

dr inż. Wojciech Chruściel*
 mgr inż. Robert Czyż**
 mgr inż. Leon Dulewicz***
 dr hab. inż. Paweł Lewiński, prof. nadzw.*
 mgr inż. Piotr Wojciechowski**
 dr inż. Przemysław Więch*

Statyczne i dynamiczne badania dwurzędowych łańcuchów izolatorowych do linii elektroenergetycznej 220 kV

Static and dynamic tests of double suspension insulator strings for 220 kV overhead line

Streszczenie. Nowo projektowane dwurzędowe łańcuchy izolatorowe do linii 220 kV poddano badaniom na specjalnie zaprojektowanych stanowiskach badawczych. W badaniach statycznych w maszynie wytrzymałościowej łańcuchy poddano rozciąganiu, mierząc siły i odkształcenia. Badania dynamiczne polegały na umieszczeniu łańcuchów w urządzeniu wymuszającym ich drgania nieustalone. Łańcuchy obciążono siłą symulującą naciąg przewodów, zaś obciążenia dynamiczne wymuszono przez wypięcie łańcucha z łącznika. Na tej podstawie wyznaczono współczynniki dynamiczne występujące przy zerwaniu jednego łańcucha izolatorowego.

Słowa kluczowe: badania statyczne, badania dynamiczne, łańcuchy izolatorowe.

Abstract. Newly designed double suspension insulator strings for 220 kV overhead line were subjected to static and dynamic tests in a specially designed test rigs. Static tests were carried out in the testing machine by subjecting thy strings to the tension and measuring their total capacity and deformation. Dynamic tests relied on placing the strings in a specially constructed device, imposing the transient vibrations by taking the strings out of connector. The load simulated the tension of the wires. The dynamic coefficients at the rupture of 1 string were determined.

Keywords: static test, dynamic test, insulator string, double suspension string.

Łańcuchy izolatorowe poddane są różnego rodzaju obciążeniom statycznym i dynamicznym. Przedmiotem artykułu są wyniki badań statycznych i dynamicznych dwurzędowych łańcuchów izolatorowych przeznaczonych do linii 220 kV, które przeprowadzono w lecie 2012 r. Badaniom poddano łańcuchy słupów przelotowych typu ŁP2 i mocnych typu ŁO2. Łańcuchy zostały skonstruowane przy użyciu osprzętu firmy Belos-PLP S.A. i izolatorów porcelanowych firmy Zapel S.A. Celem badań, przeprowadzonych zgodnie z normą PN-EN 61284 [1], było:

- określenie prawidłowości zaprojektowania łańcuchów izolatorowych pod kątem ich wytrzymałości na rozciąganie;
- określenie współczynnika dynamicznego wyznaczonego w wyniku symulacji sytuacji wyjątkowej w postaci nagłego zerwania się jednego rzędu izolatorów;
- analiza zachowania się łańcucha podczas nagłego zerwania się jednego rzędu izolatorów.

