

*Seminarium*  
*Postępy w Technice Wysokich Napięć*  
**100. Rocznica Urodzin Profesora Stanisława Szpora**  
*16 maj 2008*

**BADANIA Z ZAKRESU OCHRONY ODGROMOWEJ  
WYKONANE NA POLITECHNICE WROCŁAWSKIEJ**

**Krystian Leonard CHRZAN<sup>1</sup>**

1. Politechnika Wrocławska, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii I - 7  
tel: 071-320 2688 fax: 071-322 2597 e-mail: krystian.chrzan@pwr.wroc.pl

**Streszczenie:** Wymieniono pierwsze instalacje piorunochronów w Rzeczypospolitej i na Dolnym Śląsku. Opisano badania skuteczności zwodów pionowych na makiecie obserwatorium meteorologicznego oraz skuteczności zwodów aktywnych ESE. Przedstawiono najważniejsze osiągnięcia w zakresie badania odporności zabrudzeniowej odgromników zaworowych i ograniczników beziskiernikowych. Streszczono pomiary wytrzymałości udarowej zabrudzonych izolatorów.

**Słowa kluczowe:** zwody aktywne, ograniczniki przepięć

## 1. WSTĘP

W Katedrze Wysokich Napięć Politechniki Wrocławskiej utworzonej przez Prof. Jerzego Ignacego Skowrońskiego i w późniejszym Zakładzie Techniki Wysokich Napięć prace badawcze były skoncentrowane przede wszystkim na zagadnieniach wytrzymałości izolacji wysokonapięciowej. Tradycyjnym tematem stały się badania odporności zabrudzeniowej odgromników zaworowych prowadzone przez Jerzego Lisieckiego i Edwarda Sojgę. Badania te kontynuowane są przez Krystiana L. Chrzana i Macieja Jaroszewskiego i dotyczą ograniczników beziskiernikowych. Jerzy Lisiecki wykładał również przez wiele lat ochronę odgromową. W niniejszym artykule przedstawiono badania zwodów, odgromników zaworowych, ograniczników beziskiernikowych i wytrzymałości udarowej zabrudzonych izolatorów.

## 2. POCZĄTKI OCHRONY ODGROMOWEJ

Pierwszy piorunochron Polsce zainstalowany został w 1783 przez Krystiana Gottloba Steyglera na ratuszu w Rawiczu. W następnym roku Jowin Fryderyk Bystrzycki zamontował piorunochrony na pałacu w Dęblinie i na wieży zamku królewskiego w Warszawie [1]. Warto nadmienić, że już w 1769 opat Johann Felbinger zbudował piorunochron na wieży kościoła Augustianów w Żaganii. Od czasu wojny o Śląsk przeprowadzonej w 1741, miasto to należało wówczas do Prus. Felbinger był znanym

pedagogiem, twórcą systemu nauczania stosowanego w szkołach ówczesnej Europy. Jego katechizm został m. in. przetłumaczony na język polski. Pierwszy piorunochron we Wrocławiu zainstalowano w 1790 na 90 metrowej wieży kościoła św. Elżbiety [2].



Rys. 1. a – Johann Felbinger, opat klasztoru Augustianów w Żaganii, b – starodruk Johanna Efraima Scheibela o piorunochronie we Wrocławiu [2]

Pierwszą książką z zakresu ochrony odgromowej, uznawaną również za pierwszą książkę z zakresu elektrotechniki w Polsce pt. „Sposób ubezpieczający życie i majątek od piorunów” napisał ksiądz Józef Herman Osiński w 1784 [3]. Na 50 stronach opisany jest ówczesny stan wiedzy o piorunach oraz wskazówki dotyczące budowy i konserwacji piorunochronów [1].

