



Jerzy Bielecki\*

## **PORÓWNANIE ZNORMALIZOWANYCH METOD WYKONYWANIA PRÓB MECHANICZNYCH IZOLATORÓW CERAMICZNYCH I KOMPOZYTOWYCH**

**Streszczenie:** Próby wytrzymałości mechanicznej są jednym z podstawowych kryteriów kwalifikacji elektro-energetycznych izolatorów wysokonapięciowych do określonych zastosowań. Należą one do programu każdego rodzaju badań. Podawane dotychczas w polskich normach metody wykonywania prób mechanicznych dotyczyły przede wszystkim izolatorów porcelanowych i — w niewielkim stopniu — izolatorów z tworzyw organicznych. Coraz większe zainteresowanie wprowadzaniem do eksploatacji izolatorów kompozytowych spowodowało konieczność opracowania norm polskich obejmujących i ten rodzaj izolatorów. Podany w nich sposób przeprowadzania prób mechanicznych różni się od metod stosowanych do izolatorów ceramicznych. Poprawne wykonanie tych prób jest jednak niezbędne do właściwej oceny izolatorów kompozytowych.

**Słowa kluczowe:** izolator, badania, próba mechaniczna, norma

### **1. Wstęp**

Wraz z rozwojem techniki wysokich napięć i postępem w technologii wytwarzania materiałów elektrotechnicznych zmieniały się także konstrukcje stosowanych w sieciach izolatorów. O kształcie i właściwościach izolatorów decydowało coraz więcej czynników zależnych od parametrów linii, stacji czy urządzenia. Nie wystarczała już znajomość typowych parametrów elektrycznych i mechanicznych izolatora — zaczęto zwracać uwagę na przydatność izolatora do eksploatacji w warunkach o dużej intensywności zanieczyszczeń, uwzględniać konieczność jego odporności na nagłe zmiany temperatury czy też możliwość emisji zakłóceń radioelektrycznych. W wyniku tego

---

\* Instytut Energetyki, Warszawa

powstały różnorodne konstrukcje, jak chociażby tzw. izolatory przeciwbudzeniowe, czy izolatory ze szklivem półprzewodzącym, albo izolatory kompozytowe.

Wytrzymałość mechaniczna izolatora była zawsze jednym z podstawowych kryteriów kwalifikacji izolatora do określonych warunków pracy, decydowała o niezawodności układu i bezpieczeństwie obsługi. Zapewnienie w całym okresie eksploatacji izolatora wymaganej wytrzymałości mechanicznej stanowiło i nadal stanowi przedmiot działań konstruktorów i technologów, gdyż w głównej mierze ten właśnie parametr świadczy o jakości produkcji. Nic więc dziwnego, że tę właściwość starano się dość szybko znormalizować podając wiele wariantów możliwych obciążeń, a jednocześnie — w miarę zdobywania nowych doświadczeń — wymagania normatywne stale uaktualniano i modyfikowano. Opracowano w ten sposób całą grupę wymaganych właściwości mechanicznych izolatorów, które następnie sprawdza się wykonując odpowiednie próby.

Na przykładzie izolatorów liniowych wiszących można prześledzić systematyczne i konsekwentne dążenie do takiego ujęcia postanowień normy, aby informacje uzyskane na podstawie prób wytrzymałości mechanicznej (choć nie tylko), dały podstawę do optymalnego zastosowania danego typu izolatora.

Należy jednak zaznaczyć, że metody prób mechanicznych izolatorów ceramicznych różnią się zasadniczo od takich prób wykonywanych na izolatorach kompozytowych — ich porównanie stanowi temat poniższych rozważań.

Obchodząc w tym roku 75-lecie działalności Polskiego Komitetu Normalizacyjnego warto także pamiętać, że polskie normy z zakresu izolatorów były zawsze w dużym stopniu zgodne z wymaganiami międzynarodowymi IEC, choć dostęp do tych publikacji nie zawsze był łatwy i przed laty nie stosowano metody pełnego tłumaczenia.