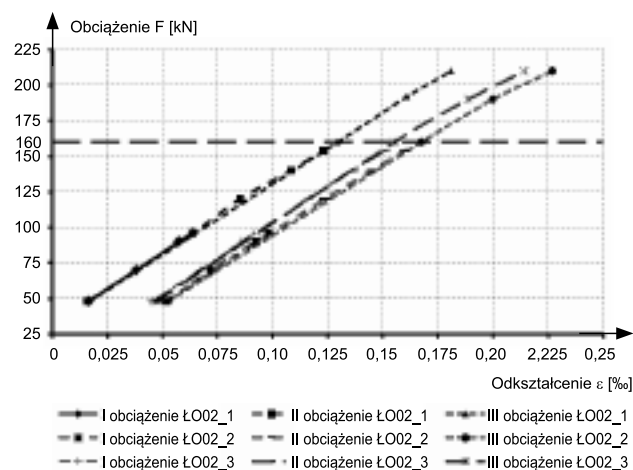
Badania statyczne

Badania statyczne łańcuchów izolatorowych do linii 220 kV Kielce Piaski-Radkowice przeprowadzone zostały 24.07.2012 r. i obejmowały po 3 łańcuchy ŁP2 i ŁO2. W trakcie badań na bieżąco były dokonywane odczyty z tensometrów umieszczonych na izolatorach i pomiary działających sił oraz wydłużeń łańcuchów. Do pomiaru odkształceń zastosowano tensometri elektrooporowe HBM o długości siatki pomiarowej 6 mm i oporności 350 Ohm. Wykresy siła obciążająca-odkształcenie dla izolatorów typu ŁO2 pokazano na rysunku 1.

* Instytut Techniki Budowlanej

** Elbud-Projekt Warszawa Sp. z o.o.

*** Belos PLP S.A.



Rys. 1. Wykresy siła-odkształcenie przy statycznym rozciąganiu izolatorów typu ŁO2

Uzyskano następujące rezultaty badań statycznych:

- wszystkie próby zostały zakończone wynikiem pozytywnym;
- łańcuchy nie uległy zniszczeniu przy obciążeniu ich siłami 160 kN trwającymi 1 min; a także po chwilowym przyłożeniu sił o wartości 210 kN w przypadku łańcucha ŁO2 i 192 kN w przypadku łańcucha ŁP2;
- łańcuchy ŁO2 i ŁP2 uległy zniszczeniu przy obciążeniu odpowiednio 250 i 238 kN;
- po przyłożeniu sił o wartości 96 kN nie zaobserwowano trwałych wydłużeń łańcuchów izolatorowych obydwu typów;

- siły o wartości 192 kN spowodowały trwałe wydłużenia łańcuchów ŁP2 średnio o 12 mm (0,33% długości łańcucha); przyłożenie sił 210 kN do łańcuchów ŁO2 spowodowało ich trwałe wydłużenia średnio o 20 mm (0,48% długości łańcucha);

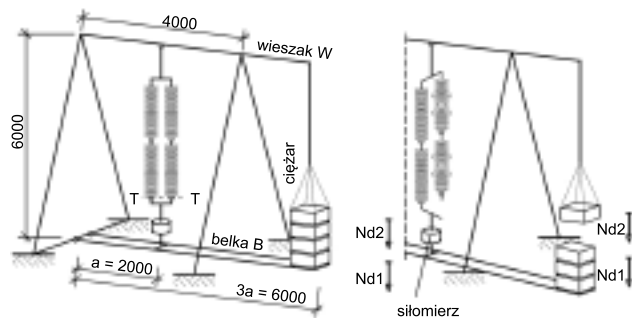
- odkształcenia izolatorów zarejestrowane w trakcie badań miały charakter liniowo-sprężysty w całym zakresie obciążeń; trwałe wydłużenia łańcuchów były efektem odkształceń plastycznych ich elementów metalowych.

Badania dynamiczne

Próby dynamiczne łańcuchów izolatorowych zostały przeprowadzone 27.07.2012 r. w zakładzie PBE Elbud Warszawa w Świerżach Górnych. Łańcuchy umieszczano w specjalnie skonstruowanym urządzeniu, tzw. HWC. W układzie pomiarowym znajdował się dynamometr i tensometry na izolatorach (rysunek 2). Przez wypięcie z łańcucha elementu SK-12300 (co symulowało zerwanie pierwszego rzędu łańcucha) wymuszono dynamiczne przemieszczenie masy umieszczonej w HWC, odzwierciedlającej siłę pochodzącą od naciągu przewodów w trakcie eksploatacji linii. Celem badania było ustalenie współczynnika dynamicznego po zerwaniu jednego rzędu izolatorów i wydłużeniu łańcucha o ok. 35 cm. Współczynnik ten pozwoli obliczać wielkości sił panujących w łańcuchu izolatorowym. Próby zostały udokumentowane za pomocą kamery o częstotliwości zdjęć 100 kl./s.