## 3. BADANIA ZWODÓW PIONOWYCH

W związku z planowaną w latach sześćdziesiątych budową obserwatorium Państwowego Instytutu Hydrometeorologicznego na Śnieżce, w Zakładzie Techniki

Wysokich Napięć Politechniki Wrocławskiej opracowano wytyczne do ochrony tego obiektu przed wyładowaniami atmosferycznymi. Szczyt znajdujący na wysokości 1610 m n.p.m. jest trafiany przynajmniej raz w roku przez piorun. Skaliste podłoże góry charakteryzuje się wysoką rezystywnością gruntu 1000 – 8000  $\Omega$ m. Aby chronić aluminiową blachę pokrycia dachowego przed perforacją oraz przyrządy pomiarowe umieszczone na zewnątrz budynku zaplanowano 3 zwody pionowe o wysokości 8 – 10 m umieszczone na budynku obserwatorium i jeden zwód pionowy na pobliskiej kaplicy. Skuteczność takiego systemu testowano modelu obserwatorium wykonanym w skali 1 : 20 (rys. 2) za pomocą generatora udarowego 1,8 MV.



Rys. 2. Makieta obserwatorium na Śnieżce. Trafienie wyładowania w zwód na kaplicy [4]

Pod koniec XX wieku na rynku pojawił się nowy typ zwodów aktywnych z wczesną emisją strimerów (ESE early streamer emission terminals). Zwody te miały zastąpić zwody radioaktywne, których stosowanie zostało zakazane w niektórych krajach. Wobec bardzo poważnych zastrzeżeń wielu autorytetów naukowych dotyczących skuteczności zwodów ESE, autor zdecydował się na przeprowadzenie własnych pomiarów. Badania zapoczątkowane na Politechnice Wrocławskiej były kontynuowane na Uniwersytecie Technicznym w Darmstadt w ramach stypendium Deutsche Akademische Ausstauschdienst DAAD. Obiektami badań były zwody ESE trzech różnych firm (rys. 3). Głowice umieszczono na uziemionym, metalowym statywie na podłożu laboratorium. Nad głowicami zawieszono elektrodę wysokonapięciową, połączoną z generatorem udarowym 3 MV, w kształcie rury zakończonej stożkową końcówką. Mierzono napięcie przebicia tak zmontowanych iskierników ostrze-ostrze przy udarach piorunowych 1,2/50  $\mu$ s i przy udarach łączeniowych 250/2500  $\mu$ s o odstępach do 4 m. Następnie starannie uziemiano ostrze głowic ESE i powtarzano pomiary. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy napięciami przebicia obydwu typów układów przy tym samym typie udaru, biegunowości i odstępach elektrod. Oznacza to, że w zastosowanych warunkach laboratoryjnych zwody ESE nie są lepsze od zwodów Franklina. Znalaziono również przypadek nieskuteczności zwodu ESE w warunkach naturalnych, zainstalowanego na dachu jednorodzinnej domu w Kamieńcu Wrocławskim. Na świecie a zwłaszcza w Kuala Lumpur w Malezji zarejestrowano ponad 100 podobnych przypadków [5].

Bardzo starym problemem jest spór o lepsze zakończenie zwodów Franklina (tępe czy ostre). Opublikowane kilka lat temu wyniki eksperymentów C.B. Moor'a sugerują większą skuteczność zwodów tępych. Autor wykonał również pomiary ze zwodami o różnym zakończeniu stosując jako elektrodę wysokonapięciową rurę o zakończeniu stożkowym, odstępów do 4 m oraz udary piorunowe albo łączeniowe. Pomiary nie wykazały wyższości zwodów tępych. Napięcia przebicia przerw powietrznych ze zwodami ostrymi były podobne lub niższe od napięć przebicia przerw powietrznych ze zwodem tępym [6]. Warto przypomnieć, że zagadnieniem tym zajmował się wcześniej Prof. Szpor [7].



