

dr inż. Gerard Kaluża

mgr inż. Łukasz Surowy

Zdolność zapoczątkowania zwarcia łukowego wybuchem metanu w osłonie ognioszczelnej urządzenia grupy I, zasilanego napięciem 3,3kV i 6kV.

1. Wprowadzenie

Na obszarze Unii Europejskiej urządzenia przeznaczone do pracy w przestrzeni zagrożonej wybuchem muszą spełniać wymagania dyrektywy 94/9/WE [1]. W Polsce treść dyrektywy wprowadzono rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem

W dyrektywie/rozporządzeniu zawarto jedynie wymagania zasadnicze jakim muszą odpowiadać urządzenia, wymagania szczegółowe przedstawiają tzw. normy zharmonizowane.

Należy podkreślić, że spełnienie wymagań podanych w w/w normach stwarza domniemanie zgodności (nie pewność) z wymaganiami zasadniczymi dyrektywy. Z tego względu niezbędne jest wykonywanie badań urządzeń.

Powszechnie stosowanym rodzajem wykonania przeciwybuchowego urządzeń elektrycznych jest osłona ognioszczelna. Ten rodzaj budowy przeciwybuchowej zapewnia, że ewentualny wybuch mieszaniny wewnątrz nie wydostanie się do otaczającej atmosfery. Należy podkreślić, że osłona ognioszczelna może zawierać we wnętrzu efektywne źródła zapłonu.

Prawidłowo zaprojektowana i wykonana osłona musi być dostosowana do występującego podczas wybuchu wewnętrznego ciśnienia oraz temperatury. Wartości i kształt przebiegu ciśnienia zależą między innymi od zastosowanej do badań (znormalizowanej) mieszaniny wybuchowej, kształtu osłony, temperatury otoczenia, rozmieszczenia i wielkości wyposażenia znajdującego się wewnątrz. Zmiana parametrów wybuchu może prowadzić do utraty ognioszczelności.

Z dotychczasowego doświadczenia wiadomo, że zwarcia łukowe stanowią poważne zagrożenie dla integralności osłony ognioszczelnej. Szczególnie duże zagrożenie stwarzają zwarcia w osłonach ognioszczelnych urządzeń o napięciu powyżej 1000V.

Przyczyną powstania zwarcia łukowego we wnętrzu urządzenia elektrycznego może być:

- osłabienie - uszkodzenie izolacji elementów czynnych; zanieczyszczenie powierzchni izolacji
- występowanie nadmiernych przepięć
- uszkodzenie mechaniczne elementów/podzespołów pracujących w obwodzie wysokiego napięcia
- niewłaściwy montaż wyposażenia elektrycznego

W normie zharmonizowanej PN-EN 60079-1 [3] odnoszącej się do osłon ognioszczelnych nie przewidziano badań mających na celu sprawdzenie ognioszczelności osłony podczas wewnętrznego zwarcia łukowego. Rezygnację z badań oparto na wymogu spełnienia wymagań bezpieczeństwa określonych w odpowiednich normach przemysłowych. Powyższe założenie pozwala zminimalizować prawdopodobieństwo powstania zwarcia.

Mając na uwadze własności osłony ognioszczelnej i założenie stosowania odpowiedniego wyposażenia wewnętrznego, nasuwa się jednak pytanie czy wewnętrzny wybuch mieszaniny metanu z powietrzem może być źródłem zwarcia.

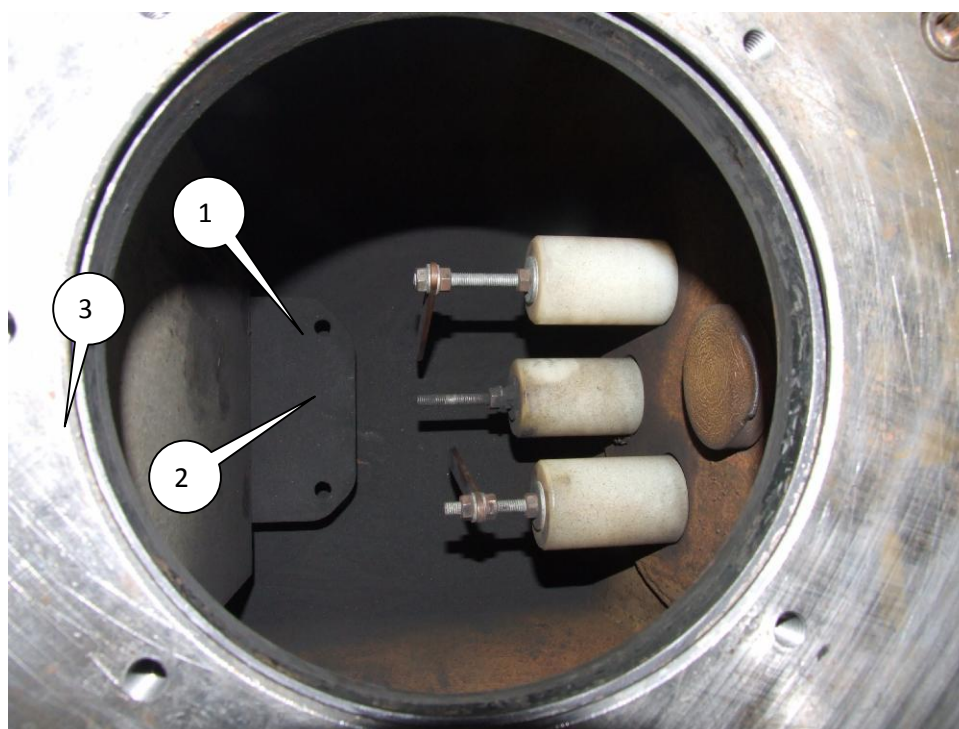
W celu odpowiedzi na to pytanie przeprowadzono szereg badań, których wyniki przedstawiono w niniejszym artykule.

