

WALDEMAR S. CHMIELAK  
LIDIA GRUZA

## BEZPIECZNA PRZERWA IZOLACYJNA W ŁĄCZNIKU PRÓŻNIOWYM

**STRESZCZENIE** *Celem niniejszego artykułu jest zwrócenie uwagi na fakt, że nie jest możliwe zapewnienie bezpiecznej przerwy izolacyjnej przez otwarte styki łączników próżniowych, w których to łącznikach wyładowanie łukowe odbywa się w parach metali elektrod a nie wskutek jonizacji zderzeniowej cząstek gazu. Bezpieczna przerwa izolacyjna, przypisywana odłącznikom, zapewnia wyższą wytrzymałość dielektryczną między otwartymi stykami łącznika niż wytrzymałość doziemna czy między biegunami. Natomiast w przypadku łączników próżniowych na skutek procesów łączeniowych, dekontaminujących układ stykowy (tzn. osłabiających wytrzymałość przerwy międzystykowej m.in. wskutek zmian w strukturze powierzchni stykowych), jak i ze względu na brak możliwości detekcji rozszczelnienia komory próżniowej bezpieczna przerwa izolacyjna może nie być zapewniona.*

**Słowa kluczowe:** łącznik próżniowy, przerwa izolacyjna  
**DOI:** 10.5604/01.3001.0013.0184

### 1. WPROWADZENIE

---

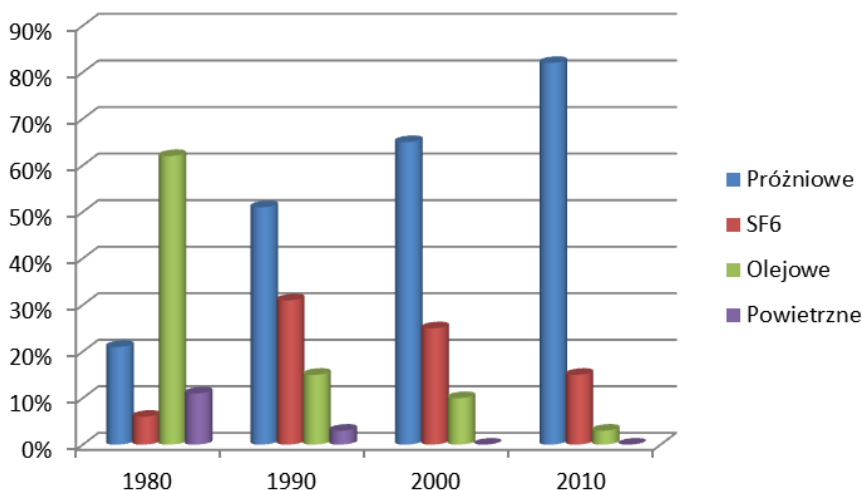
Próżniowa technika izolacyjna i gaszeniowa jest niemal najstarszym rozwiązaniem wykorzystywanym w Elektrotechnice zawodowej. Mimo to, technologie łączników próżniowych są wciąż najbardziej popularne i rozwijane, budząc chyba największe nadzieje jako alternatywne dla cieplarnianego gazu SF<sub>6</sub>, również na poziomie najwyższych napięć [1–3]. Powszechne dążenie do miniaturyzacji i bezobsługowości przy jedynym kryterium podejmowania decyzji o zakupie na podstawie najniższej ceny sprawiają, że włączniki próżniowe zdominowały energetykę zawodową na poziomie średnich napięć (rys. 1). Dążenie do skracania zaników i zapadów napięcia, w duchu

---

**dr inż. Waldemar S. CHMIELAK, mgr inż. Lidia GRUZA**  
waldemar.chmielak@ien.com.pl; lidia.gruza@ien.com.pl

Instytut Energetyki – Instytut Badawczy, Laboratorium Urządzeń Rozdzielczych,  
ul. Mory 8, 01-330 Warszawa

poprawiania wyznaczników jakości energii elektrycznej, sprawia, że łączniki próżniowe są chętnie wykorzystywane w sieciach dystrybucyjnych jako reklozery, które są w stanie dokonać szybkich wielokrotnych łążeń prądów zwarciovych o stosunkowo niskich wartościach, błyskawicznie odstawiając odcinek linii z zakłóceniem. Trwałość reklozerów z komorami próżniowymi jest wyraźnie większa niż rozłączników ze stykami w powietrzu. Dotyczy to zarówno łączenia prądów roboczych jak i przede wszystkim prądów zwarciovych.

