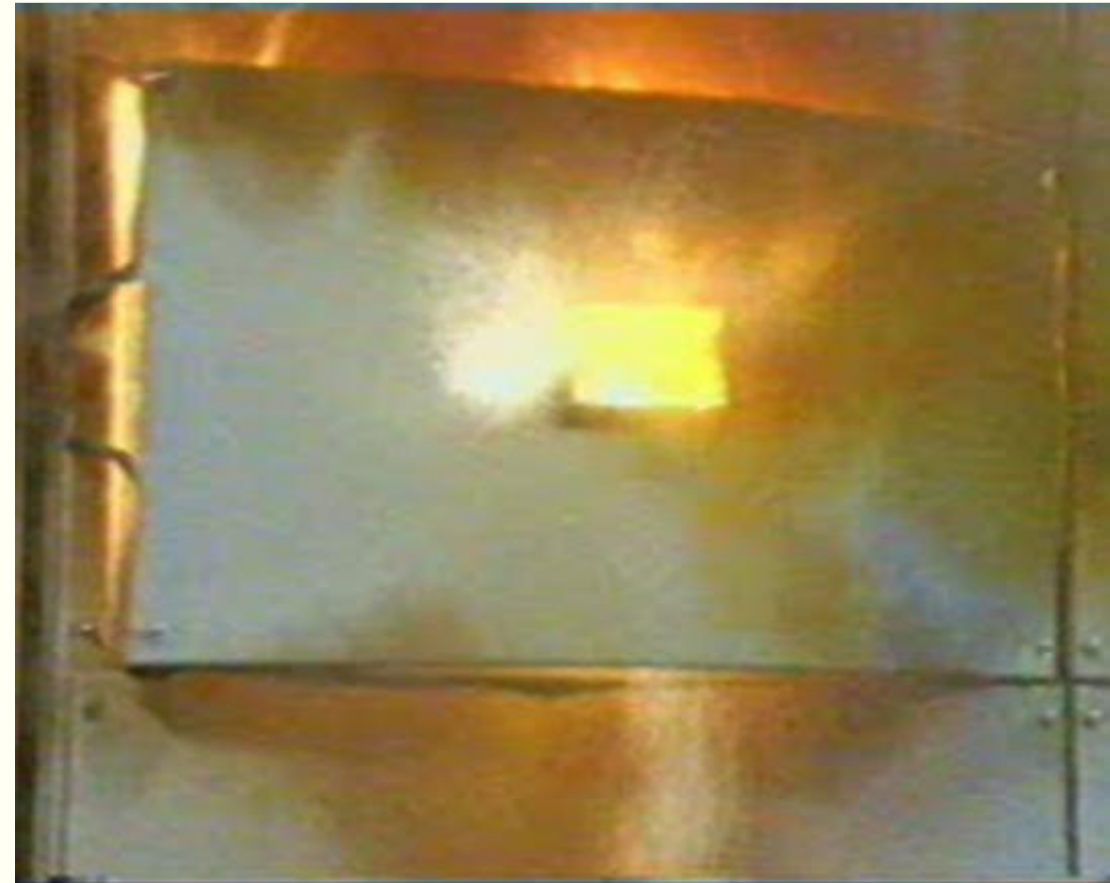


# ZAGROŻENIE PORAŻENIEM ŁUKIEM ELEKTRYCZNYM W INSTALACJACH nn I SN

Dr inż. Marek Szadkowski  
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów  
Politechnika Śląska



# Zagrozenie porazeniami łukiem elektrycznym...



**UWAGA!**  
**ZAGROŻENIE**  
**ŁUKIEM**  
**ELEKTRYCZNYM!**

**KATEGORIA 0**


**$E < 2 \text{ cal/cm}^2$**

**Wymagane środki ochrony osobistej:**

- długie spodnie i koszula z długim rękawem wykonane z niepalnych materiałów (np. bawełna, wełna, wiskoza, jedwab) o gramaturze nie mniejszej niż 150 g/m<sup>2</sup>,
- okulary ochronne,
- zatyczki do uszu,
- kask,
- rękawice (skórzane lub izolacyjne).

**Uwaga:** każda zmiana konfiguracji systemu lub nastaw zabezpieczeń unieważnia wyznaczone kategorie ryzyka oraz wymagania dla środków ochrony osobistej!