2. Stanowisko badawcze

W celu przeprowadzenia badań zbudowano stanowisko składające się z:

- generatora mieszanin wybuchowych z masowymi miernikami przepływu,
- układu pomiaru ciśnienia z czujnikami piezoelektrycznymi,
- układu zapłonowego,
- układu rejestracji przebiegu ciśnienia i prądu w obwodzie wysokiego napięcia,
- układu generatorów wysokiego napięcia,
- modelowej osłony ognioszczelnej,
- ognioszczelnego bufora pomiaru wilgotności mieszaniny gazowej,
- systemu nawilżania mieszaniny gazowej.

Aby wyeliminować ewentualny wpływ zastosowanego wyposażenia elektrycznego na wyniki badań, we wnętrzu osłony ognioszczelnej zamontowano jedynie układ elektrod symulujących niez izolowane przewody szynowe oraz zaciski śrubowe (fot. 1). Sztywność konstrukcji gwarantuje zachowanie stabilnych odstępów podczas wybuchu mieszaniny metanu z powietrzem. Jako źródło wysokiego napięcia zastosowano generator o mocy 20kVA z autonomicznym wyłącznikiem zwarciovym (fot. 2).



Fot. 1 Wnętrze osłony modelowej-elektrody

Pozycja 1. Przewód szynowy

Pozycja 2. Zacisk śrubowy

Pozycja 3. Przegroda zaburzająca wybuch



Fot. 2 Konfiguracja stanowiska badawczego

a). stanowisko badawcze

b). generator prądu o mocy 20kVA z autonomicznym wyłącznikiem zwarciovym

3. Badania dla napięcia zasilania 3,3kV

Do badań przyjęto następujące parametry:

- odstęp izolacyjny pomiędzy elektrodami zgodny z wymaganiami normy zharmonizowanej PN-EN 60079-7 [4]
- mieszanina gazowa: metan z powietrzem o zawartości 9,8% CH₄;
- zakres wilgotności mieszaniny: Rh=30%, Rh=60%, Rh= 90% + kondensacja (250ml H₂O na 60dm³ pojemności osłony)
- napięcie zasilania: 3300V + 10% = 3630V
- ciśnienie atmosferyczne
- +19°C ≤ Ta ≤ +22°C

W trakcie badań zdolności zapoczątkowania zwarcia łukowego poprzez wybuch mieszaniny metanu z powietrzem, dla odstępów izolacyjnych 36mm oraz zmniejszonych (o 1/3) do 24mm, nie zanotowano zwarcia. W obwodzie wysokonapięciowym zarejestrowano prądy chwilowe o wartościach pomiędzy 5mA i 15mA powodowane wybuchem mieszaniny gazowej.

3.1 Wyznaczenie minimalnego odstępów izolacyjnego, który nie skutkuje wystąpieniem zwarcia w trakcie prób wytrzymałości elektrycznej izolacji (dotyczy próby wyrobu). Napięcie próby $2 \times U_n + 1000V = 7,6kV$; ciśnienie atmosferyczne.

Dla przyjętego układu elektrod (zacisk śrubowy – przewód szynowy) prowadzono próby napięciowe w funkcji odległości pomiędzy elektrodami. Wyznaczona krytyczna odległość mierzona w powietrzu o temperaturze $T=21^{\circ}C$ i wilgotności Rh=30% wyniosła 6,5mm. Dla tej odległości wykonano 10 prób napięciowych (czas trwania 60 sek.) nie uzyskując przebicia izolacji powietrznej.

Powyższe czynności powtórzono dla napięcia próby o wartości 10kV (wartość wymagana zgodnie z normą PN-G-50003). Uzyskano odstęp pomiędzy elektrodami równy 8,5mm.

Następnie sprawdzono, czy występuje przebicie w trakcie prób napięciowych dla ośrodka gazowego (w postaci mieszaniny o składzie: 9,8% CH₄+powietrze) i odstępów 6,5mm/7,6kV oraz 8,5mm/10kV. Przeprowadzone próby nie doprowadziły do przebicia.

