



Romuald WŁODEK

Przewodniczący Komitetu Naukowego Sympozjum EUI2005

## Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia - wprowadzenie

**Streszczenie** W artykule przedstawiono przegląd aktualnych zagadnień dotyczących eksploatacji w elektroenergetyce, ze szczególnym uwzględnieniem problemów urządzeń elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Są nimi problemy zarządzania ruchem w aspekcie współczesnych wymagań niezawodnościowych wraz z zagadnieniami diagnostyki, modelowanie narażeń eksploatacyjnych oraz problemy nowych materiałów i konstrukcji.

**Abstract: (Problems of the high voltage insulating systems exploitation - introduction).** Paper presents the review of actual problems concerning the exploitation in power systems, particularly the high voltage power arrangements. They are the problems of operation maintenance with regard to actual reliability requirements together with the problems of diagnostic, modelling of exploitation exposures and problems of new materials and constructions.

**Słowa kluczowe:** urządzenia elektroenergetyczne wysokiego napięcia, diagnostyka, nadzór eksploatacyjny, narażenia eksploatacyjne, materiały izolacyjne

**Keywords:** high voltage power arrangements, diagnostic, operation maintenance, exploitation exposures, insulating materials

Elektroenergetyka na świecie i w kraju znajduje się obecnie w okresie zasadniczych przemian o charakterze strukturalno-organizacyjnym i technicznym. Ich inspiracją są przekształcenia własnościowe, dążność do rozwoju energetyki rozproszonej, wymagania odnośnie pewności dostawy energii jako towaru i inne. Nadażać za nimi muszą rozwiązania techniczno-organizacyjne i rozwój nowych konstrukcji urządzeń przesyłowych i rozdzielczych, ograniczając tutaj zagadnienia tylko do nich. W grupie zagadnień techniczno-organizacyjnych mieszczą się szeroko rozumiane problemy zarządzania i nadzoru eksploatacyjnego zaś rozwój nowych konstrukcji urządzeń zmierza przede wszystkim do zwiększenia ich niezawodności przy coraz precyzyjniej i nowocześniej formułowanych narażeniach. Zagadnienia te są reprezentowane na niniejszym Sympozjum i wykazują zarówno nawiązanie do poprzednich sympozjów tej grupy jak i pojawianie się nowych tematów.

Do prowadzenia ruchu i całości z tym związanych zagadnień eksploatacyjnych służą obecnie nowoczesne systemy sterowania, obejmujące nadzór, dyspozycję i diagnostykę. Przykład takiego systemu wprowadzanego w Zakładzie Elektroenergetycznym Kraków przedstawiony jest wraz z próbą sformułowania wniosków dla przyszłych założeń projektowych i realizacyjnych. Natomiast nieuniknione zagadnienie wymiany wyeksploatowanych urządzeń nasuwa problem optymalizacji tej procedury. Odpowiednia propozycja metodyki, w zastosowaniu do linii kablowych średnich napięć jako urządzeń wykazujących szczególną potrzebę uporządkowania tych działań, jest przedstawiona w innym referacie jako problem reinwestycji uwzględniających wzrost intensywności uszkodzeń kabli w toku ich eksploatacji. Z kolei z innego punktu widzenia przedstawione zostało zagadnienie wyznaczania optymalnych czasów użytkowania linii kablowych, zakładając roczne zdyskontowane koszty ich pracy wraz z zawodnością. Prezentowane są przykłady opracowań parametrów niezawodnościowych linii kablowych średnich napięć na podstawie obszernych danych eksploatacyjnych. Diagnostyka urządzeń elektroenergetycznych narażonych na działanie różnych czynników o charakterze losowym może zostać rozszerzona o analizę matematyczną otrzymanych danych. Może do tego celu zostać

zastosowana teoria procesów losowych Markowa w postaci modeli matematycznych będących podstawą symulacji dyspozycyjności urządzenia w czasie. Jako przykład różnych strategii zarządzania ryzykiem przedstawione są z kolei dwa podejścia w zastosowaniu do transformatorów rozdzielczych. Przechodząc do bardziej ogólnego podejścia, wzrost niezawodności urządzeń można osiągnąć nie tylko w drodze ich wymiany na nowe, lecz również stosując dokładniejsze metody analizy, na przykład analizy wielokryterialnej. Natomiast bezpieczeństwo obsługi w eksploatacji urządzeń stanowi z jednej strony temat ryzyka zawodowego pracowników, z drugiej zaś inspiruje rozwój nowoczesnych metod pracy aż do zastosowań robotów. Innym zagadnieniem jest konieczność uwzględnienia współczesnych wymagań ekonomicznych w eksploatacji urządzeń już na etapie projektowania konfiguracji sieci. Przykłady modeli matematycznych i konkretnych rozwiązań są tematem prezentowanym w programie Sympozjum.