IPC S.C. ul. Łużycka 16/314, 44-100 Gliwice, tel. +48 32 778 42 22, www.ipcsc.pl, ipc@hoga.pl



**UWAGA!**  
**ZAGROŻENIE**  
**ŁUKIEM**  
**ELEKTRYCZNYM!**

**KATEGORIA 1**

**$E < 4 \text{ cal/cm}^2$**

**Wymagane środki ochrony osobistej:**

- niepalna koszula z długim rękawem i niepalne spodnie lub niepalny kombinezon,
- okulary ochronne,
- zatyczki do uszu,
- kask,
- rękawice (skórzane lub izolacyjne).

**Uwaga:** każda zmiana konfiguracji systemu lub nastaw zabezpieczeń unieważnia wyznaczone kategorie ryzyka oraz wymagania dla środków ochrony osobistej!

IPC S.C. ul. Łużycka 16/314, 44-100 Gliwice, tel. +48 32 778 42 22, www.ipcsc.pl, ipc@hoga.pl

# Zagrozenie porażeniem łukiem elektrycznym...



**UWAGA!**  
**ZAGROŻENIE**  
**ŁUKIEM**  
**ELEKTRYCZNYM!**

**KATEGORIA 3**

**$E < 25 \text{ cal/cm}^2$**

**Wymagane środki ochrony osobistej:**

- bawełniana bielizna plus niepalna koszula i niepalne spodnie plus niepalny kombinezon certyfikowany do  $25 \text{ cal/cm}^2$ ,
- okulary ochronne i specjalny kaptur ochronny,
- zatyczki do uszu,
- kask,
- rękawice skórzane na rękawicach izolacyjnych,
- grube skórzane obuwie robocze.

Uwaga: każda zmiana konfiguracji systemu lub nastaw zabezpieczeń unieważnia wyznaczone kategorie ryzyka oraz wymagania dla środków ochrony osobistej!

IPC S.C. ul. Łużycka 16/314, 44-100 Gliwice, tel. +48 32 778 42 22, www.ipcsc.pl, ipc@hoga.pl



**UWAGA!**  
**ZAGROŻENIE**  
**ŁUKIEM**  
**ELEKTRYCZNYM!**

**$E > 40 \text{ cal/cm}^2$**

**BRAK WYSTARCZAJĄCYCH**  
**ŚRODKÓW OCHRONY**  
**OSOBISTEJ DLA**  
**WYZNACZONEJ ENERGII**  
**ZDARZENIA!**

Uwaga: każda zmiana konfiguracji systemu lub nastaw zabezpieczeń unieważnia wyznaczone kategorie ryzyka oraz wymagania dla środków ochrony osobistej!

IPC S.C. ul. Łużycka 16/314, 44-100 Gliwice, tel. +48 32 778 42 22, www.ipcsc.pl, ipc@hoga.pl

# Zagrożenie porażeniem łukiem elektrycznym...

---



# Przyczyny powstania łuku elektrycznego

## Człowiek

### Bezpośrednio

1. Zaniechanie lub niedbalstwo w stosunku do procedur bezpieczeństwa pracy, głównie przy pracy z urządzeniami pod napięciem:

- opuszczenie narzędzia,
- przypadkowe dotknięcie części czynnej,
- dokonanie błędnej czynności łączeniowej
- zbytne zbliżenie się do nieizolowanej części czynnej

2. Głupota !!!!!

### Pośrednio

1. Błędne zaprojektowanie systemu elektrycznego.
2. Stosowania przestarzałych urządzeń, niespełniających wymogów bezpieczeństwa.
3. Nieprawidłowo (niechlujnie) wykonana praca np.:
  - nie wykonanie testów sprawnościowych urządzenia,
  - nie oczyszczenie powierzchni izolacyjnych z kurzu, brudu i/lub pyłu,
  - niedostateczne dokręcenie zacisków,
  - niewykonywanie lub wykonywanie niechlujnie przeglądów okresowych itp.