## **2. Próby mechaniczne liniowych izolatorów ceramicznych kołpakowych**

Jeszcze na początku lat siedemdziesiątych produkowano w Polsce ceramiczne izolatory liniowe kołpakowe (były to tzw. konstrukcje przebijalne), mimo że już od końca lat pięćdziesiątych (na szerszą skalę — z początkiem lat sześćdziesiątych) były one zastępowane izolatorami pełnopniowymi (tzw. nieprzebijalnymi).

W ówczesnych normach (dziś już nieaktualnych) przyjmowano, ze zrozumiałych względów, inny program prób dla izolatorów kołpakowych, a inny dla izolatorów pełnopniowych.

Wymagania mechaniczne podane dla izolatorów kołpakowych typu LK w normie (tzw. przedmiotowej) PN-61/E-91051 obejmowały:

- wytrzymałość mechaniczną (praktycznie — elektromechaniczną) 1-roczną,
- wytrzymałość mechaniczną 24-godzinną,
- wytrzymałość elektromechaniczną 1-minutową,
- wytrzymałość mechaniczną (znamionową),
- probiercze obciążenie mechaniczne przy próbie pospolowej (dzisiaj mówimy: w mechanicznej próbie wyrobu).

Każda z podanych wielkości miała inną wartość (największą — wytrzymałość znamionowa) i dotyczyła obciążenia rozciągającego. Metody sprawdzania osiągnięcia tych wymagań wynikały z charakteru rozciąganego materiału, jakim jest porcelana; materiał kruchy nie wydłużający się w czasie przykładania obciążenia. Do pozytywnej oceny wyniku próby wystarczyło, że „izolator próbę wytrzymał, jeżeli została osiągnięta wartość znamionowej wytrzymałości mechanicznej bez zniszczenia izolatora”. Stosowano alternatywną ocenę wyników próby, a zwiększanie obciążenia aż do zniszczenia izolatora stanowiło jedynie dodatkową informację. Przy próbie elektromechanicznej nie powinno ponadto wystąpić przebicie, a po próbie 24-godzinnej izolatory poddawano „sprawdzającej próbie napięciowej w ciągu 1 minuty”. Opis tych prób znajdował się w jeszcze starszej normie — PN-57/E-06302.

Normę na izolatory kołpakowe znowelizowano w 1971 r. (PN-71/E-91051) i choć nie ma ona praktycznego zastosowania, a powołane w niej normy dawno już nie istnieją lub zostały znowelizowane — jest formalnie nadal aktualna (w programie prac NKP nr 76 ds. Izolatorów jest opracowanie nowej normy PN jako tłumaczenia IEC 305:1995). W normie tej nie występuje już wytrzymałość 1-rocza (zgodnie z zaleceniem IEC), ani znamionowa wytrzymałość mechaniczna, natomiast zaostrożono wymagania dotyczące wytrzymałości elektromechanicznej. Metody badań przyjęto według normy PN-66/E-06308, którą po jeszcze dwóch nowelizacjach, anulowano w 1997 r.

Izolatorów kołpakowych nie produkuje się w Polsce już od ponad 25 lat i nie planuje się w najbliższych latach wznowienia ich produkcji. Zdarzają się jednak przypadki importu tych izolatorów (zwłaszcza szklanych). Wydaje się więc, że zastąpienie normy PN-71/E-91051 normą PN-IEC 305 powinno nastąpić jak najszybciej.

### **3. Próby mechaniczne liniowych izolatorów ceramicznych pełnopniowych**

Na początku lat siedemdziesiątych, izolatory liniowe wiszące o konstrukcji nieprzebijalnej czyli tzw. pełnopniowe (pniowe, długopniowe) wyparły całkowicie z krajowej produkcji izolatory kołpakowe (produkowano jeszcze przez jakiś czas izolatory kołpakowe do kolejowej trakcji elektrycznej 3 kV prądu stałego).