Rys. 3. Badane zwody ESE i zwód Franklina [5]

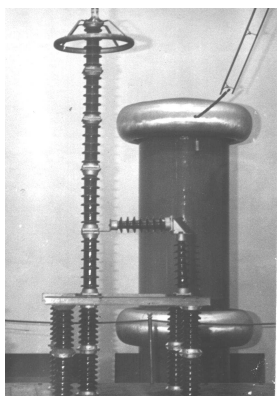
#### 4. BADANIA ODGROMIKÓW ZAWOROWYCH

Ograniczniki iskiernikowe z warystorami karborundowymi są podatne na wpływ zabrudzeń [8]. Nierównomierny rozkład napięcia na zabrudzonej i zawilgoconej osłonie tworzący się w rezultacie wyładowań powierzchniowych i powstawania stref suchych, może doprowadzić do zapłonu iskierników przy napięciu roboczym. Stan taki jest bardzo niebezpieczny, następuje uszkodzenie odgromnika a niekiedy nawet jego wybuch. Uszkodzenia odgromników zaworowych wywołane przez zabrudzenia notowano w Polsce wielokrotnie, zwłaszcza w latach 1950-1980. Największe problemy stwarzały wieloczołonowe odgromniki GZ 110/10 ze sterowaniem pojemnościowym, które były tak zawodne i wybuchowe, że zalecano ich odłączenie zaraz po sezonie burzowym.

Pod koniec lat sześćdziesiątych w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej rozpoczęto badanie wpływu zanieczyszczeń na odgromniki zaworowe. W pracy dyplomowej Edwarda Sojdy i Ryszarda Stankiewicza wykonano eksperymenty na modelach odgromników 40 kV firmy ASEA ze sterowaniem pojemnościowym lub ze sterowaniem rezystancyjnym oraz na odgromniku GZ/1,5 30 kV i na odgromniku 110 kV [9]. Mierzono statyczne i udarowe napięcia zapłonu przy różnym rozkładzie warstwy zabrudzeniowej na osłonie.

Do modelowania warstwy zabrudzeniowej zastosowano farbę półprzewodzącą o następującym składzie: 8% lakieru półprzewodzącego DAG 502 stosowanego do polepszania rozkładu napięcia w żłobkach maszyn elektrycznych, 40% kredy i 52% denaturatu. Tak przygotowana farba zapewniała powłokę o rezystywności powierzchniowej 9  $M\Omega$ . Wykazano, że przy nierównomiernym rozkładzie kondukcyjności

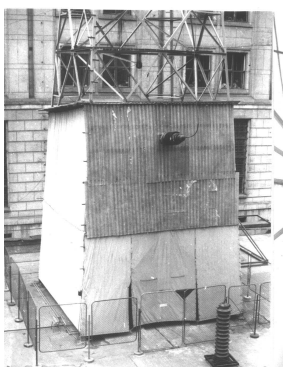
powierzchniowej na osłonie odgromnika zaworowego ze sterowaniem pojemnościowym lub rezystancyjnym, statyczne i udarowe napięcia zapłonu mogą obniżyć się o 24% - 33%. Na rysunku 4 pokazany jest odgromnik 110 kV podczas pomiarów napięcia zapłonu na hali wysokich napięć Politechniki Wrocławskiej.



Rys. 4. Pomiar napięcia zapłonu odgromnika 110 kV [9]

W pracy doktorskiej E. Sojda rozszerzył badania o pomiary zapłonu przy różnym rozkładzie warstwy zabrudzeniowej i udarach napięciowych o różnych czasach trwania czoła. Przyjmując uproszczony model elektryczny odgromnika, wyprowadzono wzory do obliczania napięć za pomocą metody potencjałów węzłowych i operatora  $s$ . Do rozwiązania równań napisano program komputerowy w języku konwersacyjnym JEAN [10].

Badania dotyczące zwiększenia odporności zabrudzeniowej odgromników kontynuowane były we współpracy z Zakładami Wytwórczymi Aparatury Rozdzielczej ZWAR. W tym celu w 1975 roku zbudowano przy budynku D-1 komorę umożliwiającą wykonywanie prób w słonej mgłę i wg. metody warstwy stałej (rys. 5). Przeprowadzono również próby metodą flow-on stosując do zabrudzania suspensję krzemionki Aerosil firmy Degussa. Pomiary metodą flow-on umożliwiają szybkie wyznaczenie wytrzymałowej konduktywności powierzchniowej przy której, przy napięciu trwałej pracy nie występuje zapłon iskierników.



