

WYŁĄCZANIE W JEDNYM OKRESIE

Dlaczego wystąpienie zwarcia łukowego jest takie niebezpieczne?

Zgodnie z ostatnimi badaniami przeprowadzonymi w USA przez OSHA (Occupational Safety and Health Administration) zawód elektryka został uznany statystycznie trzecim najbardziej niebezpiecznym zawodem. Jedynie na terenie USA według OSHA każdego dnia ma miejsce 10 wypadków związanych z działaniem łuku elektrycznego, z czego co najmniej jeden z nich jest śmiertelny. Badania pokazują, że aż do 80% wypadków nie jest spowodowanych bezpośrednim przepływem prądu przez ciało człowieka, lecz powstaje wskutek oparzeń wywołanych intensywnym wypromieniowaniem energii cieplnej w chwili eksplozji wywołanej zwarcie łukowym. Zapobieganie eksplozjom wywołanym zwarciami łukowymi i ochrona personelu narażonego na oddziaływanie niekorzystnych czynników występujących w takich wypadkach pozostaje niezmiennie priorytetem. W celu zredukowania liczby tego typu wypadków przy pracy, National Fire Protection Association (NFPA) opracowała normę NFPA 70E „Standard for Electrical Safety in the Workplace”. Norma dostarcza wskazówek doboru środków ochrony osobistej PPE (Personal Protective Equipment), aby znacząco zredukować lub zapobiec uszkodzeniom ciała podczas wypadków związanych ze zjawiskiem łuku elektrycznego. W celu identyfikacji kategorii ryzyka NFPA stworzyła kategorie HRC (Hazard/Risk Categories). Ma to w założeniu pomóc użytkownikom i uprościć dobór środków ochrony osobistej - PPE (Personal Protective Equipment).



Rys 1. Kombinezon ochronny.
Źródło: Tavrída Electric.

NFPA 70E Tabela 130.7(C)(16) (uproszczona i przeliczona na J/cm²)

Narażenie/kategoria ryzyka (HRC)	Minimalny poziom odporności termicznej PPE (J/cm ²)*
HRC0	N/A
HRC1	16,74 J/cm ²
HRC2	33,47 J/cm ²
HRC3	104,6 J/cm ²
HRC4	167,36 J/cm ²

* - Minimalna wartość energii przy ekspozycji na którą środki ochrony osobistej PPE są zdolne ochronić personel przed termicznymi skutkami zwarcia łukowego w odległości roboczej od źródła łuku wg normy IEEE 1584

Czym jest wyładowanie łukowe ?

Wyładowanie łukowe jest niebezpiecznym zjawiskiem związanym z wydzielaniem energii która jest proporcjonalna do $V \times I \times t$. Według NFPA 70E D.4.3 (c) wartość energii na jednostkę powierzchni obliczona według metody zawartej w normie IEEE 1584 wynosi:

$$E = 4.184 C_f E_n (t/0.2) (610^x / D^x)$$

gdzie:

E - energia incydentalna J/cm^2 (Incident Energy)

C_f - przyjmuje wartość 1 dla napięć pow 1kV

t - czas oddziaływania łuku, s

X - wykładnik zależny od odległości (tabela NFPA 70E D.4.2.)

D - odległość robocza, mm (od łuku do osoby) - 910 mm dla rozdzielni SN (tabela NFPA 70E D.4.3)

E_n - Energia incydentalna znormalizowana (dla czasu i odległości)

Energia incydentalna (Incident Energy) jest miarą energii cieplnej w odległości roboczej od zwarcia łukowego. Jednostką energii incydentalnej jest J/cm^2 ewentualnie cal/cm^2 . Jako odległość roboczą przyjmuje się odległość od miejsca gdzie znajduje się narażona osoba obsługi (mierzona od twarzy lub klatki piersiowej) do miejsca palenia się łuku. Dla rozdzielni SN przyjmuje się 910 mm. Analiza wartości tej energii pozwala na właściwy dobór PPE ograniczających oparzenia do możliwego do wyleczenia stopnia. Przyjmuje się że wartość progowa która może spowodować już oparzenie II stopnia wynosi ok. 5 J/cm^2 .

Podczas palenia się łuk elektryczny wytwarza olbrzymią ilość energii która powoduje:

- powstanie jednej z najwyższych na ziemi temperatur, aż do 19000 °C (piec łukowy posiada temperaturę 1600-3000 °C)
- wyrzucenie odłamków
- najsilniejszą falę uderzeniową i falę dźwiękową
- toksyczny dym

Wszystkie te zjawiska niszczą urządzenia i wyposażenie oraz są niebezpieczne dla obsługi.



Rys 2. Efekty zwarć łukowych. Źródło: Tavrida Electric.

Jak jeszcze można chronić?

