

Romuald Kosztaluk<sup>1</sup>, Zdobysław Flisowski<sup>1</sup>

## EKSPANSJA TLENKOWYCH OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ W SIECIACH ELEKTRYCZNYCH

**Streszczenie:** Przedstawiono rozwój zastosowań tlenkowych ograniczników przepięć w rozdzielniach i stacjach oraz w liniach napowietrznych. Opisano zalecenia i zasady doboru parametrów ograniczników tlenkowych do instalowania w rozdzielniach energetyki zawodowej i zakładów przemysłowych o napięciach od 3 kV do 400 kV. Zwrócono uwagę na znaczny wzrost marginesów bezpieczeństwa w ochronie izolacji dzięki zastosowaniu omawianych ograniczników.

**Słowa kluczowe:** Ograniczniki przepięć, ochrona izolacji, dobór odgromników tlenkowych.

### 1. Wstęp

Tlenkowe ograniczniki przepięć, zwane dalej – dla uproszczenia – odgromnikami tlenkowymi, zostały po raz pierwszy zastosowane do ochrony sieci elektrycznych (rozdzielni 66 kV) w 1975 r. w Japonii. Obecnie są one instalowane coraz powszechniej zarówno w stacjach wysokich i niskich napięć, jak i w liniach napowietrznych, oraz na połączeniach z liniami kablowymi. Jest to skutek dobrych doświadczeń ze stosowania tych urządzeń.

Opracowanie technologii wytwarzania spieków z tlenków metali (głównie cynku), o wybitnych własnościach zaworowych, oraz zastosowanie tych spieków do budowy stosunkowo tanich ograniczników przepięć uznaje się nawet, obok automatyzacji procesów wytwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej, za czołowe osiągnięcie elektrotechniki ostatniego ćwierćwiecza.

W referacie scharakteryzowano rozwój zastosowań odgromników tlenkowych, jaki nastąpił w ostatnich latach [1]. Uzupełnia on przedstawione w publikacji [2] omówienie metod i środków ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych energetyki zawodowej i zakładów przemysłowych oraz w publikacji [3] metod i środków ograniczania przepięć w sieciach przesyłowych i w sieciach 110 kV. W zakresie dotyczącym stosowania odgromników tlenkowych w liniach napowietrznych odwołano się w referacie do wnikliwej publikacji Z. Pohla i współautorów [4], która ukazała się w ubiegłym roku.

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Zakład Techniki Wysokich Napięć, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

## 2. Odgromniki do ochrony urządzeń stacyjnych

Odgromniki tlenkowe są obecnie podstawowym środkiem ochrony izolacji urządzeń stacyjnych od przepięć. Są one stosowane przede wszystkim do ochrony transformatorów i innych urządzeń instalowanych w rozdzielniach oraz w szczelnie zamkniętych obudowach wypełnionych gazem izolacyjnym [5].

Tendencje rozwoju odgromników i ich zastosowań polegają przede wszystkim na poprawie charakterystyk ochronnych napięciowo-prądowych, zwiększeniu niezawodności pracy, instalowaniu odgromników wewnątrz innych urządzeń i obniżeniu kosztów odgromników dzięki zastosowaniu osłon z materiałów innych niż porcelana [5], [6], [7].

**Tablica 1.** Zarejestrowane w latach 1982 - 1997 uszkodzenia piorunowe w 5865 japońskich podstacjach chronionych odgromnikami tlenkowymi [5]

Napięcie znamionowe rozdzielni	$U_n$	kV	66/67	154	275	550
Liczba uszkodzeń	A	-	50	3	2	0
Liczba podstacji	B	-	3356	1316	929	264
Wskaźnik uszkodzeń	(A/B)/15,5	rok <sup>-1</sup>	0,00096	0,00015	0,00014	0

**Tablica 2.** Zalecane wartości poziomów izolacji i parametrów odgromników tlenkowych do instalowania w rozdzielniach elektroenergetycznych i stacji średnich napięć wg analiz [8], [9]