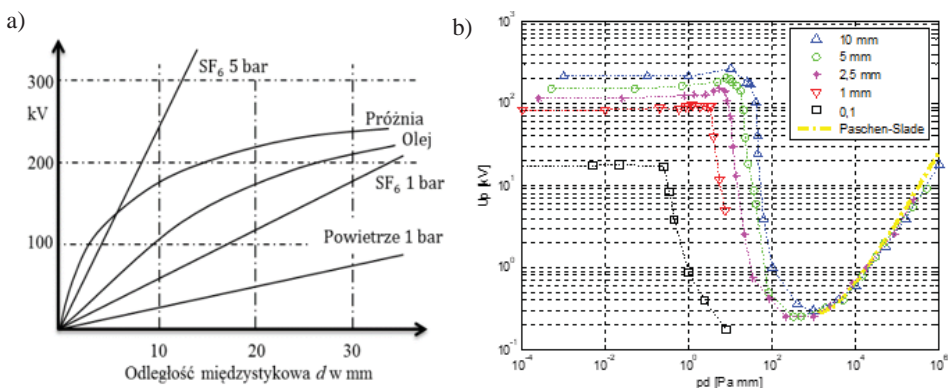


**Rys. 1. Procentowy udział nowo instalowanych wyłączników w sieciach średnich napięć na świecie w latach 1980 – 2010 [1]**

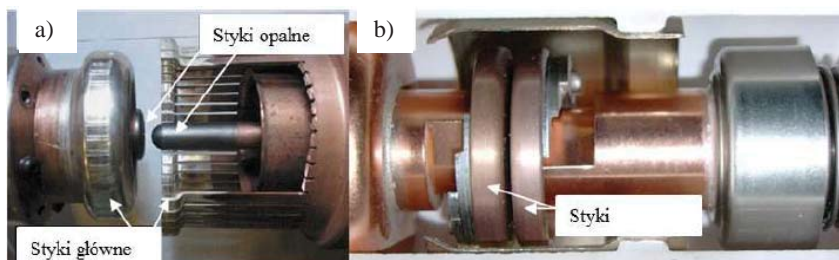
Stan układu izolacyjnego wewnątrz komory łącznika zależy od poziomu, gęstości i ciśnienia danego medium, które to wartości muszą być powyżej zakładanej wartości minimalnej. Dla większości wyłączników pomiary tych wielkości możliwe są w sposób ciągły przy zastosowaniu odpowiednich przetworników lub wskaźników [4]. W wyłącznikach pneumatycznych i gazowych z SF<sub>6</sub> mierzy się głównie ciśnienie lub gęstość gazu, a w wyłącznikach mała i pełno olejowych – poziom oleju. Jedynie pomiar stanu próżni wyłączników próżniowych stanowi do tej pory największą trudność i nie jest praktycznie możliwy w sposób ciągły podczas normalnej pracy łącznika, mimo wielu prac badawczo rozwojowych prowadzonych w tej dziedzinie, częściowo zestawionych w innych opracowaniach autora [5, 6]. Praktykowaną metodą są testy napięciowe komory próżniowej, mające na celu określenie jej wytrzymałości. Testy te jednak mogą odbywać się wyłącznie na odłączonym od systemu wyłączniku. Dodatkowo podczas tych testów komora próżniowa ulega kondycjonowaniu, co poprawia izolacyjność komory i jednocześnie przekłamuje wyniki pomiarów. Przebicie izolacji wyłącznika wskutek wadliwej izolacji może być katastroficznym zdarzeniem prowadzącym do śmierci obsługi lub poważnych uszkodzeń urządzeń [7].