# Zagrozenie porażeniem łukiem elektrycznym...

---



## Inne przyczyny powstawania łuku elektrycznego

1. zbliżenie się do części czynnych pod napięciem na zbyt małą odległość, spowodowane:
  - przypadkowym ruchem – np. nieświadome dotknięcie części czynnej przez człowieka lub zwierzę,
  - nieprzypadkowym ruchem,
2. upuszczenie narzędzia, złamanie się gałęzi lub drzewa, czego efektem może być utrata ciągłości połączenia przewodów,
3. uszkodzeniem natury mechanicznej – np. odpadnięciem jakiegoś elementu,
4. nagromadzenie się pyłu, kurzu oraz brudu na powierzchniach izolacyjnych, co zmniejsza jej rezystancję powierzchniową – efektem może być powstanie „drogi” dla przepływu prądu (wyładowanie powierzchniowe),
5. korozja – spowodowana osiadaniami zanieczyszczeń na powierzchniach izolacyjnych lub przewodnikach; powoduje także zwiększenie się rezystancji przejścia na styku dwóch przewodników połączonych mechanicznie (np. na skutek utleniania),
6. skraplanie – na powierzchni z materiałów izolacyjnych może dochodzić do skraplania się pary wodnej, zmniejszając tym samym rezystancję powierzchniową, co może prowadzić do doziemnych wyładowań łukowych,
7. uszkodzenie lub zestarzenie się izolacji, którego efektem końcowym jest jej przebicie,
8. przepięcia (głównie atmosferyczne) przy zbyt małej odległości między nieizolowanymi przewodnikami – sytuacja taka może mieć miejsce np. w urządzeniach elektrycznych, w których szyny są zbyt blisko siebie (zostały źle zaprojektowane),
9. zniszczenie albo uszkodzenie urządzenia lub narzędzia.