Nazwa		Symbol	Jedostka	Wartości liczbowe						
Napięcie znamionowe sieci		$U_n$	kV <sub>sk</sub>	3	6	10	15	20		
Najwyższe napięcie sieci		$U_s$	kV <sub>sk</sub>	3,6	7,2	12	17,5	24		
Znamionowy poziom izolacji	Napięcie wytrzymałowe	przemienne	$U_{ws}$	kV <sub>sk</sub>	10	20	28	38	50	
		piorunowe	$U_{wp}$	kV <sub>m</sub>	40	60	75	95	125	
Szybka eliminacja zwarcia faza-ziemia	Współczynnik zwarcia z ziemią		$k_z$	-	$\sqrt{3}$					
	Przyjęty czas trwania zwarcia		$t_z$	s	3	3	3	3	3	
	Napięcie odgromnika	pracy ciągłej	$U_c$	kV <sub>sk</sub>	3,2	6,4	10	14,5	20	
		znamionowe	$U_r$	kV <sub>sk</sub>	4	8	12,5	18	25	
obniżone przy $I_0$		$U_0^*$	kV <sub>m</sub>	15	25	37	52	70		
Nieograniczony czas doziemienia fazy ( $t_z = \infty$ )	Napięcie odgromnika	pracy ciągłej	$U_c$	kV <sub>sk</sub>	4	7,2	12	17,6	24	
		znamionowe	$U_r$	kV <sub>sk</sub>	5	9	15	22	30	
		obniżone przy $I_0$	$U_0^*$	kV <sub>m</sub>	17	30	45	60	82	
Znamionowy prąd wyladowniczy 8/20 $\mu$ s		$I_0$	kA <sub>m</sub>	5			10			
Próba udarem prądowym 2000 $\mu$ s		$I_w$	A <sub>m</sub>	$\geq 250$						
Energia pochłaniana na jednostkę napięcia		W/ $U_r$	kJ/kV	$\geq 2,0$						
*) Napięcie obniżone odgromnika $U_0$ przy prądzie $I_0$ nie powinno być wyższe niż podane. Wytrzymałość zwarcia odgromników, droga upływu izolacji i odporność na zabrudzenia powinny być dostosowane do przewidywanych warunków eksploatacji odgromników.										

W tabelicy 1 przedstawiono dane o skuteczności ochrony izolacji stacyjnej odgromnikami tlenkowymi w sieciach japońskich w latach 1982 - 1997 [5]. Świadczą one o bardzo dobrej ochronie stacji od skutków uderzeń piorunów.

Na podstawie analizy wyników doświadczalnych, uzyskanych w ostatnich latach, w tablicach 2 i 3 podano przykłady doboru odgromników tlenkowych do ochrony izolacji w rozdzielniach energetyki zawodowej i zakładów przemysłowych. Dotyczą one napięć od 3 kV do 420 kV i są proponowane do stosowania w Polsce [8], [9]. W sieci 30 kV jest celowy indywidualny dobór odgromników w zależności od jej parametrów (rozległości, długości linii, rodzaju zainstalowanych urządzeń, zmian napięcia roboczego).

**Tablica 3.** Zalecane wartości poziomów izolacji i parametrów odgromników tlenkowych do instalowania w rozdzielniach elektrowni i stacji wysokich napięć wg analiz [8], [9]

Nazwa		Symbol	Jednostka	Wartości liczbowe						
Napięcie znamionowe sieci		$U_n$	kV <sub>sk</sub>	110	220	400				
Najwyższe napięcie sieci		$U_s$	kV <sub>sk</sub>	123	245	420				
Znamionowy poziom izolacji	Napięcie wytrzymałowe	przemienne	$U_{ws}$	kV <sub>sk</sub>	180	360	850 <sup>1)</sup>			
					230	395	950 <sup>1)</sup>			
		piorunowe	$U_{wp}$	kV <sub>m</sub>	450	850	1175			
					550	950	1300			
Szybka eliminacja zwarcia faza-ziemia	Współczynnik zwarcia z ziemią		$k_z$	-	1,4	1,5 <sup>2)</sup>	1,3	1,4 <sup>2)</sup>	1,3	1,4 <sup>2)</sup>
	Przyjęty czas trwania zwarcia		$t_z$	s	1	3	1	3	1	3
	Napięcie odgromnika	pracy ciągłej	$U_c$	kV <sub>sk</sub>	72	86	154	163	259	275
		znamionowe	$U_r$	kV <sub>sk</sub>	96	108	192	204	324	342
	obniżone przy $I_0$	$U_0^*$	kV <sub>m</sub>	260	295	520	555	875	925	
Znamionowy prąd wyladowczy 8/20 μs		$I_0$	kA <sub>m</sub>	10						
Próba udarem prądowym 2000 μs		$I_w$	A <sub>m</sub>	≥ 450						
Energia pochłaniana na jednostkę napięcia		$W/U_r$	kJ/kV	≥ 4,0						

