

Wykorzystanie suchego lodu do czyszczenia urządzeń i instalacji elektrycznych pracujących pod napięciem

Streszczenie. Obecnie operatorzy systemów elektroenergetycznych jak i również przemysł górniczy, hutniczy oraz koleje stawiają wysokie wymagania dotyczące ciągłości zasilania. Jest to związane przede wszystkim z przepisami ustawy Prawo energetyczne, bezpieczeństwem pracy (osób i zakładu) i ekonomią. W artykule przedstawiono sposób czyszczenia urządzeń pracujących pod napięciem w zakresie do 30kV z wykorzystaniem suchego lodu.

Abstract. Nowadays operators of power systems as well as mining, steel industry and the railways put high requirements on continuity of energy's supply. Primarily it is associated with the provisions of the Energy Law, work safety (people and company) and the economy. This article describes how to clean the devices operating under voltage with range up to 30kV using dry ice. (*The use of dry ice to cleaning of equipment and electrical installations operating under the voltage.*)

Słowa kluczowe: czyszczenie suchym lodem, praca pod napięciem.

Keywords: dry ice cleaning, work under voltage.

Wstęp

Serwis i czyszczenie infrastruktury elektroenergetycznej, należy do obowiązków operatora systemu dystrybucji energii elektrycznej. Czasami związany jest z koniecznością wyłączenia kluczowych stacji celem dokonania koniecznej konserwacji. Każda przerwa w dostawie energii ze strony operatora wiąże się z kosztami. W miarę eksploatacji, elementy takie jak rozdzielnie, mosty szynowe, transformatory, szafy rozdzielcze i przekaźnikowe, ulegają zabrudzeniu, przez co ich własności izolacyjne pogarszają się, a wydajność spada. Wpływa to na zwiększenie ryzyka awaryjności i uszkodzenia pracującej infrastruktury.

Obecnie wykonywane są prace polegające na czyszczeniu instalacji i urządzeń elektrycznych, w których wykorzystywane są odpowiednie mieszanki środków chemicznych, sprężone powietrze, szczotki, odkurzacze itp.

Technologia czyszczenia suchym lodem (dwutlenek węgla CO₂ w stanie stałym) jest również wykorzystywana do usuwania zabrudzeń w energetyce zawodowej jednak głównie odbywa się to z wyłączonym napięciem lub dla poziomów do 1kV. Brak natomiast usług czyszczenia za pomocą suchego lodu urządzeń pracujących pod napięciem do 30kV. Istnieje więc potrzeba wdrożenia rozwiązania, pozwalającego skutecznie czyścić urządzenia elektroenergetyczne pracujące pod napięciem, bez konieczności wyłączenia ich zasilania. Oczekiwanie takie zgłasza przede wszystkim przemysł energetyczny, kolej, górnictwo, hutnictwo.

Wprowadzenie

Poszukiwanie rozwiązań pozwalających utrzymywać elementy infrastruktury elektroenergetycznej bez wyłączenia ich zasilania jest związane z szeregiem czynników. Zgodnie z przepisami ustawy Prawo energetyczne [1] i Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [2], operatorzy systemów dystrybucyjnych są odpowiedzialni między innymi za zapewnienie niezawodności oraz jakości dostarczanej energii elektrycznej. W tym celu, operatorzy wyznaczają i publikują wartości wskaźników SAIDI (przeciętny systemowy czas trwania przerwy długiej), SAIFI (przeciętna systemowa częstość przerw długich) i MAIFI (przeciętna systemowa częstość przerw krótkich), w podziale na przerwy planowane i nieplanowane. W większości przypadków, przerwy planowane wynikają z realizowanych w sieci elektroenergetycznych prac

inwestycyjnych i eksploatacyjnych, w tym między innymi z konieczności czyszczenia stacji transformatorowych i rozdzielczych czy złącz kablowych. Co więcej, od 2016 roku zmianie uległ także model regulacji operatorów sieci, co oznacza, że część przychodów operatorów sieci będzie zależała od osiąganych wskaźników niezawodnościowych. Dlatego też, czas każdej przerwy w dostawie energii elektrycznej będzie minimalizowany do absolutnego minimum.