Naturalnym i ważnym elementem procedur eksploatacyjnych są różne metody i postępowania diagnostyczne. W diagnostyce wysokonapięciowej wyróżnia się obecnie następujące kierunki rozwoju: badania dostarczające uzasadnień fizykalnych i interpretacji dla konkretnych metod pomiarowych, aplikacje nowych urządzeń, wspomaganých komputerowo a w szczególności włączonych do systemu monitoringu pracy urządzenia elektroenergetycznego oraz opracowywanie optymalnych procedur postępowania diagnostycznych w zależności od strategii eksploatacji danego urządzenia. Wszystkie wymienione tematy są reprezentowane w referatach na Sympozjum. Metody wykorzystujące charakterystyki częstotliwościowe opisane są w zastosowaniu do badań zarówno izolacji polimerowej jak i papierowej nasyconej i skorelowane z niektórymi efektami procesów starzeniowych. Charakterystyki czasowe odpowiedzi materiału izolacyjnego (relaksacja dielektryczna) przedstawione są w klasycznym zastosowaniu do transformatorów energetycznych. Metoda pomiaru napięcia powrotnego znalazła już realizację techniczną w formie profesjonalnych urządzeń pomiarowych. Rozwijają się podstawy fizykalne zjawisk relaksacyjnych, weryfikując różne modele teoretyczne reakcji struktury materiału na wymuszenie polowe oraz opracowując otrzymany sygnał do

postaci przydatnej w warunkach praktycznych. Wyładowania niezupełne i ich aplikacje w diagnostyce, w szczególności metodą akustyczną, rozwijane są zwłaszcza w zastosowaniu do transformatorów, gdzie możliwości lokalizacji źródła wyładowań wykazują zaletę praktyczną. Metody opracowania sygnałów znajdują tutaj zastosowanie z jednej strony w celu możliwie adekwatnej interpretacji przyczyn wyładowań (np transformata falkowa), z drugiej do eliminacji zakłóceń (np sieci neuronowe). Do detekcji defektów mechanicznych w uzwojeniach transformatorów służy metoda odpowiedzi na wymuszenie napięciowe, w której ogólne podstawy, adaptowane np. z teorii sterowania zostały już w zadowalającym stopniu zweryfikowane. Na uwagę zasługuje doprowadzone już do postaci technicznej zastosowanie termowizji w kontroli wielu urządzeń elektroenergetycznych. Opisy i jej możliwości są przedmiotem referatów.

Obszerne są materiały Sympozjum, dotyczące praktyki eksploatacyjnej kilku podstawowych grup urządzeń i obiektów elektroenergetycznych. Jest charakterystyczne, że wzorem poprzednich Sympozjów, również obecnie Autorzy starają się wykorzystywać referowane dane eksperymentalne do prób wniosków uogólniających oraz wskazań zmian konstrukcyjnych i/lub usprawnień technologicznych.

Obszerne reprezentowana jest tematyka linii napowietrznych, w szczególności narażeń eksploatacyjnych elektrycznych, atmosferycznych i mechanicznych izolatorów w liniach napowietrznych zarówno elektroenergetycznych jak i trakcyjnych. Analizowane są różne sposoby zwiększania odporności izolatorów kompozytowych na te narażenia a w odniesieniu do izolatorów porcelanowych prezentowane są wyniki badań destrukcji mechanicznej i opisy aktualnych modeli teoretycznych oraz metod detekcji defektów. Stosowane w liniach napowietrznych dwa systemy transmisji informacji (przewody ADG i OPGW) są przedmiotem referatów, opisujących odmienne problemy narażeń eksploatacyjnych występujących w tych systemach. Kompleksowo przedstawione są problemy projektu nowej linii napowietrznej 400 kV Tarnów-Krosno ze szczególnym uwzględnieniem konstrukcji izolatorów. Znaczenie niezawodności osprzętu linii jako warunku niezawodności izolacji oraz model cyklicznych narażeń mechanicznych pozwalają na szersze ujęcie tej ważnej tematyki linii napowietrznych wysokich napięć. Statystyka awaryjności przykładowych linii z analizą przyczyn dopełnia informacje z bieżącej praktyki eksploatacyjnej.