# Zagrozenie porażeniem łukiem elektrycznym...

## Oparzenia

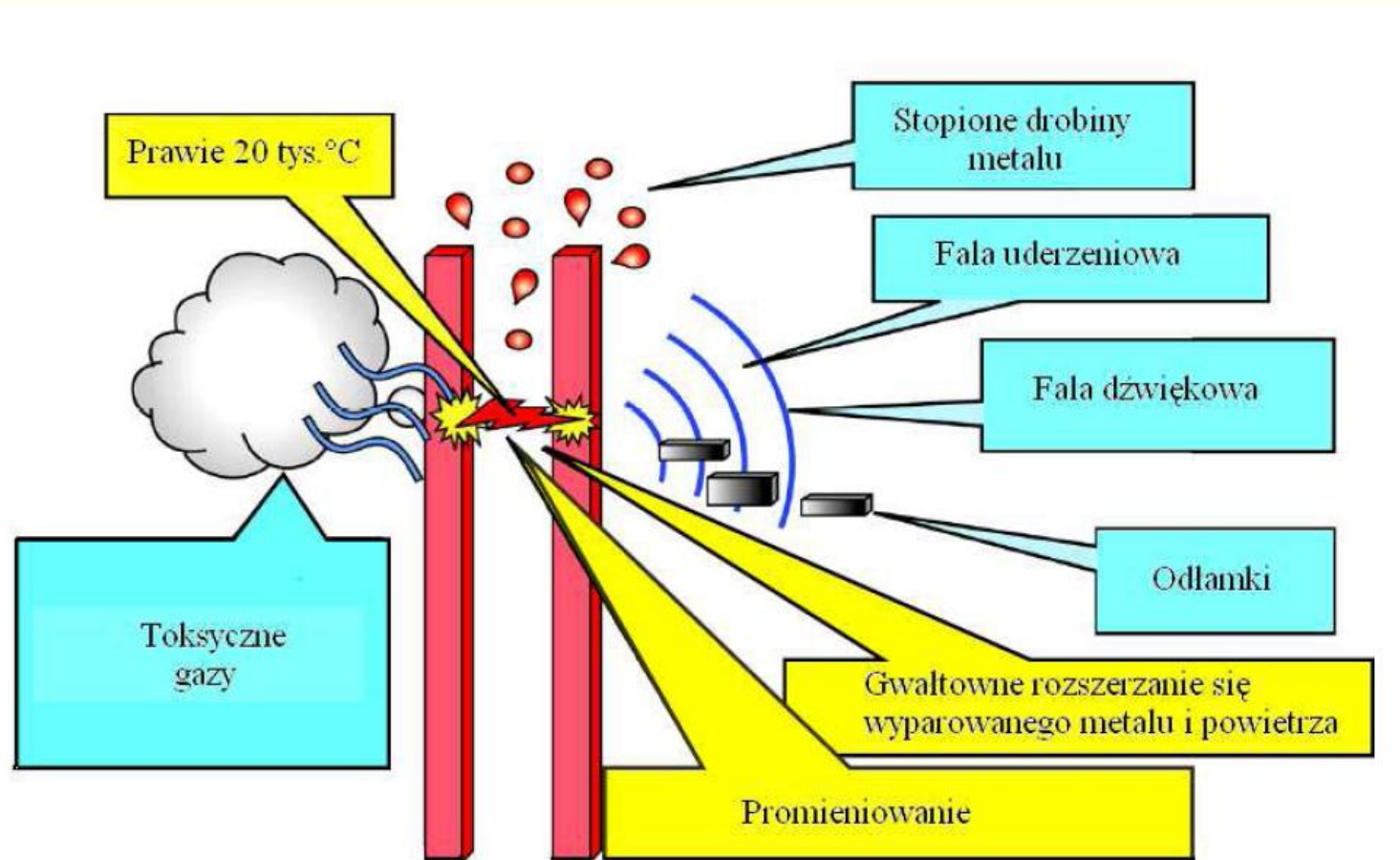
II stopnia



IV stopnia







Graf przedstawiający podstawowe zjawiska towarzyszące wyladowaniu łukowemu w powietrzu

# Zagrozenie porazeniami łukiem elektrycznym...



IEEE 1584 *Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations*

NFPA 70E *Standard for Electrical Safety in the Workplace* – 2015 Edition

$$E = 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{D^x} \right), \quad \text{w J/cm}^2$$

$C_f$  – współczynnik równy 1,0 dla napięć znamionowych urządzenia większych niż 1,0 kV oraz równy 1,5 dla napięć nie większych niż 1,0 kV,

$E_n$  – znormalizowana energia łuku,

$t$  – czas palenia się łuku (w s),

$D$  – odległość tułowia pracownika od źródła łuku (w mm),

$x$  – wykładnik odległości określony w odpowiedniej tabeli.

$$\log_{10} E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log_{10} I_a + 0,0011G$$

w  $\text{cal/cm}^2$  (założenia: czas palenia się łuku 0,2 s; odległość tułowia pracownika od źródła łuku 610 mm)

$I_a$  – prąd łuku (z ang. *arcing current*) czyli obliczony prąd zwarciovowy (przy zwarciu trójfazowym) z uwzględnieniem impedancji łuku,

$K_1$  – współczynnik równy 0,792 gdy analizowane urządzenie nie jest zamknięte w obudowie oraz równy 0,555 gdy urządzenie posiada szczelną obudowę,

$K_2$  – współczynnik równy 0 gdy analizowane urządzenie jest izolowane od ziemi natomiast równy 0,113 gdy urządzenie jest bardzo dobrze uziemione,

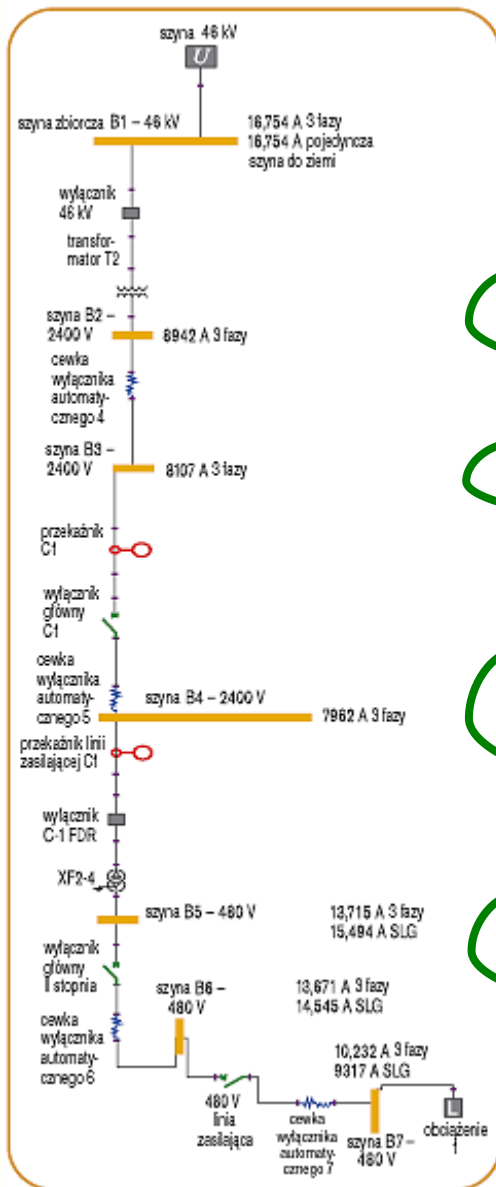
$G$  – odległość między torami prądowymi w analizowanym urządzeniu (w mm).

