

## Sposób zwiększenia wytrzymałości dielektrycznej próżniowych komór gaszeniowych średniego napięcia

Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększenia wytrzymałości dielektrycznej próżniowych 5 komór gaszeniowych średniego napięcia poprzez wykorzystanie helu jako medium izolacyjnego.

W artykułach: Devins, J.C., Replacement gases for SF<sub>6</sub>. IEEE Trans. Electr. Insul., **1980**, s. 81–86 (DOI: [10.1109/TEI.1980.298243](https://doi.org/10.1109/TEI.1980.298243)), Yamamoto, O., Takuma, T., Hamada, S., Applying a gas mixture containing c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> as an insulation medium. IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 8 (6), **2001**, s. 1075 – 1081 (DOI: [10.1109/94.971467](https://doi.org/10.1109/94.971467)), Weijun, X., Guoqiang, Z., Kang, L., Wenhao, N., Xin, W., Yingying, W., Experimental study on partial discharge characteristics of C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/N<sub>2</sub> mixed gas. Chin. J. Electr. Eng. (07), **2011**, s. 119–124 (DOI: [10.3969/j.issn.1003-6520.2013.02.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-6520.2013.02.005) oraz Kieffel, Y., Irwin, T., Ponchon, P., et al., Green gas to replace SF<sub>6</sub> in electrical grids. IEEE Power Energy Mag. 14 (2), **2016**, s. 32–39 (DOI: [10.1109/MPE.2016.2542645](https://doi.org/10.1109/MPE.2016.2542645)), opisano badania dotyczące wykorzystania 10 różnych gazów izolacyjnych oraz ich mieszanin w elektroenergetycznej aparaturze łączeniowej. W tabeli 1 wyróżniono opisane media izolacyjne oraz ich najważniejsze parametry fizyczne.

Tabela 1. Właściwości fizyczne oraz środowiskowe wybranych gazów dielektrycznych wykorzystywanych w badaniach naukowych w ostatnich latach

Medium izolacyjne	Wytrzymałość elektryczna w stosunku do SF <sub>6</sub>	Temperatura skraplania, °C	Czas życia w atmosferze, lata	GWP
SF <sub>6</sub>	1	-63	3200	23900
N <sub>2</sub>	0,36	-196	0	0
CO <sub>2</sub>	0,30	-78,5	∞	1
Powietrze	0,30	-183	∞	0
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	0,78 – 0,79	-78	10000	9200
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	0,96 – 0,97	-37	2600	7000
c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	1,25 / 1,31	-6	3200	8700
CF <sub>3</sub> I	1,23	-22,5	0,005	1 – 5
C <sub>4</sub> F <sub>7</sub> N	2,74	-4,8	35	2700

20

W artykule: Lee, W., Jun, J., Oh, H., Park, J., Oh, Y., Song, K., Jang, H., Comparison of the Interrupting Capability of Gas Circuit Breaker According to SF<sub>6</sub>, g<sup>3</sup>, and CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Mixture. Energies **2020**, 13, 6388 (DOI: [10.3390/en13236388](https://doi.org/10.3390/en13236388)) oraz w książce Ciok, Z., Ochrona środowiska w elektroenergetyce, rozdz. 8., PWN, Warszawa, **2001** opisane zostały używane obecnie gazy 25 izolacyjne oraz ich mieszaniny, a także prognozowane kierunki badań dotyczące izolacji gazowych w urządzeniach elektroenergetycznych. Zbiorcze zestawienie tych informacji ujęto w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie obecnie używanych oraz prognozowanych do użycia gazów izolacyjnych oraz ich mieszanin

