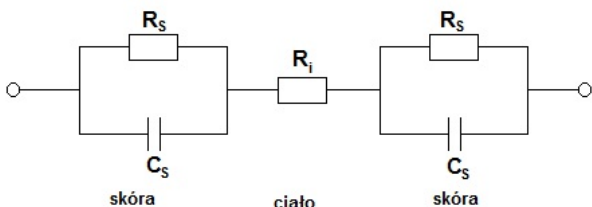
Zakresy odczuwania i reakcji organizmu na prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz zostały przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Odczucia i reakcje na prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz przyptywający długotrwale przez ludzki organizm.

Odczucie i reakcje organizmu	Prąd rażeniowy [mA]	
	Przedział	Wartości uśrednione
Próg czucia przy przepływie prądu rażeniowego; mrowienie	0,1 – 0,6	0,4
Wyraźne odczuwanie (swędzenie); skurcze mięśni w dłoni	0,8 – 2	1,2
Bolesne odczuwanie (cierpienie dłoni); zeszywnienie rąk, wzrost ciśnienia krwi	2 – 4	3,5
Intensywna reakcja układu nerwowego; skurcze w dłoniach, drżenie rąk	4 – 5	4,5
Skurcze przedramion i ramion, które mogą dochodzić aż do pleców, samowolnienie sprawia trudności; zaburzenie pracy serca, wzrost ciśnienia krwi,	5 – 15	12,5
Intensywne, bolesne skurcze mięśni rąk, brak możliwości samowolnienia; możliwość wystąpienia zatrzymania pracy serca.	15 – 30	19
Intensywne skurcze mięśni rąk i klatki piersiowej, brak możliwości wykonania wydechu; duże prawdopodobieństwo zatrzymania akcji serca, utrata świadomości, możliwość wystąpienia fibrylacji.	22 – 50	40

### Impedancja ciała człowieka

Przyjmując, że ciało człowieka to element obwodu elektrycznego, nie można powiedzieć, że jest ono przewodnikiem jednorodnym. Impedancja ciała będzie zależała od wielu czynników biofizycznych oraz ma związek z impedancją skóry oraz rezystancją organów wewnętrznych. Zmienność impedancji ciała człowieka będzie warunkowana przez napięcie rażeniowe oraz czynniki środowiskowe m.in. klimatyczne. Organizm człowieka jest dobrym przewodnikiem, ponieważ nasze ciało składa się w 80% z wody. Na przewodność wpływa poziom wilgotności powierzchni przewodzącej, tutaj skóry w zależności czy skóra jest sucha, mokra bądź spocona. Dla skóry mokrej wartości impedancji może spaść o około 40%, natomiast dla spoconej o około 60% ze względu na skład chemiczny potu.



Rys.1. Schemat zastępczy impedancji człowieka, gdzie:  $R_s$  – rezystancja skóry,  $R_i$  – rezystancja wewnętrzna ciała,  $C_s$  – pojemność skóry.

Podczas badań elektrycznych na organizmie ludzkim dowiedziono, że organy wewnętrzne posiadają charakter

rezystancyjny, natomiast skóra posiada charakter rezystancyjno – pojemnościowy. Badania te przyczyniły się do sporządzenia przez Henryka Freibergera schematu zastępczego ciała człowieka rys. 1.

W 1969 roku Gottfried Biegelmeier wykonał badania dla napięcia 25 V. Z jego prac wynika, że impedancja całkowita organizmu człowieka (uwzględniająca oba naskórki) wynosi  $Z = (3500 \pm 1400) \Omega$ , natomiast rezystancja wewnętrzna organizmu wynosi  $R_i = (780 \pm 114) \Omega$ . Ponadto wartość pojemności skóry wynosi  $C_s = (5 \div 50) \mu F/cm^2$ .

Na zmianę impedancji ciała ma wpływ powierzchnia dotykanej elektrody, jednak badania udowodniły, że przy napięciu powyżej 200 V powierzchnia dotyku nie ma wpływu na wartość impedancji organizmu.