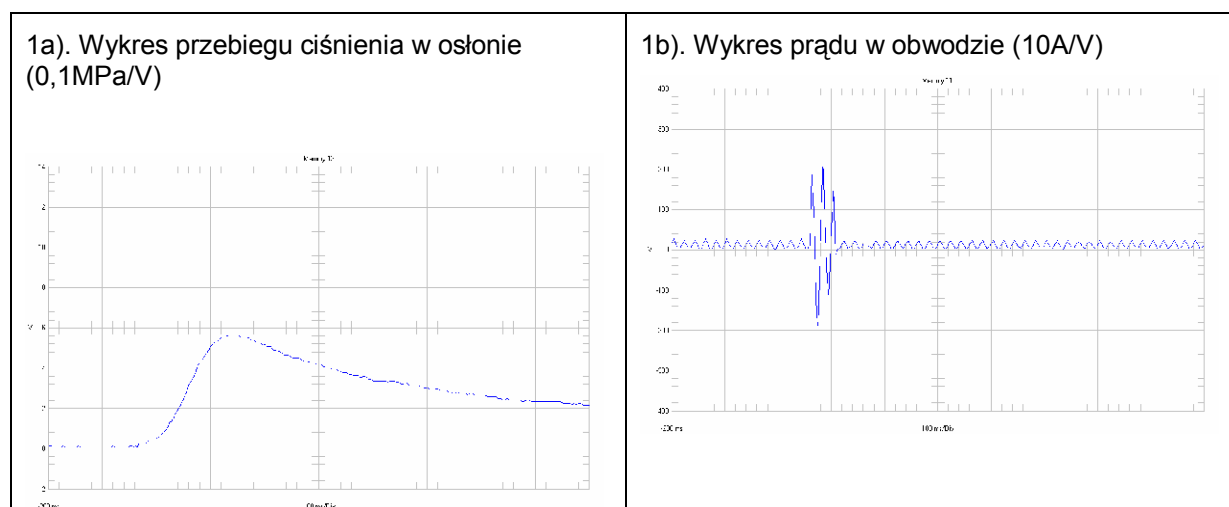
3.2 Wyznaczenie odstępów izolacyjnych większych niż 6,5mm, dla których wybuch mieszaniny 9,8% CH₄+powietrze przy wilgotności mieszaniny Rh=30, 60 i 90% i temperaturze T=21° C nie powoduje zwarcia. Napięcie próby $U = U_n + 10\% = 3630V$; ciśnienie atmosferyczne.

Dla przyjętego układu elektrod (zacisk śrubowy – przewód szynowy) prowadzono próby zdolności zapoczątkowania zwarcia w funkcji odległości pomiędzy elektrodami. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1. Na rys. 1a i 1b zamieszczono przykłady odpowiednio, zarejestrowanego przebiegu ciśnienia wybuchu (1a) oraz przebiegu prądu w obwodzie elektrod (1b).

Tabela 1 Wyniki prób zdolności do zapoczątkowania zwarcia w funkcji odległości pomiędzy elektrodami dla napięcia próby 3630V.

Napięcie	Wilgotność/ temperatura mieszaniny	Nr próby	Odstęp elektrod	Wynik próby
3300V + 10% = 3630V	Rh= 30% Temp.= 21° C	1	L=6,5mm	Uzyskano zwarcie
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=8mm	Uzyskano zwarcie
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Uzyskano zwarcie
		7	L=10mm	Uzyskano zwarcie
		8		Uzyskano zwarcie
		9		Uzyskano zwarcie
		10	L=12mm	Brak zwarcia
		11		Brak zwarcia
		12		Brak zwarcia
		13	L=11mm	Uzyskano zwarcie
		14		Uzyskano zwarcie
		15		Uzyskano zwarcie
3300V + 10% = 3630V	2 Rh= 60% Temp.=21° C	1	L=6,5mm	Uzyskano zwarcie
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=8mm	Uzyskano zwarcie
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Uzyskano zwarcie
		7	L=10mm	Brak zwarcia
		8		Brak zwarcia

		9		Brak zwarcia
		10	L=9mm	Brak zwarcia
		11		Uzyskano zwarcie
		12		Brak zwarcia
3300V + 10% = 3630V	3 Rh= 90% Temp.= 21°C + kondensacja (250ml na 60litrów objętości obudowy)	1	L=6,5mm	Uzyskano zwarcie
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=8mm	Uzyskano zwarcie
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Brak zwarcia
		7	L=9mm	Brak zwarcia
		8		Brak zwarcia
		9		Brak zwarcia
		10		



Rys. 1 przykłady odpowiednio zarejestrowanego przebiegu ciśnienia wybuchu (1a) oraz przebiegu prądu w obwodzie elektrod (1b).

3.3 Wyznaczenie minimalnego odstępów dla którego wybuch mieszaniny gazowej o składzie 9,8% CH₄+powietrze o wilgotności Rh=30% i temperaturze T=22°C nie powoduje zwarcia przy obecności pyłu węglowego w osłonie. Napięcie próby $U = U_n + 10\% = 3630V$; ciśnienie atmosferyczne.

W toku dalszych badań do modelowej osłony badawczej wsypano/rozsypano 50 gramów pyłu węglowego. Pył spoczywał na dnie osłony oraz na półce z cienkiej blachy o grubości 0,5mm.

Temperatura osłony 60°C. Wyniki badań zestawiono w tabeli 2.