Wyszczególnienie	Zastosowanie w izolacji	Zastosowanie do gaszenia łuku elektrycznego
Używane obecnie gazy i ich mieszaniny	40% SF <sub>6</sub> + 60% N <sub>2</sub> 50% SF <sub>6</sub> + 50% N <sub>2</sub>	40% SF <sub>6</sub> + 60% N <sub>2</sub> 50% SF <sub>6</sub> + 50% N <sub>2</sub>
Kierunki obecnie trwających badań	czysty azot (N <sub>2</sub> ) pod wysokim ciśnieniem, mała koncentracja SF <sub>6</sub> , oraz czysty azot	SF <sub>6</sub> + He
Prognozowane kierunki badań	CO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O N <sub>2</sub> +SO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> +C-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> SO <sub>2</sub> +SF <sub>6</sub> SO <sub>2</sub> +c- C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> SF <sub>6</sub> +CO <sub>2</sub>	SF <sub>6</sub> +Ar SF <sub>6</sub> +CF <sub>4</sub> SF <sub>6</sub> +C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> SF <sub>6</sub> +N <sub>2</sub> +He SF <sub>6</sub> +N <sub>2</sub> +ArHe+gazy elektroujemne

5 Z opisu zgłoszenia wynalazku „System izolacji elektrycznej dla rozdzielnic elektrycznych średniego i wysokiego napięcia” PL/EP 3249656 znany jest sposób izolacji elektrycznej oparty o:

- 10 a) ośrodek gazowy zawierający mieszaninę jednego lub więcej wysoce fluorowanych fluoroketonów mających między 4 a 12 węgli, co najmniej jeden dodatkowy gaz dielektryczny, inny niż fluoroketony, o ciśnieniu pary większym niż 500 mbarów i mniejszym niż 15000 mbarów w 0°C i jeden lub więcej z gazów wektorowych,
- 15 b) sito molekularne o wielkości porów wynoszącej od 3 do 4 Å i powierzchni polarnej, pod warunkiem, że ośrodek gazowy nie zawiera CO<sub>2</sub>.

Z opisu patentowego WO2017034707A1 znany jest sposób izolacji dielektrycznej z wykorzystaniem mieszanin helu oraz wodoru pod ciśnieniem z przedziału od 0,5 do 2,0 MPa.

15 Przedstawione pozycje literaturowe oraz wynalazki opisują inny sposób rozwiązania problemu zwiększenia wytrzymałości dielektrycznej próżniowych komór gaszeniowych. W wymienionych wyżej pracach wykorzystywane są inne wartości ciśnień gazów oraz inne ich mieszaniny, zawierające przede wszystkim szkodliwy sześćfluorek siarki SF<sub>6</sub>.

20 Celem wynalazku jest zwiększenie znamionowej wartości ciśnienia pracy komory próżniowej średniego napięcia przy zachowaniu pełnej, bezpiecznej wytrzymałości dielektrycznej przerwy międzystykowej.

Problemem do rozwiązania jest to, że znamionowe ciśnienie pracy aktualnie stosowanych komór próżniowych średniego napięcia wynosi poniżej  $1,0 \times 10^{-3}$  Pa. Elementy pracujące przy tak niskich wartościach ciśnienia są narażone na występowanie różnego rodzaju rozszczelnień, które mogą być spowodowane nieszczelnościami rzeczywistymi lub pozornymi. Nieszczelności rzeczywiste mogą być spowodowane przeciekami gazu przez ścianki komory, niedostateczną szczelnością połączeń, czy pęknięciem elementów próżniowych. Nieszczelności pozorne powstają na skutek desorpcji gazów z wewnętrznych powierzchni komory lub uwalniania gazów z nakładek stykowych na elektrodach. Szczególnie trudne może być utrzymanie szczelności w urządzeniach o dużych gabarytach. Istotnym problemem użytkowania próżniowych komór gaszeniowych średniego napięcia jest ich rozszczelnienie do momentu, w którym ciśnienie wewnątrz komory osiąga wartość pośrednią pomiędzy ciśnieniem sprawnej komory, a ciśnieniem atmosferycznym. Ciśnienie to na poziomie pojedynczych paskali nazywane jest „dołkiem” tzw. krzywej Paschena. Wytrzymałość dielektryczna przerwy międzystykowej w takim przypadku jest na tyle mała, że w łączniku elektroenergetycznym znajdującym się w pozycji otwartej może nastąpić trwałe snopienie, a tym samym przeniesienie wysokiego potencjału elektrycznego z jednej elektrody na drugą. Wystąpienie takiej sytuacji może spowodować porażenie elektryczne osób prowadzących eksploatację urządzenia, co w najgorszym przypadku może zakończyć się śmiercią.