Rys. 5. Komora do prób zabrudzeniowych [11]

Bardzo ciekawym rozwiązaniem był odgromnik z kłozkami schodkowymi według koncepcji Prof. J.I. Skowrońskiego (rys. 6). Wykazano, że odgromnik z kłozkami schodkowymi ma większą odporność na warunki zabrudzeniowe niż podobny odgromnik w obudowie z

kłozkami gładkimi. Wytrzymałowa konduktywność powierzchniowa odgromnika z kłozkami schodkowymi była czterokrotnie większa od konduktywności powierzchniowej wytrzymałowej odgromnika z kłozkami gładkimi (tab. 1). Autor wykazał również, że izolator z kłozkami schodkowymi charakteryzuje się wyższym napięciem przeskoku zabrudzeniowego nawet od izolatorów ze zmiennym wysięgiem kłozy. Przeprowadzono próby według metody słonej mgły i metody warstwy stałej w laboratorium EGU w Pradze i laboratorium FGH w Mannheim [13].

Tablica 1. Parametry odgromników z kłozkami gładkimi (A) i z kłozkami schodkowymi (C) oraz wyniki pomiaru konduktywności wytrzymałowej  $\kappa_w$  [12]

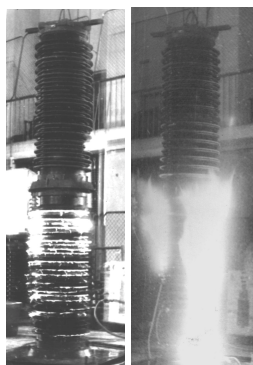
Model	U kV	L cm	H cm	D <sub>p</sub> cm	Liczba kłozy	$\kappa_w$ $\mu$
A	67	208	100	12	16	10
C	67	208	100	12	16	40

L – długość drogi upływu, H – wysokość części izolacyjnej, D<sub>p</sub> – średnica pnia



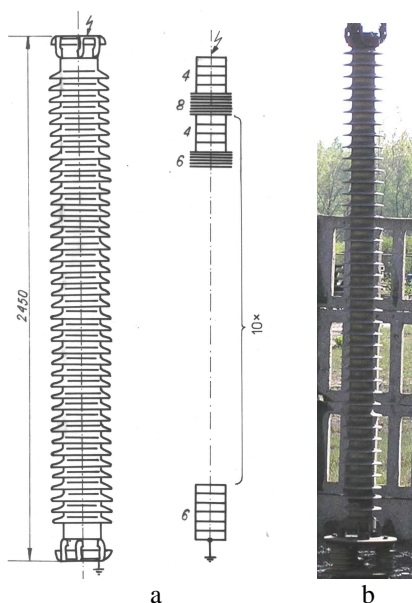
Rys. 6. Prof. Jerzy Ignacy Skowroński przy odgromniku z kłozkami schodkowymi

Podczas prób laboratoryjnych dwuczłonowych odgromników GZSMW o napięciu znamionowym 198 kV zaobserwowano zjawisko zapłonów częściowych i przeskoków częściowych. Po załączeniu napięcia na równomiernie zanieczyszczony odgromnik następuje rozwój wyładowań na obu członach. Po pewnym czasie może wystąpić zapłon iskierników np. członu górnego co powoduje zanik wyładowań zabrudzeniowych na tej części odgromnika (rys. 7a). W wyniku zwiększenia napięcia na członie dolnym, może wystąpić na nim częściowy przeskok zabrudzeniowy (rys. 7b). Na odgromnikach o mniejszej odporności zabrudzeniowej, zapłon częściowy w jednym członie powoduje zazwyczaj natychmiastowy zapłon w drugim członie. Zapłony częściowe w odgromnikach wieloczłonowych są przyczyną obniżenia ich odporności na zabrudzenia w stosunku do odgromników jednoczłonowych. Dlatego odgromniki jednoczłonowe są bardziej odporne na zabrudzenia. Produkcja długich osłon ceramicznych jest trudna ze względów technologicznych. Takie problemy nie występują przy wytwarzaniu osłon kompozytowych z rur szkło-epoksydowych z kłozkami z kauczuku silikonowego. Ponadto osłony polimerowe mają powierzchnię hydrofobową co wpływa na zwiększenie odporności zabrudzeniowej.