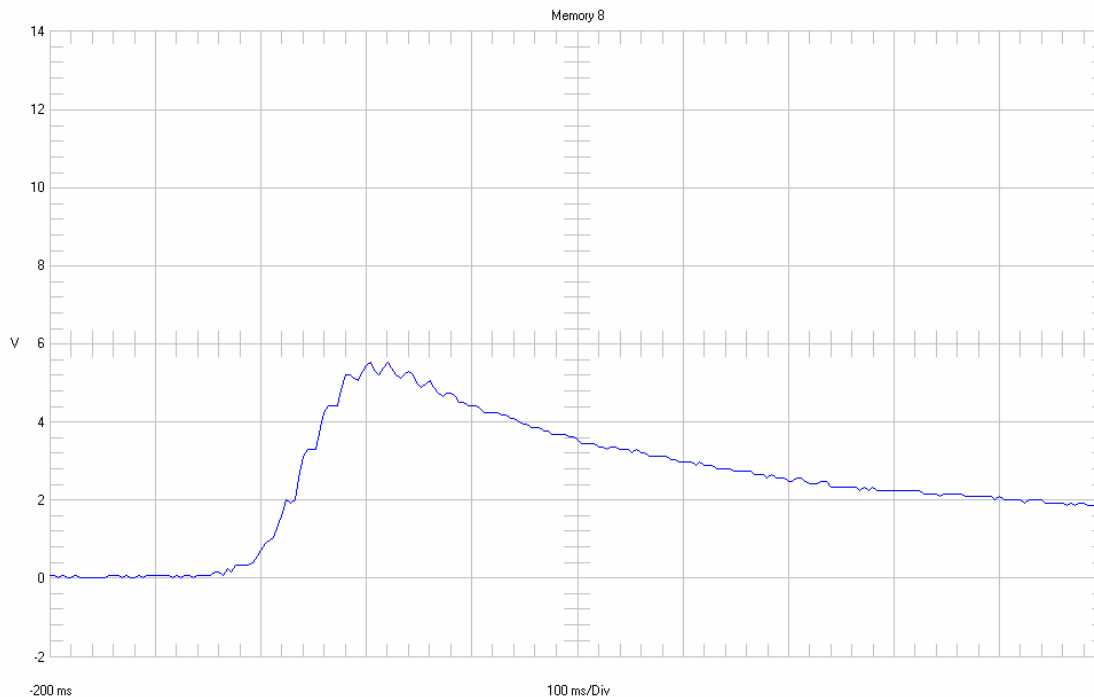
Tabela 2 Wyniki prób zdolności do zapoczątkowania zwarcia w funkcji odległości pomiędzy elektrodami w obecności pyłu węglowego dla napięcia próby 3630V.

Napięcie	Wilgotność/temperatura mieszaniny	Nr próby	Odstęp elektrod	Wynik próby
3300V + 10% = 3630V	Rh= 30% Temp.= 55÷60°C 50g pyłu węglowego	1	L=12mm	Brak zwarcia
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=14mm	Brak zwarcia
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Uzyskano zwarcie
		7	L=16mm	Brak zwarcia
		8		Uzyskano zwarcie
		9		Uzyskano zwarcie
		10	L=18mm	Brak zwarcia
		11		Uzyskano zwarcie
		12		Uzyskano zwarcie
		13	L=22mm	Uzyskano zwarcie
		14		Brak zwarcia
		15		Uzyskano zwarcie
		16	L=26mm	Uzyskano zwarcie
		17		Uzyskano zwarcie
		18		Uzyskano zwarcie
		19	L=30mm	Uzyskano zwarcie
		20		Brak zwarcia
		21		Uzyskano zwarcie
		22	L=32mm	Brak zwarcia
		23		Brak zwarcia
		24		Brak zwarcia

Analizując powyższe zestawienie można zauważyć, że istnieje przedział odstępów izolacyjnych, w obrębie których wybuch mieszaniny metanu z powietrzem, w obecności zalegającego pyłu w osłonie, powoduje zainicjowanie zwarcia w obwodzie. Początek zwarcia zależy w sposób losowy od

skuteczności wzniesienia obłoku pyłu przez wybuch i przebiegu spalania. Zmiany procesu spalania wpływają na kształt przebiegu ciśnienia; powodując chwilowe wahania ciśnienia. Zaleganie pyłu w osłonie ognioszczelnej powoduje radykalny wzrost-poszerzenie przedziału odstępów izolacyjnych, dla których wybuch mieszanki w osłonie powoduje zwarcie.

Poniżej zamieszczono przykład zarejestrowanych przebiegów ciśnienia wybuchu zniekształconych dopalaniem obłoku pyłu (rys. 2).



Rys. 2 Wykres przebiegu ciśnienia w komorze; (0,1MPa/V)

4. Badania dla napięcia zasilania 6kV

Parametry przyjęte do badań:

- odstęp izolacyjny pomiędzy elektrodami zgodny z wymaganiami normy zharmonizowanej PN-EN 60079-7
- mieszanka gazowa; metan z powietrzem o zawartości 9,8% CH₄.
- zakres wilgotności mieszanki: Rh=30%, Rh=60%, Rh= 90% + kondensacja (250ml H₂O na 60dm³ pojemności osłony)
- napięcie zasilania: 6000V + 10% = 6600V
- ciśnienie atmosferyczne
- +19°C ≤ Ta ≤ +22°C

W trakcie badań zdolności zapoczątkowania zwarcia łukowego poprzez wybuch mieszanki metanu z powietrzem, dla odstępów izolacyjnych 36mm oraz zmniejszonych (o 1/3) do 24mm, nie zanotowano zwarcia. W obwodzie wysokonapięciowym zarejestrowano prądy chwilowe o wartościach pomiędzy 5mA i 20mA powodowane wybuchem mieszanki gazowej.

4.1 Wyznaczenie minimalnego odstępów izolacyjnych, który nie skutkuje wystąpieniem zwarcia w trakcie prób wytrzymałości elektrycznej izolacji (dotyczy próby wyrobu). Napięcie próby $2 \times U_n + 1000V = 13kV$; ciśnienie atmosferyczne.