Przedmiotem wynalazku jest sposób zwiększenia wytrzymałości dielektrycznej próżniowych komór gaszeniowych średniego napięcia. Jego istotą jest to, że do rozłącznikowej komory próżniowej włącza się hel do momentu uzyskania w komorze ciśnienia o wartości  $2,00 \times 10^1$  Pa.

Korzystnym skutkiem zastosowania sposobu jest zwiększenie znamionowego ciśnienia pracy komór próżniowych średniego napięcia, dzięki czemu utrzymywana jest jej szczelność. Proponowany wynalazek może być zastosowany w urządzeniach elektroenergetycznych o znacząco większych gabarytach, gdzie utrzymanie szczelności jest jeszcze trudniejsze.

Sposób zwiększenia wytrzymałości dielektrycznej próżniowych komór gaszeniowych średniego napięcia został zobrazowany z wykorzystaniem rysunku przedstawiającego wykres zależności napięcia przebicia od ciśnienia panującego we wnętrzu komory próżniowej oraz rysunku stanu techniki obrazującego układ elektryczny do badania sposobu.

#### Przykład wykonania

Sposób zwiększenia wytrzymałości dielektrycznej próżniowych komór gaszeniowych średniego napięcia polegał na tym że do rozłącznikowej komory próżniowej 4, w której uzyskana została próżnia na bazie powietrza, włącza się hel, aż do uzyskania w komorze ciśnienia o wartości równej  $2,00 \times 10^1$  Pa.

Komorą próżniową 4 była komora typu HVKR 24/400 wyprodukowana przez Sieć Badawczą Łukasiewicz - Instytut Tele- i Radio Techniczny, poddana badaniom wytrzymałości dielektrycznej w

przedziale odległości międzystykowych od 1 mm do 5 mm oraz ciśnienia z przedziału od  $8,0 \times 10^{-4}$  do  $3,0 \times 10^1$  Pa, dozując w pierwszej kolejności powietrze do wnętrza komory.

Realizując sposób według wynalazku przeprowadzono pomiary z zastosowaniem tej samej komory próżniowej, dla tych samych wartości ciśnień oraz odległości międzystykowych, zwiększając  
5 ciśnienie poprzez dozowanie helu do jej wnętrza.

Wykorzystując stanowisko laboratoryjne, które składa się z programowalnego pulpitu sterowniczego 1, transformatora probierczego 2 o napięciu wyjściowym 50 kV, dzielnika pojemnościowego 3, a także zestawu pomp próżniowych - wstępnej pompy 7 i turbomolekularnej pompy 8, pracujących z wydajnością 90 l/s, zmierzone zostały wartości napięć przebicia komory 4 dla  
10 gazów resztkowych będących powietrzem oraz helem. Regulacja dozowanego gazu odbywała się z wykorzystaniem ręcznego zaworu dozującego 5, natomiast sterowanie układem pomiarowym odbywało się poprzez jednostkę sterującą 9. Pomiar ciśnienia realizowany był z wykorzystaniem próżniomierza 6.