Rys. 7. Zapłon częściowy członu górnego (a) i przeskok częściowy na członie dolnym (b) [14]

Aby zbadać wpływ osłony polimerowej na odporność zabrudzeniową, postanowiono wykonać prototyp złożony z elementów wewnętrznych typowego odgromnika. Wybrano dwuczłonowy odgromnik zaworowy typu GZSb-96 o słabej odporności na warunki zabrudzeniowe. Odgromniki te nie mogą pracować w warunkach II strefy zabrudzeniowej bez dodatkowego silikonowania osłon. W 1983 wykonano osłonę kompozytową w Zakładzie Doświadczalnym Biura Studiów i Projektów Energetyki „Elektromontaż” w Poznaniu i w Instytucie Elektrotechniki Oddział Wrocław. Wewnątrz rozmieszczono równomiernie 10 segmentów składających się z 4 warystorów SiC i 6 iskierników z rezystorami sterującymi (rys. 8).



Rys. 8. Prototypowy odgromnik GZSbk-96 w osłonie polimerowej, a - szkic konstrukcyjny ze schematem rozmieszczenia elementów wewnętrznych [14], b – odgromnik na stacji prób w Hucie Miedzi Głogów

Wyniki badań laboratoryjnych prototypowego, jednoczłonowego odgromnika GZSbk-96 oraz dwuczłonowego odgromnika GZSb-96 w osłonach porcelanowych przedstawia tablica 2.

Tablica 2. Wyniki badań ogranicznika iskiernikowego w osłonach porcelanowych i w osłonie polimerowej [14].

Typ odgromnika	Statyczne napięcie zapłonu kV	Krytyczne stężenie solanki	
		U kV	g/l
GZSb-96	200	95	2,5
		64	2,5
GZSbk-96	203	95	28

Po próbach laboratoryjnych, jednoczłonowy odgromnik w osłonie polimerowej GZSbk-96 został zamontowany na stacji prób w Hucie Miedzi Głogów w listopadzie 1984. Po kilku latach bezawaryjnej pracy pod napięciem 70 kV odgromnik został odłączony spod napięcia lecz nadal znajduje się na stacji.

## 5. BADANIA OGRANICZNIKÓW ZnO

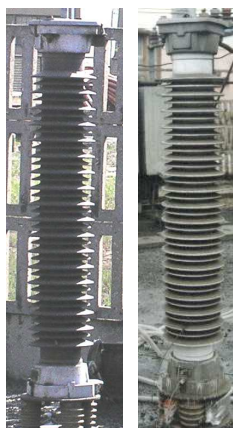
Po zmontowaniu odgromnika GZSbk-96 w osłonie polimerowej Jerzy Lisiecki przystąpił do badania charakterystyk warystorów tlenkowych produkowanych przez wrocławską firmę Pelelectric i Instytut Elektrotechniki, Oddział Wrocław. Za pomocą specjalnie zbudowanego generatora udarowego zmierzono napięcia obniżone warystorów przy prądach do 400 A [15]. W ramach pracy dyplomowej Andrzeja Kubaszczyka zbudowano modele ograniczników tlenkowych i poddano je próbom udarowym przy różnym rozkładzie zanieczyszczeń na osłonie. Planowano również zmontować ogranicznik beziskiernikowy w osłonie polimerowej i testować go na stacji prób w Hucie Miedzi Głogów. Plany te nie zostały jednak zrealizowane ponieważ w tym czasie nie opanowano w Polsce produkcji warystorów o średnicy 55-75 mm. Firma Pelelectric produkowała warystory o średnicy zaledwie 30 mm.