## 2. WYŁADOWANIE ŁUKOWE W PRÓŻNI

Proces palenia się łuku w wyłącznikach próżniowych przebiega zupełnie inaczej niż w środowisku gazowym. W gazie następuje dysocjacja a następnie jonizacja cząsteczek gazu, w skutek zwiększenia energii zderzeń cząsteczek gazu wywołanego wzrostem temperatury. W komorze próżniowej ilość gazu resztkowego jest na tyle mała, że nie jest możliwa jonizacja zderzeniowa, gdyż średnia droga swobodna, czyli droga jaką przemierzy cząsteczka gazu zanim zderzy się z inną cząsteczką, jest wielokrotnie większa od odległości międzystykowej. Ładunki, głównie elektrony, zapewniające przepływ prądu w fazie łukowej – gdy styki łącznika są otwarte, pochodzą z powierzchni elektrod – przeważnie z katody, a o wytrzymałości przerwy międzystykowej decyduje strefa przykatodowa, na którą największy wpływ mają właściwości elektrod, takie jak materiał i stan powierzchni styków. Izolacja próżniowa cechuje się bardzo szybkim wzrostem wytrzymałości dielektrycznej przerwy międzystykowej dla małych odległości międzystykowych, czyli w początkowej fazie rozchodzenia się styków, zgodnie z rysunkiem 2a, oraz stabilizacją poziomu napięcia wytrzymawanego wraz z dalszym rozchodzeniem się styków i przy ciśnieniach poniżej  $10^{-2}$  Pa. Dzięki temu wyłącznik próżniowy gasi łuk elektryczny zawsze przy pierwszym przejściu prądu przez zero oraz pozwala na zmniejszenie wymaganej odległości międzystykowej. Cecha ta determinuje też budowę układów stykowych, które dla wyłączników próżniowych są stykami czołowymi (rys. 3.). Swoistą wadą takiego rozwiązania jest fakt, że w komorze próżniowej na tej samej powierzchni styków przebiega proces przewodzenia prądu, gdy styki są zamknięte oraz palenia się łuku podczas zamykania i otwierania styków. W układach gazowych, gdzie stosowane są styki tulipanowe, funkcje przewodzenia prądu i palenia się łuku elektrycznego są rozdzielone na styki główne i opalne.



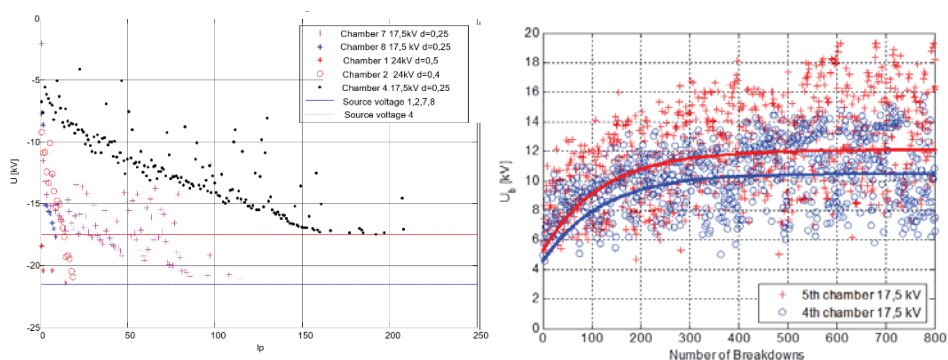
**Rys. 2. Charakterystyki statyczne wytrzymałości przerwy międzystykowej układów stykowych:** a) w zależności od medium izolacyjnego, b) w funkcji ciśnienia i odległości międzystykowej



Rys. 3. Widok układów stykowych wyłącznika WN: gazowego – tulipanowego (a) i próżniowego – czołowego (b)

### 3. KONDYCJONOWANIE I DEKONDYCJONOWANIE

Wytrzymałość dielektryczna przerwy międzystykowej komory próżniowej ma charakter losowy i dodatkowo silnie zależy od historii łączeniowej. Zamykanie styków łącznika wiąże się z silnym zderzeniem mas metalowych styków i ma szczególnie intensywny charakter dla styków czołowych. Takie zderzenie może prowadzić do mikro pęknięć i rozwarstwień stopów na powierzchniach styków ułatwiając tym samym emisję par metali. Zamknięcie styków w obecności dużej wartości prądu, np. zwarciowego czy przetężeniowego podczas łączenia obwodów reakcyjnych, może prowadzić do szczepienia się styków wskutek zapłonu łuku przed metalicznym zejściem styków prowadzącego do punkowego rozgrzania powierzchni styków. Następujące po takim zamknięciu otwarcie styków powoduje rozerwanie szczepionych styków, wprowadzając do przestrzeni międzystykowej cząstki metali oraz tworząc na powierzchni mikronierówności na kształt kraterów. Mikronierówności powstające na powierzchniach stykowych, adsorpcja gazów reszkowych, bryłki/cząsteczki metali przyklepione do ekranu kondensacyjnego czy powierzchni styków a także rozwarstwienie struktury powierzchni prowadzi do obniżenia wytrzymałości dielektrycznej i może być określone



Rys. 4. Przykładowe charakterystyki statyczne wytrzymałości dielektrycznej przerwy międzystykowej w próżni w funkcji liczby przeskoków

jako proces dekontondycjonowania komory. Proces odwrotny – kondycjonowanie, mający miejsce chociażby podczas palenia się łuku próżniowego dyfuzyjnego, prowadzi do eliminacji mikronierówności oraz wolnych nośników ładunku z przestrzeni między-elektrodowej. Przykładowe przebiegi procesu kondycjonowania pokazano na rysunku 4. Prezentowane charakterystyki zostały wyznaczone w warunkach statycznych, przy stałej, zmniejszonej odległości międzystykowej ze względu na niedostateczną wartość napięcia źródła którym dysponowano. Charakterystyki te są zgodne z tymi spotykanymi w literaturze i zakładając, że o wytrzymałości dielektrycznej w największym stopniu decyduje strefa przykatodowa, można zaobserwować, że początkowa wartość napięcia wytrzymywanego przez komorę próżniową jest wyraźnie niższa (<50%) od tej która się pojawia po wystąpieniu wielokrotnych przeskoków.