Tabela 4. Klasy urządzeń elektrycznych

Klasa ochronności	Oznaczenie graficzne	Cechy urządzenia	Zakres zastosowania
Klasa 0	brak	Izolacja podstawowa, brak zacisku ochronnego, jeżeli jest przewód ruchomy zasilający to bez żyły ochronnej, wtyczki bez styku ochronnego.	W pomieszczeniach, w których znajdują się izolowane podłogi i ściany; w obwodach zasilanych z transformatora separacyjnego.
Klasa I		Izolacja podstawowa, zacisk ochronny do przyłączenia przewodu PE lub PEN, jeżeli jest przewód ruchomy zasilający to z żyłą ochronną, wtyczki ze stykiem ochronnym.	W pomieszczeniach mieszkalnych oraz przemysłowych (jeżeli przepisy szczegółowe nie ograniczają zastosowania tej klasy).
Klasa II		Izolacja wzmocniona lub izolacja podwójna, brak zacisku ochronnego, jeżeli jest przewód ruchomy zasilający to bez żyły ochronnej, wtyczki bez styku ochronnego.	We wszystkich warunkach i pomieszczeniach mieszkalnych (jeżeli przepisy szczegółowe nie ograniczają zastosowania tej klasy).
Klasa III		Zasilanie za pomocą bardzo niskiego napięcia zasilającego w układach SELV lub PELV, brak zacisku ochronnego, izolacja podstawowa, jeżeli jest przewód ruchomy zasilający to bez żyły ochronnej, wtyczki bez styku ochronnego.	We wszystkich warunkach i pomieszczeniach mieszkalnych.

## Klasy urządzeń elektrycznych

Urządzenia elektryczne mogą pracować w różnych warunkach technicznych jak i środowiskowych, zatem różnorodne czynniki wpływają na zagrożenie wywołane porażeniem prądem elektrycznym. Dlatego urządzenia elektryczne podzielone zostały na klasy ochronności. Charakterystyka poszczególnych klas urządzeń została przedstawiona w tabeli 4.

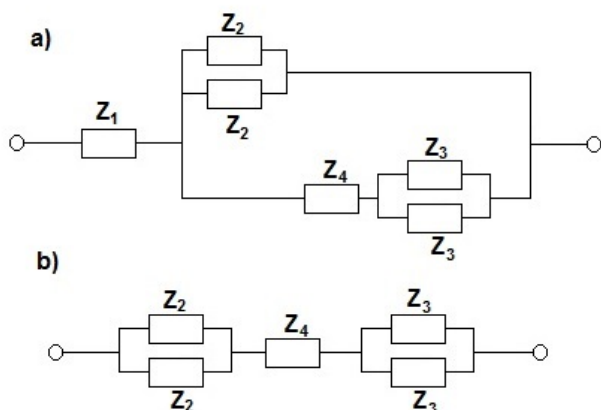
## Wpływ prądu i napięcia rażeniowego na ludzi

Duże znaczenie na skutki rażenia ma rodzaj prądu, którym organizm został rażony. Wypadki spowodowane prądem stałym zdarzają się zdecydowanie rzadziej, niż w przypadku prądu przemiennego. Dzieje się tak, że względu na to, że w naszym otoczeniu znajduje się o wiele więcej urządzeń wykorzystujących prąd przemienny. Podczas rażenia prądem stałym istotny jest kierunek przepływu prądu. Można rozróżnić prąd zstępujący, który występuje przy ujemnym potencjale stóp oraz prąd wstępujący, który przepływa przy dodatnim potencjale stóp. Jeśli chodzi o skutki groźniejszy jest prąd zstępujący, ponieważ jego wartości są dwukrotnie większe, niż przy prądzie wstępującym.

O skutkach jakie niesie za sobą rażenie decyduje tak naprawdę wartość prądu rażeniowego. W celu dokonania oceny zagrożenia oraz skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przyjmuje się wartości graniczne dopuszczalne długotrwałe napięcia dotykowe (tabela 5). Napięcia graniczne dopuszczalne mogą przyjmować różne wartości w zależności od warunków środowiskowych, w jakich rażenie prądem elektrycznym może wystąpić. Generalnie przyjmuje się, że pod wpływem takich wartości napięć, występujące prądy rażeniowe nie powinny wywołać skutków patofizjologicznych.