Bezpieczeństwo personelu obsługi jest priorytetem w energetyce i przemyśle. Jednakże stosowanie nieporęcznych i niewygodnych środków ochrony osobistej jest drogie dla firmy i niekomfortowe dla samego personelu. Oprócz tego środki te wymagają okresowych badań i wymiany. Aby zredukować obciążenia dla firm pozwalających personelowi/elektrykom nosić tańszą, lekką i wygodną odzież roboczą została wprowadzona przez normy IEC klasa odporności na wewnętrzny łuk elektryczny (IAC). Obecnie rozdzielnice są klasyfikowane pod kątem wytrzymałości na zjawisko wewnętrznego zwarcia łukowego przez określony czas. Znacząco redukuje to ryzyko zniszczenia urządzeń i zranienia obsługi. Niemniej jednak, okapturzone obudowy rozdzielnic klasy „metal clad” wyposażone w kłapy wydmuchowe i kanały dekompresyjne do ewakuacji gazów połukowych nie są jedynym miejscem powstawania zwarć i nie pokrywają 100% przypadków. Jako że iloczyn $V \times I$ jest zależny od warunków zwarciovych w miejscu, jedynie czas palenia się łuku (t) jest zmienną.

Skutki zwarć łukowych w zależności od klasyfikacji IAC i zabezpieczeń.

Bez klasyfikacji IAC i bez zabezpieczenia łukowego.
Prąd zwarcia 25kA.
Czas palenia się łuku 1s.



Klasyfikacja IAC 1s, bez zabezpieczenia łukowego.
Prąd zwarcia 31,5kA.
Czas palenia się łuku 1s.



Klasyfikacja IAC 1s, zabezpieczenie łukowe.
Prąd zwarcia 31,5kA.
Czas palenia się łuku 80ms.



Całkowite zniszczenie

Całkowite zniszczenie

Jedynie przedział wyłącznikowy został uszkodzony. Pozostałe przedziały w polu i polach sąsiadujących zostały nienaruszone.

Lekkie uszkodzenia

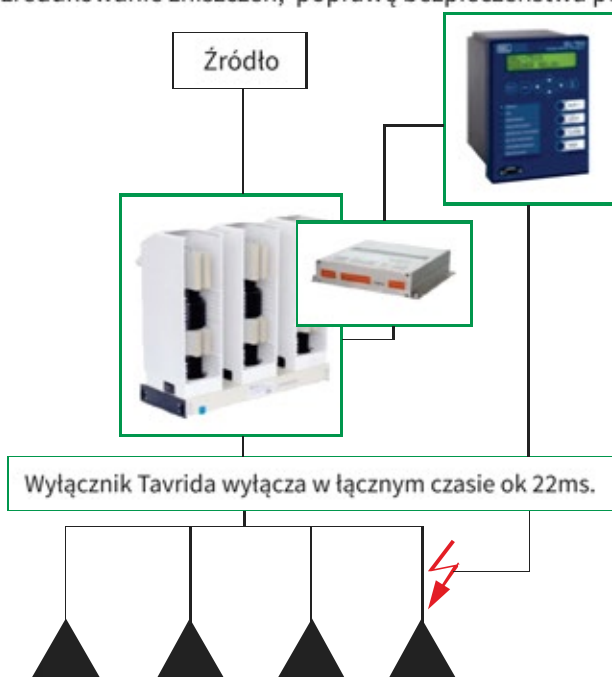
Lekkie uszkodzenia w miejscu powstania łuku. Pole jest sprawne i wymaga jedynie wyczyszczenia.

Jak skrócić czas palenia się łuku?

Energia uwolniona podczas palenia się łuku jest wprost proporcjonalna do czasu jego trwania. Krótszy czas oznacza mniej zniszczeń i mniejsze zagrożenie personelu. Zastosowanie nowoczesnych zabezpieczeń łukowych z optycznymi sensorami o czasie odpowiedzi 2ms umożliwia skrócenie całego czasu wyłączenia do ok 20ms. W tych samych warunkach wyłączniki o napędzie zasobnikowo – sprężynowym potrzebują do 5 cykli (100ms).

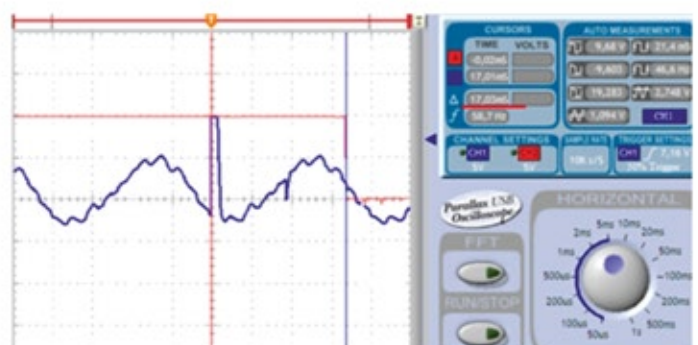
Wyłączniki TEL zaaplikowane w rozdzielnicach MILE zostały skonstruowane pamiętając o powyższej idei - zoptymalizowano komory próżniowe, izolację, napęd magnetyczny i moduł sterujący. Powstał w ten sposób najszybszy wyłącznik, wyłączający w czasie jednego okresu – przełom w szybkim wyłączeniu i technologii ochrony przeciwłukowej.