W chwili obecnej, na rynku istnieją rozwiązania, które pozwalają czyścić elementy infrastruktury energetycznej pod napięciem. Odbywa się to poprzez wykorzystanie odpowiednich środków chemicznych. Czyszczenie takie wykonywane jest w 3-4 etapach najpierw na mokro a następnie na sucho. Proces ten musi trwać, wobec czego wydłuża się czas ekspozycji pola elektromagnetycznego na operatora co jest efektem niepożądanym [3-7]. Dodatkowo rośnie ryzyko związane z pracami pod napięciem [8]. Brakuje rozwiązań, pozwalających czyścić elementy energetyczne, łącząc funkcjonalności pracy pod napięciem oraz wysoką skuteczność przywracania rezystancji elementów izolacyjnych redukując jednocześnie czas przebywania operatora w polu elektromagnetycznym tym samym zmniejszając ryzyko porażenia.

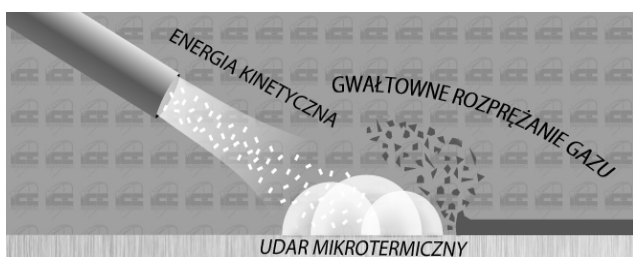
Na rynku można znaleźć firmy, które wykorzystują suchy lód do czyszczenia urządzeń elektroenergetycznych. Metoda ta pokazuje wysoką skuteczność działania. Warto więc poszerzyć możliwości wykorzystania suchego lodu do czyszczenia infrastruktury energetycznej do poziomu 30kV. Wymaga to jednak dostosowania sprzętu do prac pod napięciem oraz ochrony operatora przed porażeniem. Dodatkowo zmniejsza się czas przebywania w polu elektromagnetycznym do minimum ponieważ proces czyszczenia odbywa się jednoetapowo (skrócenie czasu czterokrotnie).

Usługi te spotkają się z dużym zainteresowaniem operatorów, dla których oznacza to dużą oszczędność czasu i zasobów ludzkich, a w konsekwencji spadek kosztów prowadzonej działalności.

Zastosowanie suchego lodu

Suchy lód to zestalony dwutlenek węgla (CO₂) w stanie stałym o temperaturze -78,9°C. Otrzymywany jest przez rozprężanie ciekłego dwutlenku węgla i prasowanie. W warunkach normalnych suchy lód nie topi się, lecz sublimuje, czyli przechodzi bezpośrednio ze stanu stałego w gazowy nie zostawiając przy tym wody. Stąd zjawisko parowania, dymienia suchego lodu w temperaturach dodatnich.

Podczas czyszczenia strumień dwutlenku węgla rozluźnia i usuwa różne rodzaje zanieczyszczeń powierzchniowych, działa tylko powierzchniowo (nie jest to metoda ścierna). Granulki lodu wydostają się z dyszy (które zaprojektowane są tak, aby uzyskać jak największą energię kinetyczną) z prędkością około 150 m/s i uderzają w powierzchnię czyszczoną. Różnica temperatur pomiędzy czyszczoną powierzchnią a granulkami suchego lodu prowadzi do powstania stromego gradientu cieplnego. Powstają mikropęknięcia zabrudzonej powierzchni. W momencie uderzenia granulki suchego lodu gwałtownie sublimują (przechodzą w stan skupienia gazowy zwiększając swoją objętość około 800 razy – powodując częściowe oderwanie się zabrudzenia). W wyniku nagłego miejscowego szoku termicznego (ochłodzenia) powstaje napięcie wynikające z różnicy temperatur (rozszerzalność cieplna czyszczonego miejsca i powierzchni na której znajduje się zabrudzenie). Pod wpływem niskiej temperatury dochodzi do zeszklenia przez co zanieczyszczenie staje się kruche i łatwiej usuwalne [9].