Wzrastająca rola linii kablowych i konstrukcji kabli w związku z rozwojem sieci elektroenergetycznych zaopatrujących duże aglomeracje miejskie znajduje odbicie w referatach, zarówno prezentujących postęp badań aktualnych materiałów izolacyjnych, przede wszystkim polietylenu sieciowanego, jak i zagadnień budowy linii kablowych. Badania materiałowe zmierzają do możliwości zwiększenia roboczego natężenia pola elektrycznego z korzystnymi konsekwencjami w zakresie wymiarowania kabli, natomiast problemy budowy linii obejmują takie zagadnienia, jak zmniejszenia strat w elementach konstrukcyjnych kabla lub możliwości zwiększenia obciążalności prądowej przez dokładniejsze poznanie termodynamiki w gruncie otaczającym kabel. Odporność kabli na działanie płomienia jest problemem zarówno materiałowo-konstrukcyjnym jak i badawczym i taki wyraz znalazła w jednym z referatów. Natomiast wizja zastosowania materiałów nadprzewodnikowych wraca znów w szczególności w odniesieniu do kabli.

Tematyka transformatorów energetycznych obejmuje podstawowe dla tych obiektów problemy wiarygodnej diagnostyki w eksploatacji różnymi metodami elektrycznymi i chemicznymi, działania narażeń przepięciowych i ich modelowania, sposobów kontroli i zwiększenia obciążalności transformatorów wraz z kompleksem zagadnień cieplnych oraz nowych metod badań i ich normalizacji.

Układy izolacyjne z zastosowaniem SF<sub>6</sub> inspirują obecnie do rozwoju kilku tematów, jak diagnostyka, która w odniesieniu do tych bardzo ważnych obiektów ma duże znaczenie, możliwości stosowania gazów zastępczych oraz problemy skutecznej utylizacji SF<sub>6</sub> po wycofaniu urządzeń z eksploatacji, ważne ze względu na wymogi ochrony środowiska.

Obszerne reprezentowana jest tematyka przepięć i koordynacji izolacji zarówno w aspekcie ogólnym jak i w odniesieniu do konkretnych urządzeń. Dominują tu z jednej strony zagadnienia modelowania matematycznego różnych rodzajów przepięć, w szczególności atmosferycznych oraz przedstawianych jako znaczące przepięć typu ferorezonansowego, z drugiej zaś zapewnienia skuteczności działania ograniczników przepięć. Zwrócono uwagę na zagadnienie odporności izolacji napowietrznej na strome przepięcia generowane podczas wybuchów jądrowych jako element kompleksu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju na wypadek takich zdarzeń.

Towarzyszące działaniu urządzeń elektroenergetycznych pola elektromagnetyczne są nie tylko źródłem niepokoju ze względu na możliwość działań na organizmy ludzkie, ale i przyczyną poważnych zakłóceń w przypadku na przykład sprzężeń sąsiadujących linii. Są to problemy referowane w programie Sympozjum. Towarzyszą im zagadnienia modelowania matematycznego i opisu konfiguracji pól w szczególności w liniach i stacjach. Dla celów kontrolnych zaprojektowano i zbudowano wskaźnik pola elektrycznego w sąsiedztwie urządzeń elektroenergetycznych, oparty na ciekłokrystalicznym sensorze pola.

Spośród problemów fizykalnych przedstawiono zagadnienie wytrzymałości elektrycznej cieczy magnetycznych w obecności pól elektrycznych i magnetycznych. Eksperymentalne badania będą zapewne źródłem spekulacji teoretycznych.

Program obecnego Sympozjum nie tylko kontynuuje i rozwija zagadnienia praktyczne i teoretyczne poprzedniego, ale i wnosi do nich nowe elementy.

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na ewolucję, jaka odbyła się w profilu serii tych Sympozjów organizowanych przez zespół z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie począwszy od pierwszego w 1972 w Krościenku. Ówczesna tematyka aplikacji metod detekcji i przetwarzania sygnałów inspirowała badania mechanizmów wyładowań niezupełnych jako głównego źródła narażeń elektrycznych, przechodząc następnie do kompleksowych procesów starzeniowych w różnych układach izolacyjnych i metod kwalifikacji stanu urządzeń, by w latach ostatnich ująć te zagadnienia jako element szeroko rozumianych procedur eksploatacyjnych urządzeń elektroenergetycznych.

---

**Autor:** prof. dr hab. inż. Romuald Włodek, Przewodniczący Komitetu Naukowego X Sympozjum „Problemy Eksploatacji Układów Izolacyjnych Wysokiego Napięcia” – EUI’2005, E-mail: [gewlodek@cyf-kr.edu.pl](mailto:gewlodek@cyf-kr.edu.pl)