

Śmiertelnie niebezpieczne napięcie

W artykule zwrócono uwagę na zagrożenie oraz ryzyko związane z napięciem elektrycznym o najpopularniejszej wartości. Wypadki, do których dochodzi w tym obszarze, są spowodowane głównie przez brak nadzoru nad instalacją elektryczną.

W 2017 roku (najnowsze dane nie są jeszcze dostępne w GUS) miało miejsce ponad 88 tysięcy wypadków przy pracy. W tej liczbie zawarte są 132 wypadki powstałe w wyniku dotknięcia obwodów elektrycznych będących pod napięciem, z czego aż 106 zostało spowodowanych niewłaściwym zachowaniem się pracowników. Wśród wypadków z udziałem prądu elektrycznego skutek śmiertelny ma średnio około 20%. Jednocześnie można przyjąć, że w warunkach domowych ginie rocznie praktycznie ponad 10 razy więcej osób niż w czasie wykonywania pracy lub innych czynności służbowych. W instalacjach domowych mamy do czynienia głównie z napięciem przemiennym o wartości skutecznej 230 voltów, co wskazuje na znaczący problem z tym z pozoru niskim poziomem napięcia zasilającego. Wielokrotnie większa liczba poszkodowanych lub ofiar wypadków elektrycznych w warunkach domowych niż przemysłowych spowodowana jest wieloma czynnikami, z których najważniejsze to:

- praktyczny brak nadzoru nad instalacją elektryczną (w każdym razie statystycznie znacznie gorszy niż w obszarze przemysłowym);

Marek Trajdos

„Klub Paragraf 34” Stowarzyszenie Bezpieczeństwa Technicznego

- brak przeszkolenia i nadzoru użytkowników;
- dostęp do instalacji dzieci i osób starszych (o mniejszej świadomości lub percepcji).

Czym jest zagrożenie?

Zagrożenie to potencjalne źródło szkody (rozumianej jako uraz fizyczny lub pogorszenie stanu zdrowia), którą w tym wypadku jest porażenie prądem elektrycznym poprzez bezpośrednie lub pośrednie dotknięcie elementu przewodzącego, będącego pod napięciem. Przy czym dotknięcie pośrednie powstaje zwykle w skutek uszkodzenia izolacji elektrycznej urządzenia i tu głównie mamy do czynienia w problemem, jeżeli instalacja elektryczna lub podłączone do niej urządzenia nie są właściwie eksploatowane i nadzorowane, na co zwrócono uwagę wyżej, jako na jeden z czynników zwiększonej liczby wypadków w warunkach domowych w stosunku do przemysłowych.

Różnica między zagrożeniem a ryzykiem

Ryzyko to kombinacja przewidywanej ciężkości szkody i prawdopodobieństwa jej wystąpienia, zatem wysokie ryzyko może być wynikiem spodziewanej dużej ciężkości urazu, jak i znacznego prawdopodobieństwa jego wystąpienia. W przypadku porażenia prądem elektrycznym na skutek dotknięcia elementów, będących pod napięciem na poziomie 230 woltów przewidywaną ciężkością szkody jest niestety śmierć. Nie ma co do tego wątpliwości. A zatem skoncentrujemy się w dalszych rozważaniach nad prawdopodobieństwem takiego zdarzenia.

Człowiek jest zagrożony śmiercią, jeżeli przez jego serce przepływnie prąd o natężeniu powyżej 20 mA. Jeżeli przyjmiemy, że dla przepływu prądu człowiek stanowi opór elektryczny, to zależność pomiędzy napięciem dotyku a przepływem opisuje prawo Ohma:

$$I = U/R$$

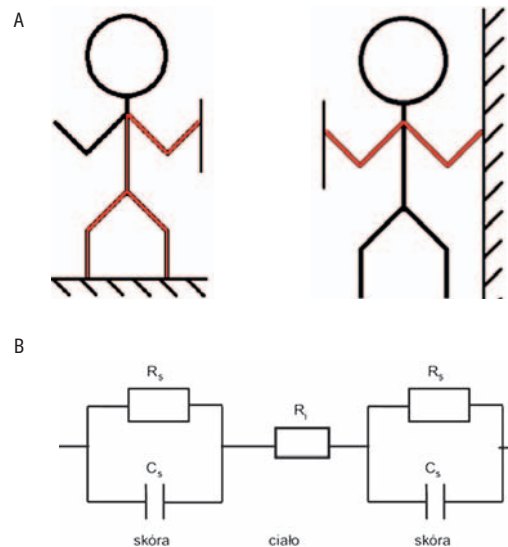
Gdzie:

R – jest rezystancją zastępczą ciała człowieka,

U – napięciem dotyku,

I – przepływającym prądem.

Aby przepływ prądu był możliwy, konieczne jest zamknięcie obwodu. Zatem, jeżeli dana osoba stoi powiedzmy na nieprzewodzącym podłożu (np. gumowy chodnik) i dotyka obudowy urządzenia pod napięciem tylko jedną ręką, może nie dojść do zamknięcia obwodu. W praktyce jest to jednak



Rys. 1. Przepływ prądu wraźeniowego przez ciało człowieka: A – główne drogi przepływu; B – schemat zastępczy ciała człowieka

sytuacja, o tyle „komfortowa”, co niezbyt prawdopodobna. Ludzie, jak wiadomo, są różni pod wieloma względami, również jak się okazuje, jeśli chodzi o rezystancję organizmu (tab. 1).