W latach 1988-1989 autor prowadził badania ograniczników beziskiernikowych na Uniwersytecie w Stuttgarcie jako stypendysta Fundacji A. Humboldta. Obiektami badań były dwa dwustopniowe ograniczniki beziskiernikowe w osłonach porcelanowych o napięciu trwałej pracy 136 kV szwajcarskiej firmy Brown Boveri. Dysponowano również 16 kanałowym rejestratorem do pomiaru prądów wewnętrznych i zewnętrznych oraz temperatury. Dzięki światłowodom możliwy był pomiar prądów członu górnego ogranicznika a także pomiar temperatury w środku kolumny warystorów każdego członu. Po przeprowadzeniu podstawowych badań na pojedynczym członie autor wykrył efekt sprzężeń pojemnościowych przy napięciu roboczym i podczas zapłonów łuków na zabrudzonej osłonie oraz związany z nim efekt termiczny. Wykryto również intensywne wyładowania niepełne wewnątrz ogranicznika nazwane przez autora „internal arcing”. Zbadano wpływ położenia i szerokości pojedynczej strefy suchej na osłonie. Zaproponowano metodę badania odporności ograniczników na wewnętrzne wyładowania niepełne i rozpoczęto badania wpływu wyładowań niepełnych na warystory tlenkowe. Wyniki te zostały opublikowane w [16-18].

Po powrocie do Polski autor przeprowadził badania starzeniowe warystorów i ograniczników 6 kV firmy Pelelectric. Za pomocą specjalnie zbudowanego generatora



możliwe było uzyskanie prądu o amplitudzie 40 kA [19]. Na początku lat 1990-tych firma ZWAR opanowała technologię produkcji warystorów tlenkowych o średnicy 55 i 70 mm. Uruchomiono produkcję ograniczników GXAS 96. W ramach grantu Komitetu Badań Naukowych autor przeprowadził próby tych ograniczników wg. metody stonej mgły i metody warstwy stałej w komorze przedstawionej na rysunku 5. Zaobserwowano wcześniej już znane z badań w Stuttgarcie, zjawisko tworzenia się stabilnych, skoncentrowanych wyładowań na osłonie ogranicznika [20]. Zakupiono rejestrator CPI-1 norweskiej firmy TransiNor do pomiaru ładunku wewnętrznego i zewnętrznego. Zbudowano model elektryczny ogranicznika za pomocą programu PSPICE [21].



Rys. 9. Ograniczniki GXAS na stacji prób w Hucie Miedzi Głogów

Następnie trzy ograniczniki GXAS zostały poddane długotrwałym próbom na stacji w Hucie Miedzi Głogów, na stanowisku wykorzystywanym wcześniej przez J. Lisieckiego i E. Sojda (rys. 9). Do pomiaru temperatury zastosowano sondy Tinytalk firmy Gemini Data Loggers. Obecnie na stacji przeprowadzane są próby prototypowych ograniczników wyprodukowanych w firmie APATOR. Ograniczniki przepięć opisane zostały w monografii autora [22].

## 6. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI IZOLATORÓW PRZY UDARACH PIORUNOWYCH

Napięcie przeskoku łańcucha czystych izolatorów kołpakowych jest niższe przy biegunowości dodatniej udaru. Jednakże przy izolatorach zabrudzonych lub w próbach pod sztucznym deszczem może wystąpić efekt odwrotny. Przy biegunowości ujemnej wytrzymałość może być mniejsza o około 10% od wytrzymałości przy biegunowości dodatniej [23, 24]. Eksperymenty przeprowadzone przez autora w komorach klimatycznych Uniwersytetu Stuttgart i Uniwersytetu Cottbus wykazały, że tzw. efekt odwrócenia biegunowości można otrzymać przy izolatorach zabrudzonych nierównomiernie. Za pomocą układów modelowych można wykazać, że zjawisko to powodowane jest przez efekt wytrzymałości strefy suchej przy kołpaku, podobnym do efektu biegunowości w iskiernikach o słabej niejednorodności pola elektrycznego.