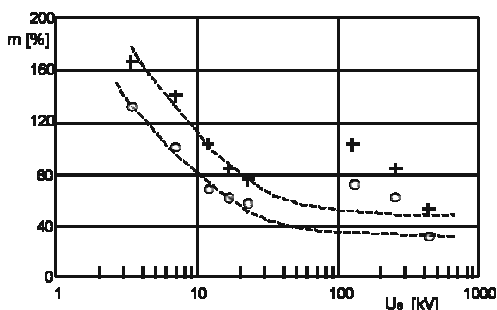
<sup>1)</sup> Wartość znormalizowanego napięcia wytrzymałowego łączeniowego  $U_w$  [kV<sub>m</sub>] izolacji doziemnej i wzdłużnej.  
<sup>2)</sup> W rozdzielniach elektrowni między generatorem a wyłącznikiem, powodującym nagle odciążenie generatora i w uzasadnionych przypadkach na końcu linii długiej.  
\*) Napięcie obniżone odgromnika  $U_0$  przy prądzie  $I_0$  nie powinno być wyższe niż podane. Wytrzymałość zwarciova odgromników, droga wpływu izolacji i odporność na zabrudzenia powinny być dostosowane do przewidywanych warunków eksploatacji odgromników.

Dla napięć znamionowych równych i wyższych niż 15 kV uwzględniono odgromniki obecnie powszechnie dostępne na rynku, o wskaźniku  $U_0/U_r$  wynoszącym 2,72 przy prądzie 10 kA, uznawanym obecnie za umiarkowanie konserwatywny (patrz tablice 2 i 3). Należy zwrócić uwagę na fakt, że w przepisach japońskich, dotyczących rozdzielnic w izolacji gazowej, wskaźnik  $U_0/U_r$  obniżono w 1995 r. z 2,72 do 1,94, a obecnie w sieci 1000 kV stosuje się odgromniki o wskaźniku  $U_0/U_r = 1,73$  [5]. Liczby te świadczą o możliwym szybkim postępie w ograniczaniu przepięć w sieciach.

Zastosowanie odgromników o charakterystykach, jak w tablicach 2 i 3, gwarantuje znaczny margines bezpieczeństwa między napięciem obniżonym  $U_0$  odgromników a znamio-

nowym poziomem izolacji, charakteryzowanym piorunowym napięciem wytrzymałym  $U_{wp}$ . Uprzednio, gdy stosowano odgromniki zaworowe, dążono do tego, aby margines wynosił 25% do 30%. Znaczne obniżenie napięć  $U_0$  odgromników tlenkowych bez zmiany wartości napięć  $U_{wp}$  izolacji, stosowanych przy próbach wytrzymałości izolacji, spowodowało, że margines bezpieczeństwa znacznie się zwiększył.

Wzrost marginesu obserwuje się szczególnie w odniesieniu do napięć  $U_s$  123 kV i 245 kV oraz 3,6 kV, 7,2 kV i 12 kV (patrz rys. 1). Wynika stąd ważny wniosek o możliwości i celowości zmniejszenia znamionowych poziomów izolacji, a zwłaszcza piorunowych napięć probierczych w sieciach 110 kV i 220 kV, gdy stosuje się odgromniki tlenkowe.



Rys. 1. Margines bezpieczeństwa  $m = (U_{wp} - U_0)/U_0$  w zależności od najwyższego napięcia sieci  $U_s$ , uzyskiwany przy zastosowaniu odgromników tlenkowych o parametrach jak w tablicach 2 i 3; „o” – dolna granica marginesu, „+” – górna granica marginesu.