Tabela 5. Graniczne dopuszczalne długotrwałe napięcia dotykowe

Warunki	Napięcie w [V] dla prądu stałego nietętniącego	Napięcie w [V] dla prądu przemiennego
normalne	120	50
zwiększonego zagrożenia	60	25



Rys. 2. Schematy zastępcze impedancji organizmu zwierzęcego na drodze rażenia a) głowa – cztery nogi; b) dwie przednie nogi – dwie tylne nogi; gdzie:  $Z_1$  – impedancja organizmu na drodze głowa – tułów,  $Z_2$  – impedancja dla nogi przedniej,  $Z_3$  – impedancja dla nogi tylnej,  $Z_4$  – impedancja tułowia.

## Wpływ prądu i napięcia rażeniowego na zwierzęta

Podobnie jak w przypadku ludzi, w celu wyznaczenia dopuszczalnych granicznych wartości napięć dla zwierząt należy bezwzględnie znać schematy zastępcze impedancji organizmu zwierząt (rys.2.) oraz graniczne prądy migotania komór.

Zakładając impedancję ciała zwierząt na poziomie 300  $\Omega$ , należy przyjąć graniczne długotrwałe napięcie dopuszczalne na poziomie 25 V. W takim przypadku prąd rażeniowy wywołujący migotanie komór serca wynosi 80 mA.

Przyjęcie powyższych założeń wyklucza stosowanie w obiektach hodowlanych pewnych rodzajów zabezpieczeń. Dlatego według Gottfrieda Biegelmeiera takie ograniczenie napięć nie jest w pełni uzasadnione. Mając pełną świadomość jaka wynika z zagrożenia płynącego z rażenia na drodze głowa – korpus zaleca on przyjęcie granicznego dopuszczalnego długotrwałego napięcia na poziomie 50 V.

Zastosowanie połączeń wyrównawczych oraz innych środków ochrony przeciwporażeniowej może pozwolić na obniżenie napięcia do wartości poniżej 15 V oraz zminimalizuje możliwość porażenia zwierząt przebywających w stadzie w pomieszczeniu hodowlanym.

Istotne jest również stosowanie postronków oraz łańcuchów wykonanych z tworzyw sztucznych, które mogą ograniczyć możliwość rażenia prądem elektrycznym na drodze głowa – korpus zwierzęcia.

## Podsumowanie

Porażenie prądem elektrycznym może nieść za sobą zmiany chemiczne, fizyczne oraz biologiczne, natomiast skutki jego oddziaływania mogą być różnorodne w zależności od rodzaju prądu, jego wartości oraz częstotliwości. Istotny wpływ na skutki rażenia ma również droga przepływu prądu rażeniowego przez organizm ludzki jak i zwierzęcy. Należy pamiętać o ważnym aspekcie jakim są schematy zastępcze uwzględniające impedancję ludzi oraz zwierząt.

Graniczne dopuszczalne długotrwałe wartości napięć są różne dla ludzi i zwierząt hodowlanych oraz są zależne od warunków środowiskowych.

**Autorzy:** mgr inż. Kamil Paduszynski, Politechnika Świętokrzyska, Zakład Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25 – 314 Kielce, e – mail: [kpaduszynski@tu.kielce.pl](mailto:kpaduszynski@tu.kielce.pl), mgr inż. Katarzyna Nowak, Politechnika Świętokrzyska, Zakład Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25 – 314, e – mail: [katnowak@tu.kielce.pl](mailto:katnowak@tu.kielce.pl)

## LITERATURA

- [1] Gierlotka S., Elektropatologia porażen prądem elektrycznym oraz bezpieczeństwo przy urządzeniach elektrycznych, Grupa Medium, Warszawa 2015, s. 16 – 29
- [2] Gierlotka S., Działanie prądu elektrycznego na zwierzęta hodowlane i leśne, Przegląd Elektrotechniczny 05-2007, s. 122-124
- [2] Jabłoński W. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia, WNT, Warszawa 2018, s. 22 – 34
- [3] Markiewicz H., Bezpieczeństwo w elektroenergetyce, WNT, Warszawa 2009, s. 13 – 56
- [4] Markiewicz H., Instalacje elektryczne, WNT, Warszawa 2012, s. 299 – 302
- [5] Markiewicz H., Zagrożenia i ochrona od porażen w instalacjach elektrycznych, WNT, Warszawa 2000