Próby mechaniczne wykonywane na tych izolatorach sprowadzały się (i sprowadzają nadal) jedynie do:

- próby obciążeniem probierczym (w badaniach wyrobu) i
- próby wytrzymałości mechanicznej (w badaniach typu i w badaniach kontrolno-odbiorczych)

Pierwsza norma ogólna dotycząca wyłącznie izolatorów liniowych powstała w 1966 r. (PN-66/E-06308). Podane w niej metody wykonywania prób mechanicznych wynikały również z charakteru porcelany jako materiału kruchego: wystarczyło, że izolator wytrzymał obciążenie znamionowe lub probiercze, aby wynik próby uznać za dodatni. Takie postanowienia zawierała także znowelizowana wersja powyższej normy — PN-76/E-06308.

Zmianę podejścia do próby wytrzymałości mechanicznej wprowadzono przy kolejnej nowelizacji normy w 1990 r. (PN-90/E-06308). Wprowadzono wtedy (zgodnie z zaleceniami IEC i badaniami krajowymi) liczbową ocenę próby mechanicznej. Metoda ta wymaga doprowadzenia do zerwania części ceramicznej podczas próby i zastosowania do uzyskanych wyników metod statystycznych.

Obecna norma PN-IEC 383-1:1997, zastępująca PN-90/E-06308, nie zmienia zasadniczo metody próby wytrzymałości mechanicznej (podaje więcej szczegółów dotyczących podnoszenia obciążenia i obliczeń statystycznych), ale za to w mechanicznej próbie wyrobu zwiększa obciążenie probiercze do 80% znamionowej wytrzymałości mechanicznej izolatora (w poprzedniej normie było to jedynie zalecenie).

Nie wdając się w analizę pewnych szczególnych przypadków występujących podczas prób wytrzymałości mechanicznej np. zerwanie się okucia zamiast części ceramicznej, można powiedzieć, że metody ich wykonywania są praktycznie zrozumiałe i przy badaniu izolatorów dobrej jakości (co dzisiaj jest niemal powszechne), nie nastroczają specjalnych kłopotów.

Pilnego znowelizowania wymagają jednak normy wyrobu (kiedyś nazywane przedmiotowymi), w których powoływano się na normę PN-90/E-06308. Przede wszystkim dotyczy to normy na liniowe izolatory długopniowe PN-90/E-91056, którą jak najszybciej należałoby zastąpić tłumaczeniem międzynarodowej normy IEC 433:1998.

#### 4. Próby mechaniczne izolatorów kompozytowych

Izolatory kompozytowe zaczęto wprowadzać do eksploatacji w różnych krajach świata około trzydzieści lat temu. Obecne ich konstrukcje stanowią już kolejną generację znacznie różniącą się od pierwowzorów. Z wielu powodów, w dużej mierze uzasadnionych, w Polsce stosuje się je w ograniczonym zakresie i z dużą ostrożnością. Należy jednak oczekiwać, że z uwagi na konkurencyjną cenę w stosunku do izolatorów ceramicznych i coraz lepszą jakość, proces ten będzie stale wzrastał.

W zbiorze polskich norm brak jest jednak publikacji dotyczących liniowych izolatorów kompozytowych. Dopiero w tym roku skierowano do ustanowienia polski odpowiednik międzynarodowej normy IEC 1109:1992. Najprawdopodobniej norma PN-IEC 1109 ukaże się drukiem w 2000 r.