Bardzo dużo przeskoków na liniach średnich napięć spowodowanych jest nie tylko przez bezpośrednie trafienie pioruna w linię ale także przez przepięcia indukowane w

wyniku tzw. bliskich uderzeń. Na trakecji elektrycznej PKP w ciągu roku występuje około 600 przeskoków wywołanych przez pioruny [25]. Obliczenia liczby przeskoków przeprowadzono zakładając wytrzymałość czystych izolatorów. Jednak przy intensywnym zabrudzeniu wytrzymałość udarowa izolatorów może ulec dwukrotnemu zmniejszeniu [26].

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Chrzan K.L., Marciniak R., History of lightning protection in Poland. Int. Conference on Lightning Protection ICLP, Cracow 2002, pp. 695-699
2. Scheibel J.E., Von dem Erfolg der im Jahre 1790 zu Breslau geschehenen Vorrichtung eines Blitzableiters am Thurm der Kirche zu St. Elisabeth. Breslau 1794, starodruk, Uniwersytet Wrocławski, Gabinet Śląsko-Łużycki
3. Żerański T., Ks. Józef Herman Osiński, pierwszy elektryk polski. Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 16, 1934, Nr 14, s. 449-452
4. Lisiecki J., Ochrona przed wyładowaniami atmosferycznymi nowoprojektowanego budynku obserwatorium PIHM i schroniska na Śnieżce. Opracowanie wykonane w Zakładzie Techniki Wysokich Napięć Politechniki Wrocławskiej, 1966
5. Chrzan K.L., Hartono Z.A., Nieskuteczność piorunochronów aktywnych ESE w warunkach laboratoryjnych i polowych. Wiadomości Elektrotechniczne, Vol. 71, Nr 3, 2003, s. 99-101
6. Chrzan K.L., Franklin rods – sharp or blunt ? 2<sup>nd</sup> Int. Conference on Advances in Processing, Testing and Applications of Dielectric Materials APTADM, Wrocław 2004, pp. 217-220
7. Szpor S., Wiśniewski A., Series of impulse tests showing the efficacy of the surface terminals of lightning rods. Archiwum Elektrotechniki, No. 4, 1970, pp. 749-755
8. Chrzan K.L., Awaryjność ograniczników przepięć. Konferencja Ochrona Przeciwpzepięciowa Sieci Energetycznych za pomocą Ograniczników Przepięć. Poznań 2007, s. 13-16
9. Sojda E., Stankiewicz R., Wpływ zabrudzeń na działanie odgromników zaworowych. Praca dyplomowa, promotor Prof. J.I. Skowroński, Politechnika Wroclawska 1969
10. Sojda E., Rozkład napięcia w odgromniku zaworowym a jego charakterystyki zapłonowe przy zwiększonej upływności powierzchniowej. Praca doktorska, Politechnika Wroclawska 1977
11. Lisiecki J., Sojda E., Wpływ rodzaju osłony na konduktywność wytrzymawaną odgromników zaworowych. Raport Instytutu Podstaw Elektrotechniki I Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, Nr I-7 R/93, 1975
12. Lisiecki J., Sojda E., Wpływ rodzaju osłony na konduktywność wytrzymawaną odgromników zaworowych. Konferencja Optymalizacja Doboru Materiałów I Rozwiązań Konstrukcyjnych Wysokonapięciowej Izolacji Napowietrznej. Gliwice 1980, s. 169-174