### 3. Odgromniki wbudowane

Nowoczesne odgromniki tlenkowe stosuje się od wielu lat w rozdzielniach szczelnie osłoniętych, wypełnionych gazem izolacyjnym, obecnie głównie SF<sub>6</sub>. Obserwuje się również konstrukcje z odgromnikami wbudowanymi w metalową obudowę transformatorów [10], [11], a także w izolatory wsporcze szyn stacyjnych, np. w izolatory odłączników 220 kV i 400 kV [6]. Takie rozwiązania poprawiają skuteczność ochrony urządzeń stacyjnych od przepięć przy istotnej redukcji jej kosztów.

### 4. Ochrona linii odgromnikami tlenkowymi

Odgromniki zaworowe i wydmuchowe stosowano od dawna do ochrony izolacji rozmaitych urządzeń i szczególnych miejsc w liniach napowietrznych, np. połączeń z liniami kablowymi. Obecnie obserwuje się stałą tendencję wzrostu zastosowań odgromników tlenkowych w liniach napowietrznych [10], [11], [12].

Zagadnienie to zostało szczegółowo omówione w cytowanej publikacji [4], co uzasadnia rezygnację z szerszej analizy tego zagadnienia w niniejszym referacie.

W publikacjach, które ukazały się w ostatnich latach zwraca uwagę postępująca rezygnacja z połączeń odgromników tlenkowych z przewodami linii, na rzecz zewnętrznej przerwy powietrznej. Rozwiązanie takie umożliwia stosowanie lżejszych i tańszych

odgromników w izolacji polimerowej i przyczynia się do zmniejszenia liczby wyłączeń linii [4], [10], [11], [12].

Problemami do rozwiązania pozostają długości przerwy iskrowej między przewodem (osprzętem ochronnym izolatora podtrzymującego przewód) a elektrodą wysokonapięciową odgromnika oraz charakterystyka napięciowo-czasowa tej przerwy dla rozmaitych rodzajów napięć i przepięć (łączeniowych i piorunowych obydwu biegunowości).

Z publikacji japońskich, omawianych w [11], wynika jednak, że wskaźnik uszkodzeń odgromników liniowych w sieciach rozdzielczych dochodzi do 50% rocznie, pomimo równoczesnego stosowania przewodów odgromowych. Jest to spowodowane występowaniem w Japonii w okresie zimowym wyładowań piorunowych o dużych wartościach odprowadzanego do ziemi ładunku, związanego ze stosunkowo długim czasem przepływu prądu wyładowczego. Ładunki osiągają często wartości od 60 C do 160 C, a niekiedy dochodzące nawet do 460 C [11].

## 5. Sprawdzanie zdolności rozładowczych odgromników

Po kilkunastu latach doświadczeń ze stosowania odgromników tlenkowych w sieciach wysokich i niskich napięć są wysuwane propozycje zmian sposobu sprawdzania własności tych urządzeń. Dotychczasowe metody badań są krytykowane m. in. ze względu na fakt, że nie odzwierciedlają narażeń odgromników na kilkakrotne przewodzenie prądu podczas typowych uderzeń pioruna. Często bowiem rejestruje się 3 lub 4 udary prądowe (ang. multiple strokes), następujące po sobie w odstępach kilkunastu do kilkudziesięciu ms. Według analiz w publikacji [13] badania udarami 8/20  $\mu$ s i 4/10  $\mu$ s są dla tych przypadków niemiarodajne. W związku z tym postuluje się badanie odgromników prądami udarowymi o przedłużonym czasie przepływu prądu i o amplitudach: 3, 5, 10, 14 i 18 kA. Parametry i tolerancje tych udarów są następujące: amplituda prądu 100 do 110% podanych wartości, czas do osiągnięcia szczytu 90 do 100  $\mu$ s i czas do opadnięcia prądu do zera 200 do 230  $\mu$ s. Proponowane badania są znacznie ostrzejsze (energije kilkakrotnie większe) od obecnie wykonywanych. Liczby badań prądem udarowym długotrwałym nie powinny ulec zmianie.