Rys.1. Graficzne przedstawienie opisywanego zjawiska (czyszczenie zanieczyszczonych powierzchni z wykorzystaniem suchego lodu).

Główne zalet suchego lodu wykorzystywanego do czyszczenia to [10]:

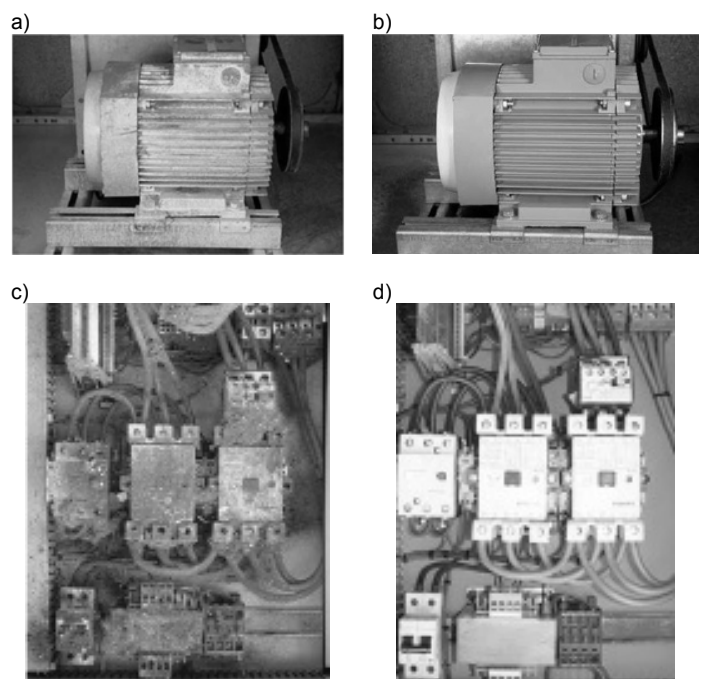
- czyszczenie na sucho – bez jakichkolwiek dodatków chemicznych,
- bezpieczeństwo dla powierzchni, które podlegają czyszczeniu, brak zarysowań,
- nie powoduje zwarc w układach elektrycznych,
- nie sprzyja powstawaniu rdzy, nie powoduje korozji, utleniania metali,
- ekologiczność – brak wtórnych zanieczyszczeń, brak środków chemicznych, nie przyczynia się do produkcji dwutlenku węgla i tym samym zanieczyszczenia atmosfery,
- skuteczność – skrócenie procesu czyszczenia nawet do 80 procent,
- wysoka efektywność i precyzja,
- redukcja przestojów,
- brak odpadów, powstających w wyniku stosowania urządzenia.

Istotnym elementem, który prowadzi do maksymalnej wydajności są sprawne i czyste elementy osprzętu elektrycznego i urządzenia elektryczne. Osadzające się na obudowach silników i elementach sterujących procesem, farby, lakiery, kleje, smary, pyły, wpływają na pogorszenie izolacji, nadmierne przegrzewanie się przez co zwiększa się awaryjność. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe zdjęcia przed i po czyszczeniu [11]:

Możliwość czyszczenia suchym lodem elementów infrastruktury w zakresie do 30kV (m.in. stacji transformatorowych, rozdzielni, izolatorów linii przesyłowych itp.), bez konieczności wyłączenia napięcia w sieci, przyczyni się do osiągnięcia korzyści takich jak:

- uproszczenie procesu zarządzania eksploatacją sieci,

- znaczne ograniczenie liczby godzin planowanych przerw w dostawie energii elektrycznej, a co za tym idzie, poprawa wartości wskaźników ciągłości energetycznej,
- ograniczenie liczby godzin nieplanowanych (nieprzewidzianych) przerw w dostawie energii elektrycznej spowodowane awariami wynikającymi z pogorszenia się wartości izolacyjnych zabrudzonych elementów energetycznych (brak okresowego czyszczenia spowodowany koniecznością dostawy energii i niemożliwością przetłoczenia na inne źródło),
- skuteczniejsze czyszczenie urządzeń (aparatury), przywracające zakładane parametry rezystancyjne do poziomu wyższego, niż przy tradycyjnych (obecnie stosowanych) metodach czyszczenia,
- skrócenie czasu czyszczenia dla elementów pracujących pod napięciem nawet o 80% (dla stacji transformatorowych),
- skrócenie czasu pracy operatora pracującego przy urządzeniach pod napięciem narażonego na przyjmowanie dawek szkodliwego dla organizmu pola elektromagnetycznego oraz zmniejszenie ryzyka porażenia.



Rys. 2. Wykorzystanie technologii do czyszczenia suchym lodem: a) i c) przed czyszczeniem, b) i d) po czyszczeniu.

Eksperyment

Powyższe rozważania skłoniły autorów do przeprowadzenia eksperymentu w laboratorium, w którym dokonano próby napięciowej w celu zbadania czy możliwe jest wykorzystanie suchego lodu do czyszczenia urządzeń elektroenergetycznych pracujących na średnim napięciu (do 30kV).

Układ izolacyjny do prób napięciowych przygotowano w sposób następujący:

- wybrano izolator liniowy dla linii średniego napięcia,
- do konstrukcji iskiernika laboratoryjnego typu DIS zamocowano „pistolet” z dyszą służący do wyrzucania strumienia suchego lodu pod ciśnieniem,
- do drugiej kolumny iskiernika zamocowano izolator liniowy średniego napięcia (porcelanowy z żeliwnym okuciem),
- górne okucie izolatora zostało podłączone do źródła wysokiego napięcia przemiennego,

- metalowa nasada dyszy została uziemiona,
- kolumny iskiernika laboratoryjnego DIS pełniły rolę izolatorów wsporczych i dawały możliwość regulacji odległości dyszy od okucia izolatora,
- ustalono minimalną odległość między końcem dyszy a izolatorem na 8 cm (jest to dystans pomiędzy dyszą a powierzchnią czyszczoną).



Rys. 3. Opiswane stanowisko do badań

Do natryskiwania wykorzystano maszynę do czyszczenia suchym lodem wraz z zestawem (pistolet, dysze).



Rys. 4. Model urządzenia CRYONOMIC COB 62 [10]

Próbę napięciową wykonano następująco:

- przez dyszę nie był podawany suchy lód. Podnoszono napięcie zasilania do momentu, w którym nastąpił przeskoc iskry. Osiągnięto wynik ponad 40 kV,
- uznano, że 40 kV to maksymalne dopuszczalne napięcie przy którym może pracować badany układ,
- próbę powtórzono, tym razem z pracującym urządzeniem tj. uwzględniając strumień suchego lodu.

Dla napięcia 30 kV nie zaobserwowano przeskoku iskry do dyszy. Przeskok nastąpił dla napięcia 40 kV. Jest to taki sam wynik jak dla próby bez użycia suchego lodu. Zmierzone również prąd upływu w przewodzie uziemiającym, jego wartość była na poziomie kilku μA (pomijalna wartość). Wykonano jeszcze szereg prób i pomiarów napięciowych dla kilku typów dysz. Nie zaobserwowano aby obecność suchego lodu w przestrzeni izolacyjnej między dyszą a okuciem izolatora pogorszyła własności izolacyjne badanego układu.