Dla przyjętego układu elektrod (zacisk śrubowy – przewód szynowy) prowadzono próby napięciowe w funkcji odległości pomiędzy elektrodami. Wyznaczona krytyczna odległość mierzona w powietrzu o temperaturze $T=21^{\circ}C$ i wilgotności $Rh=30\%$ wyniosła 10,8mm. Dla tej odległości wykonano 10 prób napięciowych (czas trwania 60 sek.) nie uzyskując przebicia izolacji powietrznej.

Następnie sprawdzono, czy występuje przebicie w trakcie prób napięciowych dla ośrodka gazowego (w postaci mieszaniny o składzie: 9,8% CH_4 +powietrze) i odstępów 10,8mm/13kV. Przeprowadzone próby nie doprowadziły do przebicia.

4.2 Wyznaczenie odstępów izolacyjnych większych niż 10,8mm, dla których wybuch mieszaniny 9,8% CH_4 +powietrze przy wilgotności mieszaniny $Rh=30, 60$ i 90% i temperaturze $T=21^{\circ}C$ nie powoduje zwarcia. Napięcie próby $U = U_n + 10\% = 6600V$

Dla przyjętego układu elektrod (zacisk śrubowy – przewód szynowy) prowadzono próby zdolności zapoczątkowania zwarcia w funkcji odległości pomiędzy elektrodami. Wyniki badań zestawiono w tabeli 3.

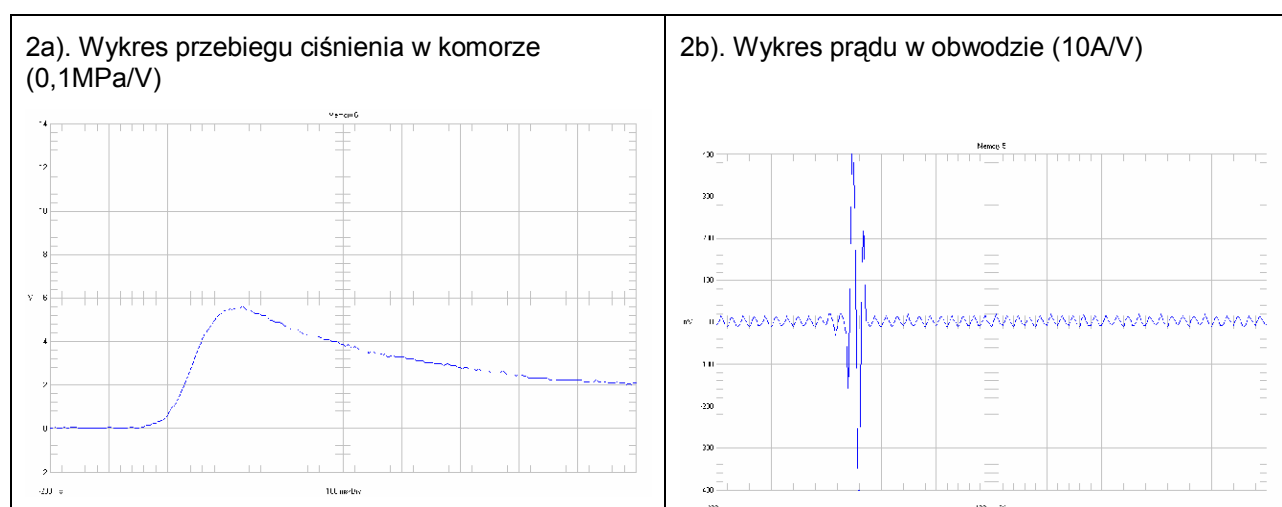
Tabela 3 Wyniki prób zdolności zapoczątkowania zwarcia w funkcji odległości pomiędzy elektrodami dla napięcia próby 6600V.

Napięcie	Wilgotność/ temperatura mieszaniny	Nr próby	Odstęp elektrod	Wynik próby
6000V + 10% = 6600V	Rh= 30% Temp.= 21 ^o C	1	L=12mm	Uzyskano zwarcie
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=16mm	Uzyskano zwarcie
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Uzyskano zwarcie
		7	L=20mm	Uzyskano zwarcie
		8		Uzyskano zwarcie
		9		Uzyskano zwarcie
		10	L=24mm	Uzyskano zwarcie
		11		Uzyskano zwarcie
		12		Uzyskano zwarcie
		13	L=26mm	Uzyskano zwarcie
		14		Uzyskano zwarcie
		15		Uzyskano zwarcie

		16	L=30mm	Brak zwarcia
		17		Brak zwarcia
		18		Brak zwarcia
		19	L=29mm	Uzyskano zwarcie
		20		Uzyskano zwarcie
		21		Uzyskano zwarcie
6000V + 10% = 6600V	2 Rh= 60% Temp.=21°C	1	L=12mm	Uzyskano zwarcie
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=16mm	Uzyskano zwarcie
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Uzyskano zwarcie
		7	L=20mm	Uzyskano zwarcie
		8		Uzyskano zwarcie
		9		Uzyskano zwarcie
		10	L=24mm	Uzyskano zwarcie
		11		Uzyskano zwarcie
		12		Uzyskano zwarcie
		13	L=26mm	Uzyskano zwarcie
		14		Brak zwarcia
		15		Uzyskano zwarcie
		16	L=28mm	Brak zwarcia
		17		Brak zwarcia
		18		Brak zwarcia
6000V + 10% = 6600V	3 Rh= 90% Temp.= 21°C + kondensacja (250ml na 60litrów objętości obudowy)	1	L=12mm	Uzyskano zwarcie
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=16mm	Uzyskano zwarcie
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Uzyskano zwarcie
		7	L=20mm	Uzyskano zwarcie
		8		Uzyskano zwarcie
		9		Uzyskano zwarcie
		10	L=24mm	Uzyskano zwarcie
		11		Brak zwarcia