Wyłącznik po otrzymaniu sygnału wyzwalamy z zabezpieczenia łukowego jest zdolny wyłączyć w czasie krótszym niż 20ms, zapewniając złagodzenie skutków zwarcia łukowego – najszybsze wyłączenie w branży – pozwala to na zredukowanie zniszczeń, poprawę bezpieczeństwa personelu obsługi i minimalizację czasu utraty zasilania.



rys. 3 Schemat poglądowy. Źródło: TEE

Czas odpowiedzi zabezpieczenia z szybkimi stykami, ms	2
Czas zadziałania modułu sterowania CM15, ms	3
Czas otwierania wyłącznika serii shell, ms	8
Zgaszenie łuku przy następnym przejściu prądu przez zero, ms	6
Całkowity czas palenia się łuku, ms	<22
Energia incydentalna dla prądu do 50kA, J/cm ²	<7,54
Kategoria ryzyka HRC dla prądu zwarcia do 50kA	HRC0



Wyłączniki Tavrida Electric współpracują ze wszystkimi standardowymi zabezpieczeniami łukochronnymi.

Redukcja energii pochłoniętej i kategorii ryzyka HRC do absolutnego minimum

Tabela poniżej pokazuje wartości energii incydentalnej w zależności od czasu wyłączenia prądu zwarciovego w przedziale od 10 do 50kA. Kolory od białego do czerwonego odpowiadają kategoriom zagrożenia wymienionym w normie NFPA 70E „Standard for Electrical Safety in the Workplace”.

energia incydentalna (J/cm²)*

Prąd zwarcia (ka)	Czas wyłączenia (s)										
	0,02 (1 okres)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
10	0,84	5.23	10.46	15.69	20.92	26.15	31.84	36.65	41.88	47.20	52.55
20	2,09	10.92	21.88	32.80	43.72	54.60	65.60	76.52	87.45	98.37	109.33
30	2,93	16.82	33.64	50.46	67.28	84.09	100.91	117.74	134.52	151.38	168.20
40	4,60	22.84	45.68	68.49	91.34	114.18	136.98	159.82	182.67	205.52	228.32
50	7,54	28.95	57.90	86.82	115.77	145.14	174.10	202.60	235.73	260.50	289.45

* - energia incydentalna obliczona wg metodologii IEEE 1584

Zastosowanie rozdzielnic typu MILE z wyłącznikami o napędzie magnetycznym produkowanej przez ELTAR ENERGY wraz z nowoczesnymi zabezpieczeniami łukochronnymi obniża kategorię zagrożenia personelu do HRC0 dla wszystkich prądów zwarcia, co jest absolutnym minimum. Nie ma więc żadnej potrzeby używania przez personel specjalnych środków ochrony. Można przyjąć też założenie, że stosowanie osobistych środków ochrony nie ma uzasadnienia z innych powodów. Norma PN-EN 62271-200 nie przewiduje żadnych wymogów dla takiego sposobu ochrony, a prawidłowo zbudowana i przebadana zgodnie z normą rozdzielnica o zadeklarowanej odporności na łuk wewnętrzny powinna zapewnić niezbędne minimum pasywnego bezpieczeństwa.

Niemniej jednak pozostaje kilka innych aspektów które przemawiają za stosowaniem szybszego wyłączenia. Natura zwarcia łukowego nie jest do końca przewidywalna. Zawsze należy się liczyć z innym niż podczas badań zachowaniem urządzenia. Zwarcia powstające w zamkniętych przedziałach nie pokrywają wszystkich przypadków. Bezdyskusyjne jest też ograniczenie zniszczeń aparatów zainstalowanych w przedziale w którym wystąpiło zwarcie i ewentualnie w przedziałach sąsiednich. Przywrócenie zasilania przy szybkim wyłączeniu będzie zdecydowanie szybsze. W przypadku zastosowania zabezpieczeń z wejściami/kanałami optycznymi, uzupełnienie rozdzielnicy MILE o system szybkiego wyłączenia zwarć wymaga jedynie zamontowania czujników optycznych. Stosując ten sam zabieg w przypadku rozdzielnic z wyłącznikami z napędem zasobnikowo-sprężynowym oczekiwanego efektu w takim stopniu jak poprzednio nie uzyskamy. Nawet przy braku zabezpieczeń łukowych rozdzielnice wyposażone w wyłączniki magnetyczne jeśli chodzi o czasy wyłączenia pozostają bezkonkurencyjne w porównaniu ze swoimi tradycyjnymi odpowiednikami.

Opracowanie własne ELTAR ENERGY na podstawie materiałów **Tavrida Electric**.