# Zagrożenie porażeniem łukiem elektrycznym...

---

Wartości energii łuku i odpowiadające im kategorie zagrożenia

Wartość energii łuku (w cal/cm <sup>2</sup> )	Kategoria zagrożenia
0 – 1,2	0
1,2 – 4,0	1
4,0 – 8,0	2
8,0 – 25,0	3
25,0 – 40,0	4



## Algorytm postępowania przy analizie zagrożenia wyładowaniem łukowym

1. Analiza systemu (instalacji) i określenie parametrów poszczególnych jego elementów

2. Ustalenie normalnego trybu zasilania systemu

3. Ustalenie wartości prądów zwarcia trójfazowego w poszczególnych elementach systemu

4. Ustalenie wartości prądów zwarciovych w czasie palenia się łuku

5. Określenie urządzeń zabezpieczeniowych i czasów palenia się łuku

6. Określenie rodzaju (klasy) analizowanego urządzenia oraz jego napięcia znamionowego

7. Określenie odległości roboczej (pracownika od analizowanego sprzętu)

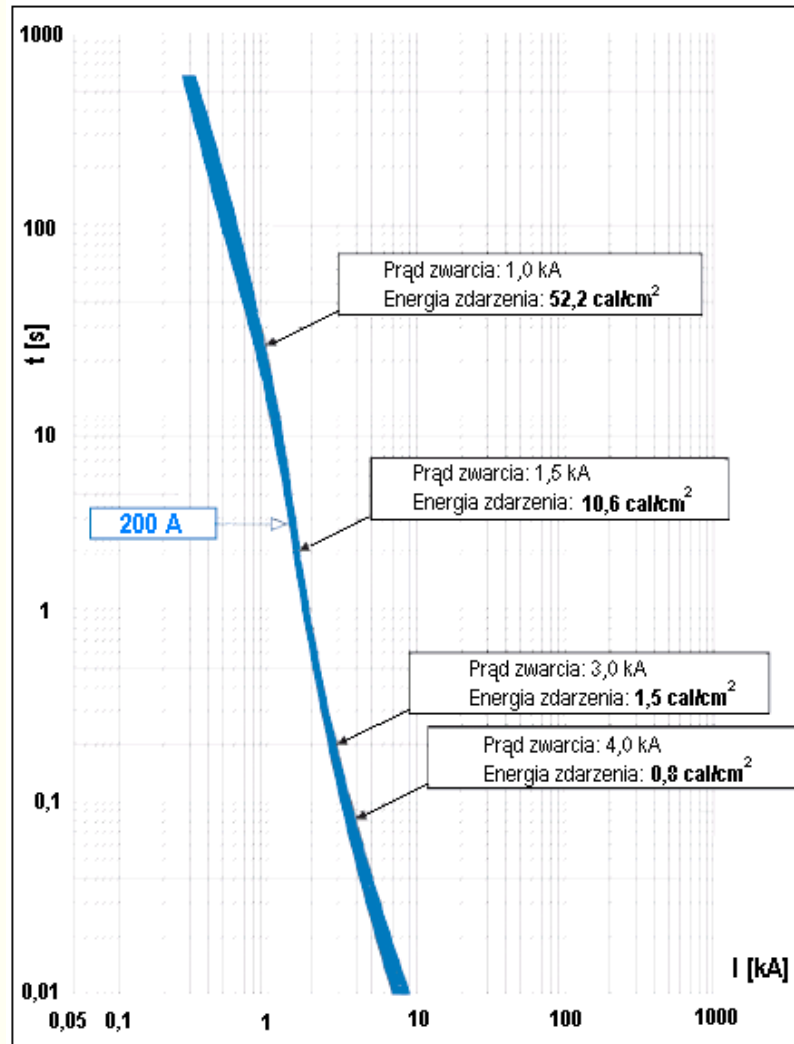
8. Określenie energii zdarzenia dla poszczególnych elementów systemu