Próby mechaniczne izolatorów kompozytowych należą (wg prPN-IEC 1109) do programu każdego rodzaju badań: konstruktorskich, typu, kontrolno-odbiorczych i wyrobu. Metody ich wykonywania, szczególnie w badaniach konstruktorskich i badaniach typu, różnią się jednak zasadniczo od prób izolatorów ceramicznych. Wynika to przede wszystkim z różnicy w zastosowanych materiałach: rdzeń izolatora kompozytowego wykonuje się zazwyczaj z włókien szklanych nasączonych żywicą. Taki rdzeń pod wpływem działania długotrwałego obciążenia ulega pewnym odkształceniom. W próbach mechanicznych sprawdza się, czy nie wpłynie to na pracę izolatora w założonym czasie eksploatacji. Swoistą nowością jest posługiwanie się wykresami funkcji: obciążenie mechaniczne w zależności od czasu. Wykres takiej funkcji wykreśla się w układzie współrzędnych prostokątnych, w którym na osi rzędnych odkłada się

obciążenie izolatora w skali liniowej, a na osi odciętych — czas w skali logarytmicznej. Wykres takiej funkcji jest wtedy linią prostą.

W badaniach konstruktorskich wykonuje się próbę obciążenia mechanicznego rdzenia izolatora w zależności od czasu, w celu kontroli maksymalnego nachylenia wykresu tej funkcji. W tym celu trzy izolatory poddaje się obciążeniu rozciągającemu. Po dojściu do 70% oczekiwanego obciążenia niszczącego, do zerwania izolatora należy doprowadzić w ciągu 1 min. Z tych trzech uzyskanych wyników należy obliczyć średnią  $M_{\text{sr}}$ . Następnie trzy kolejne izolatory należy obciążać siłą równą 60% obliczonej średniej  $M_{\text{sr}}$ , a po stwierdzeniu, że nie występują uszkodzenia — obciążenie to utrzymać przez 96 godzin. Jeżeli nie stwierdzi się żadnych uszkodzeń, kontrolowany wykres funkcji będzie przechodził przez dwa następujące punkty na płaszczyźnie układu współrzędnych:

- (1 min,  $M_{\text{sr}}$ )
- (96 h, 70%  $M_{\text{sr}}$ ).

Przyjęcie 70%  $M_{\text{sr}}$ , a nie 60%, wynika z przyjętej metody przeliczeń statystycznych, co wyjaśniono w informacyjnym załączniku A do normy. Nachylenie tego wykresu nie może przekraczać wymaganej wartości.

Podobne próby należy wykonać w badaniach typu, z tym że obciążeniem odniesienia jest tu znamionowe obciążenie mechaniczne izolatora *SML* (*specified mechanical load*). Trzy izolatory poddaje się obciążeniu 100% *SML* w ciągu 1 minuty, a cztery inne izolatory — obciążeniu 70% *SML* w czasie 96 godzin. Zakładając, że nie nastąpiło żadne uszkodzenie izolatora (w normie, w ramach tej próby przewidziano jeszcze sprawdzanie powstawania pęknięć metodą penetracji barwnika), do wykreślenia prostej będącej szukanym wykresem funkcji, otrzymujemy następujące dwa punkty:

- (1 min, 100% *SML*)
- (96 h, 70% *SML*).

Jest to wykres funkcji: wytrzymywane obciążenie mechaniczne w zależności od czasu, dla izolatora. Wykorzystuje się go w celu doboru izolatora do wymagań użytkownika, który też sporządza wykres podobnej funkcji przyjmując za podstawę obciążenia izolatora występujące w eksploatacji.

Metoda wykonywania prób mechanicznych w badaniach kontrolno-odbiorczych i badaniach wyrobu nie wymaga już sporządzania wykresu i ich przebieg jest w zasadzie zbliżony do prób mechanicznych izolatorów ceramicznych.

## 5. Podsumowanie

Jak wynika z powyższego rozważania, próby mechaniczne mają spełniać ściśle określone zadania. Przede wszystkim służą sprawdzaniu i ustalaniu takich właściwości mechanicznych izolatorów, które pozwolą dokonywać ich doboru do określonych warunków eksploatacji. O ile jednak dla izolatorów ceramicznych sposób doboru jest dość jednoznaczny i ujęty w normach, dla izolatorów kompozytowych takich norm jeszcze nie ma i to zarówno w normalizacji polskiej jak i międzynarodowej.