13. Chrzan K.L., Vokalek J., Sklenicka V., Ptrusch W., Kindersberger J., Pollution flashover of long rod insulators with different profiles. 13<sup>th</sup> Int. Symposium on High Voltage Engineering, Delft 2003
14. Lisiecki J., Sojda E., Odgromniki zaworowe w oslonach z tworzyw sztucznych. Konferencja Izolacja Wysokonapięciowa w Elektroenergetyce, Szklarska Poręba 1986, s. 173-180, ISSN 0324-9441
15. Lisiecki J., Badania charakterystyk napięciowo-prądowych warystorów tlenkowych, Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej, Raport SPR Nr 155, 1984
16. Chrzan K., Koehler W., Feser K., Behaviour of zinc oxide surge arresters. Int. Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans 1989, paper 26.01
17. Feser K., Koehler W., Qiu D., Chrzan K., Behaviour of zinc oxide surge arresters under pollution. IEEE Trans. on Power Delivery, April 1991, pp. 688-694
18. Chrzan K., Koehler W., Internal arcing test on polluted high voltage surge arresters. In. Symposium on High Voltage Engineering, Graz 1995, paper 3220
19. Chrzan K.L., Wróblewski Z., Degradation and destruction of ZnO varistors caused by currents pulses. Int. Conf. on Advances in Processing, Testing and Application of Dielectric Materials APTADM, Wrocław 2001, pp. 217-220
20. Chrzan K.L., Moro F., Concentrated discharges and dry bands on polluted outdoor insulators. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, 2007, pp. 466-471
21. Chrzan K., Grzybowski S., Koehler W., Pollution performance of 110 kV metal oxide arresters. IEEE Trans on Power Delivery, April 1997, pp. 728-733
22. Chrzan K.L., Wysokonapięciowe ograniczniki przepięć. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003
23. Chrzan K.L., Wytrzymałość łańcuchów izolatorów kołpakowych przy udarach łączeniowych. Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 82, Nr 5, 2006, s. 80-84
24. Chrzan K.L., Wytrzymałość izolatorów kołpakowych przy udarach piorunowych. Artykuł zaakceptowany do druku w Wiadomościach Elektrotechnicznych
25. Chrzan K.L., Narażenie zabrudzeniowe i przepięciowe izolatorów trakcyjnych PKP. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 144, 2007, s. 103-117
26. Chrzan K.L., Wytrzymałość izolatorów trakcyjnych przy udarach piorunowych. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 2008



**mgr inż. Jerzy Lisiecki, 1925-2008**

Urodził się 6.01.1925 r. w Rogowie. Żołnierz Armii Krajowej, studiował na Politechnice Wrocławskiej na Wydziale Elektrycznym od 1946 r. pracując jednocześnie od 1949 na etacie dydaktycznym. Pełnił funkcję seniora budowy gmachu Wydziału Elektrycznego D-1, projektant Hali Wysokich Napięć. Kierował kompleksową modernizacją Zakładu Wysokich Napięć w latach 1975-1978. Projektował aparaturę wysokonapięciową, m.in. transformator 160 kV, 300 kVA do prób zabrudzeniowych, transformator 200 kV do diagnostyki ograniczników przepięć, generator DC 2 MV. Autor 11 patentów, współautor 5 skryptów z techniki wysokich napięć i miernictwa wysokonapięciowego.



**dr inż. Edward Sojda, 1941-2002**

Urodził się 8.09.1941 we Lwowie. Odbył zasadniczą służbę wojskową, studiował na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej w latach 1964-1969. Napisał magisterską pracę dyplomową "Wpływ zabrudzeń na działanie odgromników zaworowych" pod kierunkiem Prof. J.I. Skowrońskiego. Badania odgromników kontynuował w ramach pracy doktorskiej zakończonej w 1977. Przez wiele lat współpracował z Zakładami Wytwórczymi Aparatury Rozdzielczej ZWAR i Jerzym Lisieckim nad optymalizacją konstrukcji odgromników zaworowych. W latach 1990-tych zajmował się zagadnieniem kompatybilności elektromagnetycznej. Działał w Związku Zawodowym "Solidarność". Odznaczony Złotym Krzyżem Zasługi.

## **LIGHTNING PROTECTION RESEARCH CARRIED OUT AT WROCLAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Key words:** gapped surge arresters, metal oxide surge arresters, early streamer emission terminals

The first installation of Franklin rods in Kingdom of Poland and in Silesia Province were listed. The investigation of Franklin rods efficacy and inefficacy of early streamer emission terminals were shown. The most important achievements in the research of pollution resistance of gapped and gapless surge arresters was reported. The measurements of lightning flashover voltage of polluted insulators were described.