9. Określenie strefy działania łuku

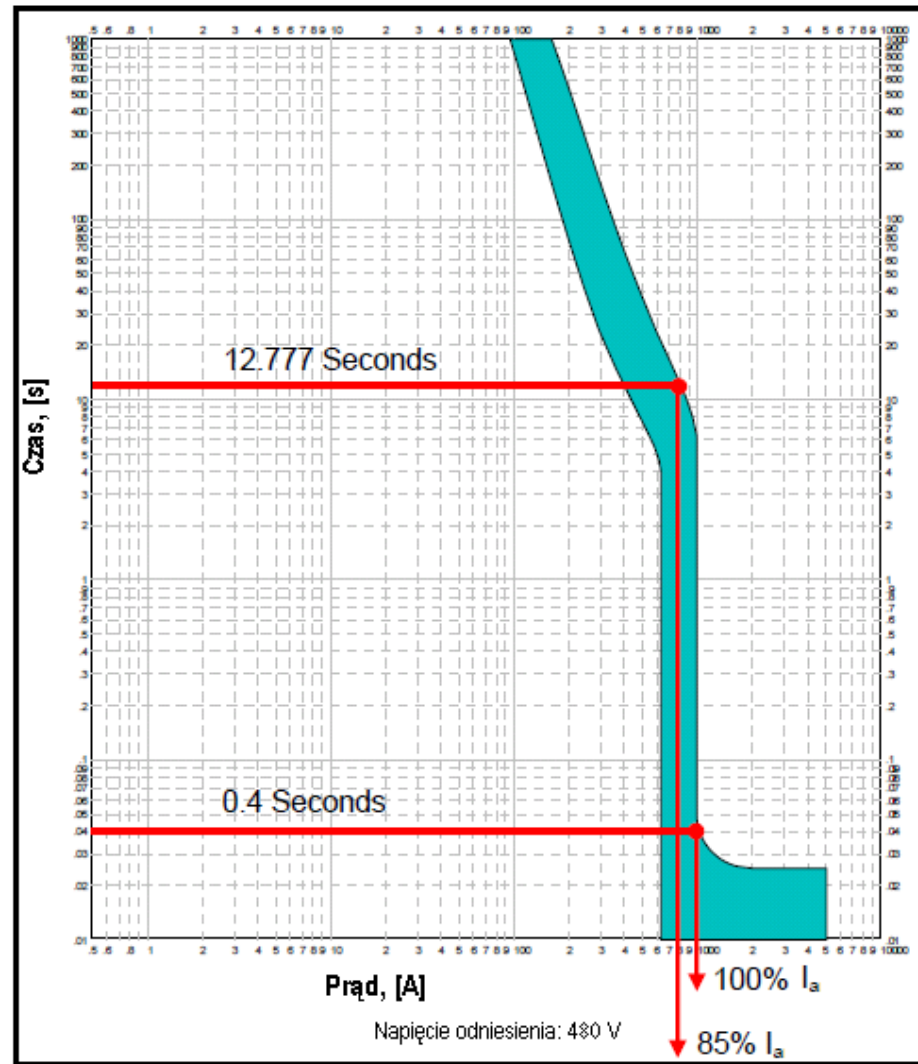
9. Określenie kategorii zagrożenia wyładowaniem łukowym

Wyniki obliczeń prądu zwarcia łukowego, energii zdarzenia i granicy wybuchu łukowego oraz proponowana kategoria PPE dla Rozdzielni, rozdzielnic, tablic rozdzielczych i szaf sterujących