15 Metodyka badań wytrzymałości dielektrycznej opiera się na wykonaniu odpowiednich połączeń elektrycznych, ustawieniu żądanej odległości międzyelektrodowej oraz ciśnienia we wnętrzu badanej komory próżniowej, skonfigurowaniu parametrów próby badawczej, a następnie uruchomieniu pomiaru. Poprzez w pełni zautomatyzowany układ, napięcie przyłożone do obiektu badawczego zwiększane jest do momentu, kiedy pomiędzy stykami komory nastąpi wyładowanie elektryczne.  
20 Sterownik rejestruje wartość napięcia przebicia  $U_d$ , która wykorzystywana jest do dalszych analiz badawczych.

W tabeli 3 zestawiono wartości ciśnień  $p$  oraz napięć przeskoku  $U_d$  dla każdej z badanych odległości międzystykowych. Poniżej wartości ciśnienia w komorze równej 1,00 Pa wytrzymałość dielektryczna komory próżniowej wypełnionej powietrzem oraz helem osiągnęła podobne wartości.  
25 Powyżej tej wartości zauważyć można, że komora próżniowa wypełniana helem, w większym przedziale ciśnienia utrzymuje pełną, bezpieczną wartość wytrzymałości dielektrycznej.

Przykładową charakterystykę porównawczą wytrzymałości dielektrycznej komory próżniowej wypełnianej powietrzem oraz helem dla odległości międzystykowej równej 5 mm oraz  
30 najkorzystniejszej wartości ciśnienia, równej  $p = 2,00 \times 10^1$  Pa przedstawiono na rysunku fig.1.

RZECZNIK PATENTOWY

*Maciej Nowicki*  
mgr inż. Maciej Nowicki  
Nr wp. 3476

Tabela 3 - Porównanie wartości napięć przeskoku  $U_d$  komór próżniowych wypełnionych powietrzem oraz helem, dla odległości międzystykowych z przedziału 1,0 ÷ 5,0 mm oraz ciśnienia z przedziału od  $1,00 \times 10^0$  do  $3,00 \times 10^1$  Pa.

Rodzaj gazu resztkowego	Ciśnienie p, Pa	Odległość międzystykowa d, mm					
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	
Powietrze	$1,0 \times 10^0$	5,52	15,20	32,60	40,70	47,00	<b>Napięcie przebiecia <math>U_d</math>, kV</b>
Hel		5,70	14,00	31,30	39,30	46,80	
Powietrze	$2,0 \times 10^0$	6,12	11,30	27,80	39,20	46,50	
Hel		5,50	15,00	30,00	38,00	48,00	
Powietrze	$3,0 \times 10^0$	5,80	8,70	25,60	43,10	48,20	
Hel		5,10	13,00	30,00	36,00	48,00	
Powietrze	$4,0 \times 10^0$	5,60	9,10	28,30	38,00	27,80	
Hel		5,00	13,00	29,00	34,00	48,00	
Powietrze	$5,0 \times 10^0$	5,30	9,70	21,40	20,70	19,30	
Hel		4,80	12,80	28,00	35,00	47,80	
Powietrze	$6,0 \times 10^0$	5,70	7,30	7,50	8,20	8,80	
Hel		4,80	12,70	27,90	32,00	48,00	
Powietrze	$7,0 \times 10^0$	5,70	6,00	6,40	6,50	6,60	
Hel		4,60	12,00	27,00	31,30	47,30	
Powietrze	$8,0 \times 10^0$	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	
Hel		4,40	12,00	26,90	31,00	47,80	
Powietrze	$9,0 \times 10^0$	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
Hel		4,20	11,00	27,00	31,00	49,00	
Powietrze	$1,0 \times 10^1$	2,40	2,36	2,33	2,23	2,30	
Hel		3,70	10,00	27,00	29,80	52,00	
Powietrze	$2,0 \times 10^1$	1,20	0,90	1,10	1,00	1,00	
Hel		3,50	8,00	27,00	31,00	40,00	
Powietrze	$3,0 \times 10^1$	0,56	0,54	0,73	0,60	0,57	
Hel		3,50	6,00	20,00	20,00	20,00	