Wydaje się więc, że przeprowadzone próby napięciowe dobrze rokują rozszerzeniu przedziału napięć przy których

można stosować metodę oczyszczania urządzeń elektrycznych pod napięciem – oczywiście przy zachowaniu należytych środków ostrożności dla prac pod napięciem [12].



Rys. 5. Przebieg eksperymentu dla próby z wykorzystaniem strumienia suchego lodu

Pola stref ochronnych

Operator czyszczący infrastrukturę elektryczną będącą pod napięciem niewątpliwie narażony jest na działanie pola elektromagnetycznego. Oddziaływanie PEM na organizm ludzki zależy od częstotliwości, wielkości lub natężenia [13, 14, 15]. W artykule mowa jest o zastosowaniu urządzeń do czyszczenia suchym lodem pod napięciem do 30kV (energetyka zawodowa), może być również stosowany do czyszczenia urządzeń, które pracują przy wykorzystaniu wysokich częstotliwości radiowych (np. stacje BTS telefonii komórkowej itp.). Należy więc zwrócić uwagę na określenie wartości granicznych natężenia pola elektrycznego i magnetycznego dla stref ochronnych (obszar w otoczeniu źródła pola), tj.:

- pośredniej – w której mogą przebywać pracownicy w ciągu całej zmiany roboczej, wynoszącej 8 godzin,
- zagrożenia – w której mogą przebywać pracownicy przez określony czas, krótszy niż 8 godzin, zależny od wartości natężenia pól elektrycznych i magnetycznych występujących na stanowisku pracy,
- niebezpiecznej – w której mogą przebywać wyłącznie pracownicy wyposażeni w środki ochrony indywidualnej, zabezpieczające ich przed oddziaływaniem pola elektromagnetycznego.

Definiując narażenie operatorów na promieniowanie elektromagnetyczne trzeba pamiętać m.in. o:

- wartości NDN (najwyższe dopuszczalne stężenie) – tj. wartość natężenia pól dopuszczalnych przy ekspozycji w ciągu 8-godzinnej zmiany roboczej,
- wartości natężeń pól, w których ekspozycja jest zabroniona,
- wskaźnik ekspozycji i zasięgu stref ochronnych.

Promieniowanie z wymienionych źródeł nie powinno przekroczyć tzw. dawki granicznej (maksymalna dawka równoważna ponad tło, przy jakiej narażenie radiacyjne jest uznawane za bezpiecznym poziomie) [15].

W polach stref ochronnych mogą przebywać wyłącznie pracownicy, którzy posiadają badania lekarskie potwierdzające brak przeciwwskazań zdrowotnych w tym zakresie. Dodatkowo podlegają obowiązkowym szkoleniom z zakresu BHP przy urządzeniach będących źródłami pól elektromagnetycznych (tzw. ekspozycja zawodowa).

Prace eksploatacyjne przy urządzeniach elektroenergetycznych, w zależności od zastosowanych metod i środków ochronnych zapewniających bezpieczeństwo pracy, mogą być wykonywane: pod

napięciem, w pobliżu napięcia, przy wyłączonym napięciu. Minimalne odstęp w powietrzu od nieosłoniętych urządzeń i instalacji elektrycznych lub ich części znajdujących się pod napięciem, wyznaczające zewnętrzne granice strefy prac, mają następujące wartości [12]:

Tabela 1. Zestawienie zewnętrznych granic pracy pod napięciem

Napięcie znamionowe urządzenia lub instalacji elektrycznej	Minimalny odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy	
	prac pod napięciem [mm]	prac w pobliżu napięcia [mm]
[kV]		
≤1	Bez dotyku	300
3	60	1120
6	90	1120
10	120	1150
15	160	1160
20	220	1220
30	320	1320
110	1000	2000