W obowiązującej od niedawna normie PN-E-05100-1:1998, przy omawianiu wytrzymałości mechanicznej izolatorów, przywołano normę PN-E-06313:1988, która jednak, w zamierzeniach jej autorów, dotyczy tylko izolatorów ceramicznych i szklanych. Niewątpliwie lukę tę częściowo wypełni norma PN-IEC 1109, ale dobór izolatorów kompozytowych pod względem wytrzymałości mechanicznej to problem dość skomplikowany i byłoby wskazane (do czasu powstania odpowiedniej normy) opracowanie stosownych wymagań technicznych dla krajowej energetyki.

Zasygnalizowane trudności w koordynacji prac normalizacyjnych w obszarze działania Normalizacyjnej Komisji Problemowej nr 76 ds. Izolatorów, wynikają głównie z braku źródeł finansowania. Polski Komitet Normalizacyjny stale ogranicza — i tak niewielkie — środki na ten cel, a świadomość konieczności finansowania opracowywania norm, zwłaszcza wśród użytkowników izolatorów, nie jest jeszcze powszechna. Należy mieć jedynie nadzieję, że wraz z koniecznością stosowania wymagań powszechnie przyjętych w wielu krajach — ta sytuacja ulegnie zmianie.

## Literatura

- [1] **Bielecki J., Drozd A.:** *Rozwój konstrukcji i technologii krajowych izolatorów porcelanowych*. IV Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna IWE'94 — Dzierżno 1994; Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej nr 28, Seria: Konferencje — Zeszyt nr 7, 1994
- [2] **Bielecki J., Majewski A.:** *Izolatory porcelanowe — wymagania norm podstawą zapewnienia jakości*. VI. Sympozjum EUI'97 — Zakopane; wyd. AGH, Kraków 1997
- [3] **Gacek Z., Kiś W.:** *Analiza uszkodzalności mechanicznej izolatorów wysokiego napięcia*. Konferencja: Nowe kierunki technologii i badań materiałowych; Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 1999
- [4] **Pohl Z.:** *Izolatory elektroenergetyczne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995
- [5] **Wańkiewicz J.:** *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju izolatorów elektroenergetycznych*. Konferencja: Nowe kierunki technologii i badań materiałowych; Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa 1999
- [6] PN-E 05100-1:1998 *Elektroenergetyczne linie napowietrzne — Projektowanie i budowa — Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi*
- [7] PN-E -06313:1988 *Dobór izolatorów liniowych i stacyjnych pod względem wytrzymałości mechanicznej*
- [8] PN-IEC 383-1:1997 *Izolatory do linii napowietrznych o znamionowym napięciu powyżej 1000 V — Izolatory ceramiczne lub szklane do sieci prądu przemiennego — Definicje, metody badań i kryteria odbioru*
- [9] PN-IEC 1109:1999 *Izolatory kompozytowe do linii napowietrznych prądu przemiennego o znamionowym napięciu powyżej 1000 V — Definicje, metody badań i kryteria odbioru*

COMPARISON OF NORMALIZED METHODS OF CARRYING OUT MECHANICAL TESTS  
ON THE CERAMIC AND COMPOSITE INSULATORS

One of the basic criteria for quality qualification of high voltage power insulators are mechanical properties. Mechanical tests are included in all insulator standards. Methods of carrying out the mechanical tests given in Polish standards are connected mainly with porcelain insulators. The increasing interest in application of composite insulators to outdoor operation requires introduction of suitable standards. Methods of carrying out the mechanical tests given in these standards are different from those applied to ceramic insulators. Carrying correctly these newly established is necessary from the point of view of evaluation of the composite insulator quality.