#### 4. PODSUMOWANIE

Niezwykle ryzykowne jest używanie terminu „bezpieczna przerwa izolacyjna” w kontekście łączników z komorami próżniowymi. Podobnie zresztą dla przerw w środowisku gazowym, szczególnie o podwyższonym ciśnieniu. W przypadku próżni określenie takie jest tym bardziej niewłaściwe, gdyż wytrzymałość przerwy międzystykowej komór próżniowych jest silnie zależna od ich warunków pracy. Zamykanie styków łącznika a także otwieranie styków bez obciążenia lub przy stosunkowo małych prądach, prowadzi do dekontondycjonowania komory próżniowej, drastycznie obniżając wytrzymałość napięciową. To może prowadzić do występowania pojedynczych przeskoków między otwartymi stykami i impulsowego pojawiania się napięcia. Przeskoki te mogą występować bezpośrednio po przerwaniu prądu ale też znacznie później.

Nie bez znaczenia jest też fakt braku możliwości oceny poziomu próżni wewnątrz komory próżniowej łącznika. W przypadku rozszczelnienia komory, ciśnienie w jej wnętrzu może mieć wartość pośrednią między ciśnieniem sprawnej komory a ciśnieniem atmosferycznym, osiągając wartości na poziomie pojedynczych paskali, czyli tzw. „dołek” krzywej Paschena. Wtedy, wytrzymałość napięciowa rozrzedzonego gazu wewnątrz komory jest na tyle mała, że może dojść do trwałego snopienia, czyli przenoszenia ładunków z katody na anodę, przenosząc tym samym potencjał na drugi styk otwartego łącznika. Zjawisko takie zostało zaobserwowane podczas badań reklozera próżniowego 24 kV po kilku latach eksploatacji, przeprowadzonych przez Instytut Energetyki.

W celu zapewnienia bezpiecznej przerwy izolacyjnej podczas eksploatacji, łącznik z komorami próżniowymi powinien współpracować z odłącznikiem, którego otwarcie gwarantuje bezpieczną przerwę izolacyjną na stykach otwartego łącznika.

#### LITERATURA

1. Slade P. G.: “The Vacuum Interrupter Theory, Design, and Application”, *CRC Press* 2007.
2. CIGRÉ, Paper 589: “The Impact of the Application of Vacuum Switchgear at Transmission Voltages”, 2014.
3. Falkingham L.T., Cheng K.W, Molan W.J.: ”The Design of a 245 kV Vacuum Circuit Breaker”, *XXVII ISDEIV*, 2016.

4. CIGRÉ Technical Brochure 167: “User guide for the application of monitoring and diagnostic techniques for switching equipment for rated voltages of 72,5 kV and above”, 2000.
5. Chmielak W. and Pochanke Z.: „Analiza możliwości diagnostyki próżniowych komór gaszeniowych poprzez pomiar prądów i napięć podczas procesów łączeniowych”, raport z pracy badawczej NCBiR, 2013.
6. Chmielak W.: „Nowoczesne technologie w energetyce – SF<sub>6</sub> czy próżnia”, *INPE*, nr 190/2015, s. 15–50.
7. Lechman M., Mański P.: „Doświadczenia z uruchomienia i eksploatacji wyłącznika próżniowego na napięcie 110 kV”, *Urządzenia dla Energetyki*, nr 2/2018, s. 49–55.

*Przyjęto do druku dn. 14.12.2018 r.*

## ISOLATING DISTANCE IN VACUUM BREAKERS

Waldemar S. CHMIELAK, Lidia GRUZA

**ABSTRACT** *The purpose of this article is to draw attention to the fact that it is not possible to provide a safe isolation break through the open contacts of vacuum switches. The reason for this state can be both the switching processes, deconditioning the contact system in a vacuum, as well as the inability to detect the unsealing of the vacuum chamber.*

**Keywords:** *vacuum breaker, isolating distance*