## 6. Wnioski

- Nowoczesne odgromniki tlenkowe dobrej jakości, umiejętnie dobrane i instalowane, pozwalają uzyskać wysoce skuteczną ochronę izolacji urządzeń stacyjnych, o czym świadczą dane z tablicy 1, pochodzące z kraju o znacznie większej liczbie dni burzowych i częstości uderzeń pioruna niż w środkowej Europie.
- Zastosowanie odgromników tlenkowych spowodowało znaczne (często ponad dwukrotne) zwiększenie marginesów bezpieczeństwa między napięciem obniżonym  $U_0$  a wymaganą wytrzymałością udarową izolacji, charakteryzowaną napięciem  $U_{wp}$  w porównaniu z ochrona odgromnikami zaworowymi.
- Duża wartość marginesu bezpieczeństwa w izolacji urządzeń stosowanych w sieciach 110 kV i 220 kV przemawia za możliwością obniżenia znamionowych poziomów izolacji tych urządzeń.

- Obserwuje się stałą tendencję poprawy charakterystyk ochronnych nowoczesnych odgromników tlenkowych, wyrażająca się obniżeniem wskaźnika  $U_0/U_w$  oraz umieszczanie odgromników wewnątrz innych urządzeń, np. transformatorów, kolumn izolatorów i rozdzielni z izolacją gazową.

### Literatura

- [1] PN-IEC 60099-4: *Ograniczniki przepięć. Część 4: Beziskiernikowe zaworowe ograniczniki przepięć z tlenków metali do sieci prądu przemiennego*. PN-EN 60099-5: *Ograniczniki przepięć. Część 5: Dobór i zasady stosowania*.
- [2] **Kosztaluk R., Flisowski Z., Kuca B.**: *Sposoby ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych*. EUT'2001, Zakopane
- [3] **Flisowski Z., Kosztaluk R.**: *Sposoby redukcji przepięć w sieciach przesyłowych*. EUT'2001, Zakopane
- [4] **Pohl Z., Fleszyński J., Chrzan K.**: *Zastosowanie tlenkowych ograniczników przepięć w nawięztrznych liniach elektroenergetycznych*. V Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć IW'2000. Poznań - Kiekrz, maj 2000, s. 329-340.
- [5] **Kawamura T., Kouno T., Sasaki S., Zaima E., Uodo T., Kato Y.**: *Principles and Recent Practices of Insulation Coordination in Japan*. CIGRE'2000, Rapp. 33-109.
- [6] **Hinrichsen V., Gohler R., Lipken H., Breilmann W.**: *Economic Overvoltage Protection by Metal-Oxide Surge Arresters Integrated in HV AIS Disconnectors*. CIGRE-'2000 Rapp. 33-104.
- [7] **Schnettler A., Balzer G., Hudasch M., Johnnerfeld B.**: *Protection of High Voltage Equipment by Polymer Housed Surge Arresters*. CIGRE'1998, Rapp. 33-302.
- [8] **Kosztaluk R., Flisowski Z.**: *Koordynacja izolacji polskich sieci wysokich napięć*. Przegląd Elektrotechniczny nr 2/1998, s. 41 - 45.
- [9] **Kosztaluk R., Flisowski Z.**: *Dobór odgromników do pracy w sieciach elektrycznych*. Przegląd Elektrotechniczny nr 5/1998, s. 119 - 122.
- [10] **CIGRE WG 33-11-03. Convenor Schei A.**: *Application of Metal-Oxide Surge Arresters to Overhead Lines*. Electra No 189, Oct. 1999. p. 83-111.
- [11] **Flisowski Z., Kosztaluk R.**: *Ochrona odgromowa sieci elektrycznych w pracach MKOO 2000*. Przegląd Elektrotechniczny nr 6/2001.
- [12] **Kawamura T., Naito K., Inoue A., Yamada T., Murusawa I., Yamamoto Y., Irie T., Muchizuki M.**: *Experience and Effectiveness of Application of Arresters to Overhead Transmission Lines*. CIGRE'1998, Rapp. 33-301.
- [13] **CIGRE WG 33-11. Stenström L., Schei A.**: *Proposal for a Test Procedure to Determine the Lightning Impulse Energy Capability for Metal-Oxide Surge Arresters*. Electra No 183, April. 1999. p. 89-93.

### AN EXPANSION OF METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS IN ELECTRICAL NETWORKS

**Summary:** A development of application of metal-oxide surge arresters in power and switching stations as well as in overhead lines has been presented. Recommendations and principles for parameter selection of metal-oxide surge arresters to install them in switching stations of professional energetic and industrial plants with rated voltages from 3 kV up to 400 kV have been described. An attention has been paid to substantial rise of safety margins in insulation protection due to application of considered arresters.