		12		Uzyskano zwarcie
		13	L=26mm	Brak zwarcia
		14		Uzyskano zwarcie
		15		Uzyskano zwarcie
		16	L=28mm	Brak zwarcia
		17		Brak zwarcia
		18		Brak zwarcia

Analizując powyższe zestawienie można zauważyć, że istnieje przedział odstępów izolacyjnych w obrębie których wybuch mieszaniny metanu z powietrzem powoduje zainicjowanie zwarcia w obwodzie. Początek zwarcia oscyluje wokół środka zbocza narastania ciśnienia wybuchu. Wraz ze wzrostem wilgotności mieszaniny gazowej maksymalny odstęp pomiędzy elektrodami, dla którego rejestrowano zwarcie, ulega zmniejszeniu. Powodem tego jest zjawisko „przejmowania” część energii wybuchu przez wodę zawartą w mieszaninie gazowej. Poniżej zamieszczono przykład zarejestrowanych przebiegów ciśnienia i prądu w obwodzie wysokiego napięcia dla jednego cyklu badania. Na rys. 2a i 2b zamieszczono przykłady odpowiednio, zarejestrowanego przebiegu ciśnienia wybuchu (1a) oraz przebiegu prądu w obwodzie elektrod (1b).



Rys. 2 przykłady odpowiednio zarejestrowanego przebiegu ciśnienia wybuchu (2a) oraz przebiegu prądu w obwodzie elektrod (2b).

4.2 Wyznaczenie minimalnego odstępów dla którego wybuch mieszaniny gazowej o składzie 9,8% CH₄+powietrze o wilgotności Rh=30% i temperaturze T=22°C nie powoduje zwarcia przy obecności pyłu węglowego w osłonie. Napięcie próby $U = U_n + 10\% = 3630V$; ciśnienie atmosferyczne.

W dalszym toku badań do modelowej osłony badawczej wsypano/rozsypano 50 gramów pyłu węglowego. Pył spoczywał na dnie osłony oraz na półce z cienkiej blaszki o grubości 0,5mm.

Temperatura osłony wzrosła do 60°C, co odpowiada rzeczywistym warunkom eksploatacji urządzenia. Wyniki badań zestawiono w tabeli 4.

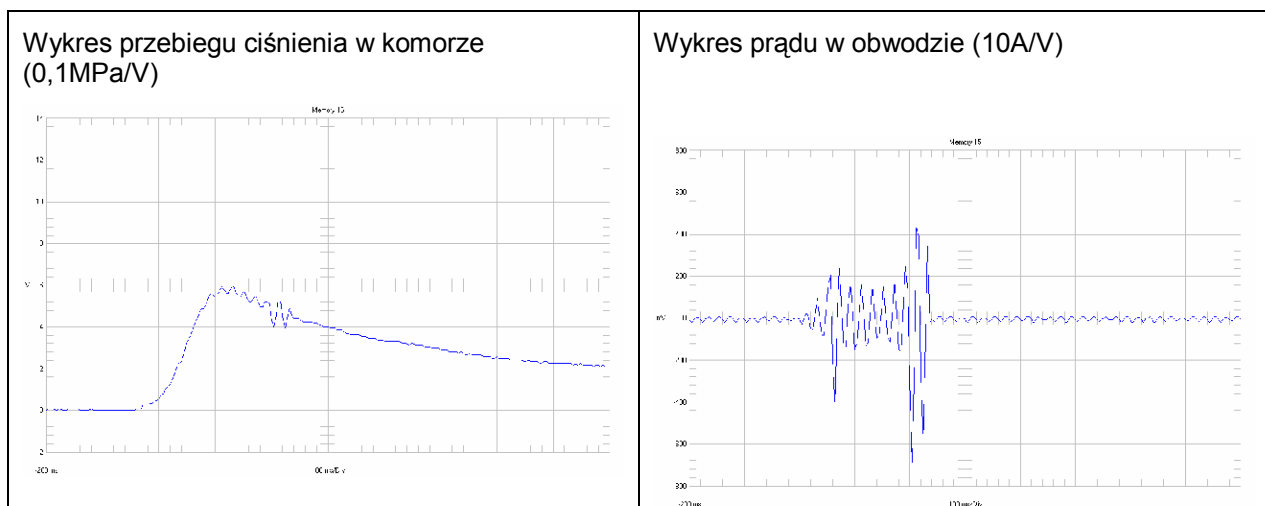
Tabela 4 Wyniki prób zdolności do zapoczątkowania zwarcia w funkcji odległości pomiędzy elektrodami w obecności pyłu węglowego dla napięcia próby 6600V.