Miejsce analizy	Napięcie znamionowe $U_r$	Prąd początkowy zwarcia trójfazowego $I_k$ (z analizy)	Rzeczywisty prąd zwarcia łukowego w zabezpieczeniu, (obliczony)	Czas trwania zagrożenia	Założona „odległość pracy”	Energia wybuchu łuku	Energia wybuchu łuku	Strefa rażenia	PPE zgodnie z NFPA 70E
	kV	kA	kA	s	mm	J/cm <sup>2</sup>	cal/cm <sup>2</sup>	mm	Kategoria
ST-1	15	1,129	1,14	1,20	910	52,53	12,6	2943	3
ST-3	15	3,189	3,16	0,10	910	12,37	3,0	1428	1
SO-1	15	3,117	3,09	0,50	910	60,43	14,4	3157	3
SO-2	15	3,102	3,07	0,50	910	60,14	14,4	3149	3
SO-3	15	3,032	3,00	0,50	910	58,78	14,0	3114	3
SO-4	15	3,123	3,09	0,50	910	60,55	14,5	3160	3
RP-6	6	2,81	2,79	0,02	910	0,20	0,0	34	0
S4	6	2,804	2,78	0,10	910	1,36	0,3	237	0
RNN-1	0,4	53,006	17,66	0,01	610	1,63	0,4	284	0
RNN-2	0,4	14,281	6,28	0,01	610	0,53	0,1	133	0
RNN-4	0,4	51,292	17,21	0,01	610	1,58	0,4	279	0
PST	0,4	7,327	3,71	0,10	610	3,02	0,7	432	0
MCC101.1	0,4	22,364	9,48	0,02	455	2,64	0,6	308	0
MCC201.1	0,4	18,044	7,97	0,02	455	2,19	0,5	274	0
MCC301.1	0,4	51,821	18,71	0,02	455	5,51	1,3	482	1
MCC304.1	0,4	51,638	18,66	0,01	455	2,75	0,7	315	0
MCC305.1	0,4	51,638	18,66	0,01	455	2,75	0,7	315	0
MCC303.1	0,4	51,817	18,71	0,02	455	5,51	1,3	482	1
MCC401.1	0,4	21,513	9,18	0,01	455	1,28	0,3	198	0
MCC501.1	0,4	16,115	7,27	0,01	455	0,99	0,2	169	0



Zwiększanie się energii zdarzenia wraz ze zmniejszaniem się prądu zwarcia na przykładzie bezpiecznika 200 A



Wartości 100% i 85% prądu zwarcia łukowego a czas przerwania

## Sprzęt ochrony osobistej

Pracownicy, którzy wykonują pracę w miejscach, gdzie występują zagrożenia elektryczne (porażenie prądem, porażenie łukiem) są zobowiązani do używania sprzętu PPE, w który muszą ich wyposażyć pracodawcy.

Sprzęt ten musi być zaprojektowany i skonstruowany tak, by przy wykonywaniu określonych zadań chronił odpowiednie części ciała, przede wszystkim głowę i korpus, przed zagrożeniami powodowanymi wyładowaniem łukowym.

Pracownicy zobligowani są dbać o ten sprzęt i przechowywać w odpowiednich warunkach, co nie zwalnia ich przed oględzinami PPE każdorazowo przed jego użyciem.





Nie dopuszcza się żadnych ubrań ze sztucznych materiałów, jeśli nie są one specjalnie zaprojektowane i skonstruowane w celach ochrony przed wyładowaniem łukowym – nawet gdy nie stanowią one wierzchniej warstwy ubrania. Spodnie i koszule powinny być bawełniane. Wymóg ten jest podyktowany podatnością sztucznych włókien na wysoką temperaturę – topią się, przylegając do skóry i zaczynają palić się przy niższych temperaturach. W czasie wykonywania pracy pod napięciem niedopuszczalne jest noszenie koszuli z krótkim rękawem, ponieważ wtedy większość powierzchni rąk jest nieosłonięta.

Ubrania ognioodporne nie są niepalne – bardzo wysoka temperatura, która towarzyszy wyładowaniu łukowemu może spowodować jego zapalenie, lecz płomień powinien wygasnąć samoczynnie (w czasie nie dłuższym niż 2 s) po odcięciu ubrania od źródła energii w postaci łuku.

Ubrania stanowiące sprzęt PPE są oznaczone wartością energii zdarzenia, na jaką zostały zaprojektowane. W tym zakresie chronią skórę przed przedostaniem się ciepła powodującego oparzenia co najmniej drugiego stopnia.

Na ubraniu ochronnym powinny znaleźć się następujące informacje:

1. energia zdarzenia, na którą zaprojektowano ubranie,
2. czy spełnia ono wymagania ASTM F1506,
3. dane producenta,
4. instrukcję obsługi,
5. kod systemu identyfikacji pozwalający na prześledzenie gdzie i kiedy ubranie zostało wyprodukowane (na jakich maszynach, kto nadzorował pracę),
6. rozmiar oraz inne typowe informacje.

# Zagrożenie porażeniem łukiem elektrycznym...

---

Dziękuję za uwagę