Podsumowanie

Czyszczenie suchym lodem to nowoczesna technika, która pozwala w krótkim czasie usuwać uciążliwe zabrudzenia. Możliwość czyszczenia elementów infrastruktury od niskiego do średniego napięcia (m.in. stacji transformatorowych, rozdzielni, izolatorów linii przesyłowych), bez konieczności wyłączania napięcia w sieci średniego napięcia, przyczyni się do osiągnięcia korzyści, np. znaczne ograniczenie liczby godzin planowanych i nie planowanych przerw w dostawie energii, skrócenie czasu czyszczenia aparatury elektroenergetycznej (około 80%) a przez co skrócenie czasu przebywania człowieka w strefie bezpośrednio pracujących urządzeń pod napięciem.

Opisane w artykule podejście laboratoryjne pokazuje większe możliwości wykorzystania suchego lodu. Należy zwrócić uwagę, że cały sprzęt używany do czyszczenia należy odpowiednio przygotować tak, aby spełniał wymagania stawiane urządzeniom do prac pod napięciem. Dodatkowo operator powinien posiadać aktualne badania lekarskie, być przeszkolony w tymże zakresie i również odpowiednio przygotowany a całe stanowisko pracy oznakowane [12].

Autorzy: dr hab. inż. Antoni Cieśla, prof. AGH, e-mail: aciesla@agh.edu.pl; dr inż. Wojciech Kraszewski, e-mail: wkraszew@agh.edu.pl; dr inż. Mikołaj Skowron, e-mail: mskowron@agh.edu.pl; dr inż. Przemysław Syrek, e-mail: syrekp@agh.edu.pl. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki; Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

LITERATURA

- [1] Prawo energetyczne ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 – obwieszczenie z dnia 15 czerwca 2012 – ogłoszenie jednolitego tekstu (Opracowane na podstawie Dz. U. z 2012 r., poz. 1059 z późniejszymi zmianami)
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. Nr 93, poz. 623 z dnia 29 maja 2007r. z późniejszymi zmianami)
- [3] Gryz K., Karpowicz J.: Dyrektywa dotycząca ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne – 2004/40/WE, *Bezpieczeństwo Pracy*, (11/2004), 20-23
- [4] Jaworski M.: Przegląd norm i przepisów w zakresie ochrony przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych 50 Hz obowiązujących w różnych krajach, *Pola elektromagnetyczne w środowisku człowieka* –materiały konferencyjne, Poznań, (2003). 56-67
- [5] PN-T-06580:2002, Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz, Część 1: Terminologia. Część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy, (2002)
- [6] Rozporządzeniu Ministra Środowiska, W sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, Dziennik Ustaw nr 192, Warszawa, poz.1883, 2003
- [7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej, W sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Zał. 2/E: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz-300 GHz, Dziennik Ustaw nr 217, Warszawa, 2002
- [8] Europejska konferencja prac pod napięciem ICOLIM w Polsce, *Energetyka*, (maj 2008), 311-379
- [9] Wenjun Z., Ming L., Shinian L., Mengfei P., Jianhui Y. Chengke Z., On the Mechanism of Insulator Cleaning Using Dry Ice, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 19, No. 5; (October 2012)*, 1715-1722
- [10] <http://www.cryopoland.pl>
- [11] Czyszczenie suchym lodem – efektywne i przyjazne dla środowiska – materiały reklamowe (www.markus24.pl)
- [12] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych
- [13] Jakubaszko J., Szafrowski D., Wróblewski Z., Wpływ składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz na zmiany hemodynamiki organizmu człowieka, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 2, 238-241
- [14] Cieśla A., Kraszewski W., Skowron M., Syrek P., Determination of safety zones in the context of the magnetic field impact on the surrounding during magnetic therapy, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (2011), nr 7, 79-82
- [15] Kasprzyk R. Butlewski M. Pole elektromagnetyczne jako czynnik szkodliwy w przemyśle Elektroenergetycznym, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, (2013) nr 59, 19-33