Napięcie	Wilgotność/temperatura mieszaniny	Nr próby	Odstęp elektrod	Wynik próby
6000V + 10% = 6600V	Rh= 30% Temp.= 55±60°C 50g pyłu węglowego	1	L=12mm	Uzyskano zwarcie
		2		Uzyskano zwarcie
		3		Uzyskano zwarcie
		4	L=20mm	Uzyskano zwarcie
		5		Uzyskano zwarcie
		6		Uzyskano zwarcie
		7	L=25mm	Uzyskano zwarcie
		8		Uzyskano zwarcie
		9		Uzyskano zwarcie
		10	L=30mm	Uzyskano zwarcie
		11		Uzyskano zwarcie
		12		Uzyskano zwarcie
		13	L=40mm	Uzyskano zwarcie
		14		Uzyskano zwarcie
		15		Uzyskano zwarcie
		16	L=50mm	Uzyskano zwarcie
		17		Uzyskano zwarcie
		18		Uzyskano zwarcie
		19	L=55mm	Uzyskano zwarcie
		20		Uzyskano zwarcie
		21		Uzyskano zwarcie
		22	L=60mm	Uzyskano zwarcie
		23		Uzyskano zwarcie
		24		Uzyskano zwarcie

		25	L=62mm	Uzyskano zwarcie
		26		Uzyskano zwarcie
		27		Uzyskano zwarcie

Analizując powyższe zestawienie można zauważyć, że w obrębie całego przedziału rozważanych odstępów, wybuch mieszaniny metanu z powietrzem powoduje zainicjowanie zwarcia w obwodzie. Początek zwarcia zależy w sposób losowy od skuteczności wzniesienia obłoku pyłu przez wybuch i przebiegu spalania. Zmiany procesu spalania wpływają na kształt przebiegu ciśnienia; powodują chwilowe wahania ciśnienia.

Poniżej na rys. 3 zamieszczono przykład zarejestrowanego prądu (3b) i przebieg ciśnienia wybuchu (3a) zniekształcony dopalaniem obłoku pyłu.



Rys. 3 Przykład zarejestrowanego przebiegu ciśnienia wybuchu (3a) i prądu (3b) zniekształcony dopalaniem obłoku pyłu.

5. Ocena wyników badań

Urządzenia elektryczne w osłonach ognioszczelnych należą do kategorii M2 [2], tzn. takich które zapewniają wysoki poziom zabezpieczenia z uwzględnieniem trudnych warunków eksploatacji. Ten rodzaj zabezpieczenia przeciwwybuchowego jest stosowany powszechnie z uwagi na trzy podstawowe przesłanki:

- we wnętrzu osłony można stosować urządzenia, które w normalnym stanie pracy stanowią efektywne źródło zapłonu (są w stanie zapalić mieszaninę metanu z powietrzem),

- wymóg zatrzymania ewentualnego wybuchu we wnętrzu osłony wiąże się z odpowiednio wytrzymałą konstrukcją, co jest zgodne z wymaganiem odporności na trudne warunki eksploatacji,
- wymagana dokładność wykonania złączy ognioszczelnych dla grupy I nie stwarza dużych trudności technologicznych.

Zwarcie wewnątrz urządzenia elektrycznego silnoprądowego jest najbardziej niebezpiecznym zjawiskiem jakie może wystąpić podczas eksploatacji. Towarzyszy mu gwałtowne wydzielenie energii cieplnej powodujące równie gwałtowny wzrost ciśnienia wewnętrznego oraz powstanie roztopionych kropelek metalu. W osłonie ognioszczelnej należy przyjąć możliwość wystąpienia tego zjawiska w obecności mieszaniny wybuchowej. Zwarcie łukowe w obecności mieszaniny wybuchowej powoduje dodatkowy wzrost ciśnienia.

Osłona ognioszczelna charakteryzuje się między innymi tym, że produkty powstałe podczas wybuchu wewnętrznego, wydostające się poprzez złącza ognioszczelne, zostają schłodzone do temperatury, która nie spowoduje zapalenia otaczającej atmosfery wybuchowej. W przypadku zwarcia mamy do czynienia dodatkowo z drobinami rozżarzonego metalu, których wychłodzenie w złączu jest utrudnione.

Ze względu na powyższe stwierdzenia do czasu wejścia Polski do Unii Europejskiej, w oparciu o wymagania polskiej normy (PN-83/E-08116) [5], sprawdzano osłony ognioszczelne urządzeń silnoprądowych grupy I pod kątem zachowania ognioszczelności w trakcie zwarcia łukowego.

Wprowadzenie do stosowania wymagań dyrektywy 94/9/WE i normy zharmonizowanej PN-EN 60079-1 [3] spowodowało zmianę procedur badawczych.

W powyższej normie przyjęto, że zastosowanie wyposażenia elektrycznego (rozłączniki, styczniki, przełączniki) w obwodach prądowych posiadającego materiał izolacyjny charakteryzujący się współczynnikiem CTI ≥ 400 pozwala zminimalizować możliwość powstania zwarcia do tego stopnia, że możliwa jest rezygnacja z konieczności badania ognioszczelności w trakcie wewnętrznego zwarcia łukowego.