A zatem napięcie o wartości 50 V dla 95% populacji wytworzy przepływ na poziomie 11 mA, ale dla 5% populacji będzie to już ponad 30 mA. Dopiero napięcie 25 V można uważać zatem za faktycznie bezpieczne (odpowiednio: 4 i 14 mA). Zatem popularne napięcie sterowania 24 V można faktycznie uważać na ogół za bezpieczne. Oczywiście dane statystyczne widoczne w tab. 1 dotyczą warunków normalnych środowiska pracy (przebywania człowieka) i na przykład podwyższenie temperatury otoczenia będzie owocować poceniem się skóry, a to z kolei spadkiem rezystancji zastępczej. Z kolei naskórek na wewnętrznych powierzchniach dłoni w wypadku ciągłego/częstego wykonywania czynności właściwych dla pracy fizycznej staje się grubszy, a zatem teoretycznie wartość rezystancji zastępczej rośnie. Jednak jak widać z niniejszych rozważań, napięcia na poziomie 230 V pod żadnym względem nie można uważać za bezpieczne.

Przepływ prądu przez ciało człowieka

Na rys. 1B pokazano schemat zastępczy stosowany do oceny wielkości przepływu prądu przez ciało człowieka dla niskich częstotliwości (50 Hz oczywiście należy do tego przedziału). Dla przepływu prądu stałego pokazane kondensatory nie mają znaczenia, a dla częstotliwości 50 Hz, biorąc pod uwagę zmienność osobniczą parametrów skóry oraz warunki środowiskowe, też mają mniejsze znaczenie. Jednak wartość prądu niebezpiecznego (zagrożają- ▶

W wyłącznikach różnicowo-prądowych stosuje się wartości od ok. 0,04 do 0,6 sekundy. Im dłuższy czas przepływu prądu, tym mniejsze prawdopodobieństwo uniknięcia poważnych konsekwencji dla zdrowia i życia.

► tego życia) w przypadku prądu stałego jest wyższa, niektórzy autorzy wskazują nawet na ok. 70 mA. Na rys. 1A kolorem czerwonym pokazano najczęściej spotykane drogi przepływu prądu wrażliwego z uwzględnieniem przepływu przez serce lub jego okolice. Drugim po wartości prądu czynnikiem rażeniowym, mającym zasadnicze znaczenie dla życia człowieka, jest czas. W wyłącznikach różnicowo-prądowych stosuje się wartości od ok. 0,04 do 0,6 sekundy. Im dłuższy czas przepływu prądu, tym mniejsze prawdopodobieństwo uniknięcia poważnych konsekwencji dla zdrowia i życia.

W ocenie ryzyka bardzo ważnym czynnikiem jest możliwość uniknięcia szkody. W obszarze tego pojęcia mieści się również zdolność do ucieczki w wypadku bezpośredniego kontaktu z zagrożeniem. Dla prądu elektrycznego zakłada się, że jest ona w zasadzie niemożliwa, ponieważ człowiek nie posiada zmysłu pozwalającego na rozpoznanie zagrożenia porażeniem. Dla przykładu zupełnie inaczej wygląda zagrożenie temperaturą powierzchni, gdyż posiadamy zdolność odczuwania ciepła. W wypadku dotknięcia elementów instalacji elektrycznej pod napięciem, występuje dodatkowo skurcz mięśni, który w przypadku odruchowego

naciśnięcia dłoni może uniemożliwić samouwolnienie porażonego. Ponadto po krótkim czasie wystąpią migotanie komór serca i utrata świadomości.

Wobec powyższych rozważań należy bezwzględnie przyjmować ryzyko porażenia prądem elektrycznym na poziomie napięcia 230 V jako bardzo wysokie. Zatem nie wolno doprowadzać do sytuacji zagrażających bezpośredniego kontaktu z takim napięciem bez wsparcia środków redukcyjnych, takich jak:

- izolacja robocza i ochronna (niekiedy podwójna) – jako środek podstawowy;
- ograniczenie dostępu dla osób niewykwalifikowanych (ekspozycja osób wykwalifikowanych jest również niższa, ze względu na niską częstość prac serwisowych czy regulacyjnych);
- środki techniczne, jak osłony, wyłączniki różnicowo-prądowe i bezpieczniki (nadzorujące generalnie stan izolacji);
- środki ochrony indywidualnej (dla osób wykwalifikowanych – osoby niewykwalifikowane nie powinny być w ogóle dopuszczane do sytuacji potencjalnie wypadkowych);
- napisy oraz oznakowanie ostrzegawcze;
- instrukcje;
- szkolenia stanowiskowe.

Niestety w warunkach domowych większość z wyżej wymienionych czynników nie funkcjonuje, co owocuje wielokrotnie gorszą statystyką wypadków. Z psychologicznego punktu widzenia ważne jest również zdanie sobie sprawy z faktu, że wiele osób było rażonych powszechnie występującym napięciem przemiennych 230 V bez większych skutków dla zdrowia i życia, co powoduje mylne przeświadczenie prowadzące do zaniżania szacowania wartości rzeczywistego ryzyka. Jest to niestety główna przyczyna wypadków dla tego napięcia, zaraz obok powszechnej jego dostępności. □

Napięcie dotykowe [V]	Graniczne wartości oporu populacji ludzkiej [Ω]		
	5% populacji	50% populacji	95% populacji
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
Powyżej 1000	650	750	850

Tab. 1. Statystyczna zależność rezystancji ciała człowieka od napięcia dotyku dla populacji