Biorąc powyższe pod uwagę podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, czy w przypadku zastosowania wymaganych materiałów izolacyjnych, wewnętrzny wybuch mieszaniny metanu z powietrzem jest w stanie zainicjować powstanie zwarcia. Analizując uzyskane wyniki badań można zauważyć co następuje:

1. Zarówno dla napięcia zasilania 3300V jak i 6000V przy zachowaniu odstępów izolacyjnych powietrznych „L” podanych w wymaganiach normowych jak również przy zmniejszeniu tych odstępów do wartości „L’= 0,66 x L” nie wywołano zjawiska zwarcia poprzez wybuch mieszaniny 9,8% CH₄ + powietrze. Badania z zachowaniem takich odległości izolacyjnych przeprowadzono dla 3 wartości wilgotności mieszaniny wybuchowej włącznie z symulacją kondensacji wody w osłonie.
2. Wyznaczono przedział odstępów izolacyjnych dla których nie występuje zjawisko przebicia w trakcie próby napięciowej zgodnej z wymaganiami badań wyrobu natomiast wewnętrzny wybuch mieszaniny powoduje zwarcie.

Dla napięcia zasilania U=3300V+10% zawiera się on pomiędzy:

- Rh mieszaniny 30%; L= 6,5mm ÷ 11mm,
- Rh mieszaniny 60%; L= 6,5mm ÷ 9mm,
- Rh mieszaniny 90% +kondensacja; L= 6,5mm ÷ 8mm,

Dla napięcia zasilania U=6000V+10% zawiera się on pomiędzy:

- Rh mieszaniny 30%; L= 10,8mm ÷ 29mm,

- Rh mieszaniny 60%; L= 10,8mm ÷ 26mm,
- Rh mieszaniny 90% +kondensacja; L= 10,8mm ÷ 26mm,

Z powyższego wynika, że nieprawidłowy montaż urządzenia w zakresie odstępów izolacyjnych przedstawionych powyżej nie zostanie wykryty poprzez próby napięciowe, natomiast w przypadku wewnętrznego wybuchu mieszaniny metanu z powietrzem zainicjowano zwarcie. Na tej podstawie można podkreślić jak ważna jest kontrola międzyoperacyjna podczas montażu urządzeń. Pomiar odstępów izolacyjnych jest zatem bardzo istotnym elementem badań wyrobu, gdyż nieprawidłowy montaż może nie zostać wykryty przez próby napięciowe, a w pewnych sytuacjach wybuch mieszaniny wewnątrz osłony może skutkować wywołaniem zwarcia.

3. W przypadku zanieczyszczenia osłony pyłem węglowym można zauważyć radykalną zmianę. Obecność pyłu węglowego zdecydowanie ułatwia wywołanie wewnętrznego zwarcia w osłonie ognioszczelnej poprzez wybuch mieszaniny metanu z powietrzem. Dla napięcia zasilania $U=3300V+10\%$ zwarcie poprzez wybuch uzyskano dla odstępów izolacyjnych z zakresu: $L= 6,5mm \div 30mm$.

Dla napięcia zasilania $U=6000V+10\%$ zwarcie poprzez wybuch uzyskano dla odstępów izolacyjnych z zakresu: $L= 10,8mm \div 62mm$. Na tym (62mm) odstępie zakończono badanie gdyż przekroczono wymagany normą odstęp izolacyjny wynoszący 60mm.

Z powyższego wynika jak niezwykle istotnym jest zachowanie odpowiedniego stopnia ochrony „IP” osłony ognioszczelnej.

Norma zharmonizowana dotycząca osłon ognioszczelnych (PN-EN 60079-1) nie podaje wymagań w zakresie stopnia ochrony obudowy. Właściwość konstrukcji powoduje, że zachowanie wymiarów złączy ognioszczelnych zapewnia w większości przypadków utrzymanie stopnia ochrony IP44 (dla złączy zabezpieczonych przed korozją smarem).

Krajowe przepisy górnicze wymagają stopnia ochrony obudowy co najmniej IP54. Można to uzyskać stosując dodatkowe uszczelniania.

6. Podsumowanie:

Istnieją zakresy odstępów izolacyjnych (mniejszych niż wymagane normą), dla których wybuch mieszaniny metanu z powietrzem może powodować zapoczątkowanie zwarcia w obwodzie wysokonapięciowym. W trakcie montażu urządzeń niezbędna jest ciągła kontrola (pomiar) odstępów, gdyż końcowe próby napięciowe nie pozwalają wykryć znacznego zakresu zmniejszenia odstępów izolacyjnych powietrznych.

Obecność pyłu we wnętrzu osłony ognioszczelnej radykalnie zwiększa zakres odstępów izolacyjnych powietrznych, dla których wybuch mieszaniny metanu z powietrzem może powodować zapoczątkowanie zwarcia w obwodzie wysokonapięciowym. Z tego względu niezwykle istotnym jest tworzenie i stosowanie konstrukcji zapewniających zachowanie stopnia ochrony osłony ognioszczelnej co najmniej IP54.

Ponadto należy zwrócić szczególną uwagę na konieczność zachowania czystości wnętrza osłony w trakcie całego okresu eksploatacji a szczególnie w przypadku konieczności otwierania w miejscu eksploatacji.

Literatura:

[1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem;

[2] PN-EN 60079-0 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów -- Część 0: Wymagania ogólne;

[3] PN-EN 60079-1 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów -- Część1: Osłony ognioszczelne "d";

[4] PN-EN 60079-7 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów --
Część 7: Budowa wzmocniona "e";

[5] PN-83/E-08116 Elektryczne urządzenia przeciwwybuchowe. Osłony ognioszczelne.
Wymagania i badania.