Rezultaty tak przeprowadzonych badań dynamicznych podano poniżej, zaś wyniki pomiarów zestawione zostały w tabeli. Zależność siły od czasu w przypadku łańcucha ŁO2 (próbka nr 6) zarejestrowaną podczas badania dynamicznego pokazano na rysunku 3.

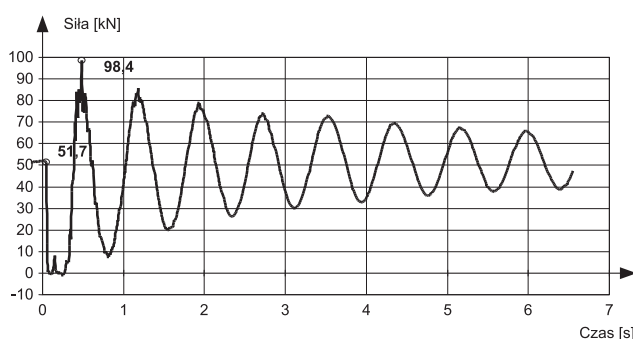
- **Łańcuch ŁP2.** Średni współczynnik dynamiczny uzyskany z badań wyniósł $\gamma_{dyn} = 2,73$. Wartość obciążenia statycznego działającego w trakcie ekstremalnej eksploatacji linii wynosi wg projektu 36,18 kN. Mnożąc siłę 36,18 kN przez współczyn-



Rys. 2. Stanowisko do badań dynamicznych i lokalizacja „T” tensometrów na izolatorach

Wyniki badań dynamicznych łańcucha ŁO2

Nr próbki	Zestaw	Próba obciążeniowa dla zestawu	Siła pod obciążeniem statycznym F_{st} [kN]	Siła pod obciążeniem dynamicznym F_{dyn} [kN]	Współczynnik dynamiczny F_{dyn}/F_{st}	Uwagi dotyczące płyt obciążających (zmiana wartości F_{st})
1	1	1	34,5	101,7	2,95	
2		2	34,6	98,5	2,85	
3		3	43,1	97,5	2,26	dodano płytę
4	2	1	43,1	90,3	2,09	
5		2	51,5	91,9	1,78	dodano płytę
6		3	51,7	98,4	1,90	
7	3	1	51	104	2,04	
8		2	49,8	100,8	2,02	płytę uszkodzilo



Rys. 3. Wyniki badań dynamicznych łańcucha ŁO2, zestaw nr 2, próba obciążeniowa 3

nik $\gamma_m = 1,6$ i przez współczynnik $\gamma_{dyn} = 2,73$ otrzymamy 158,0 kN < 160,0 kN. Wynik uzyskany w przypadku łańcucha ŁP2 w cyklu badań dynamicznych z zawieszeniem jednopunktowym był więc pozytywny.

- **Łańcuch ŁO2.** Z uwagi na duży współczynnik dynamiczny powstający w wyniku badania łańcuchów dwurzędowych o zawieszeniu jednopunktowym przeprojektowano zawieszenie łańcuchów na dwupunktowe i we wrześniu 2012 r. przeprowadzono dodatkowe badania łańcuchów ŁO2. Wartość współczynnika dynamicznego w przypadku łańcucha ŁO2 z zawieszeniem dwupunktowym wyniosła $\gamma_{dyn} = 2,15$ przy jednoczesnym jego wydłużeniu o ok. 17 cm. Wartość współczynnika dynamicznego łańcucha ŁO2 z zawieszeniem jednopunktowym wyniosła $\gamma_{dyn} = 3,23$ przy jednoczesnym jego wydłużeniu o ok. 34 cm. Zastosowanie zawieszenia dwupunktowego skutkuje znaczną (o 1/3) redukcją wartości współczynnika dynamicznego, co polepsza warunki pracy i bezpieczeństwo linii elektroenergetycznej.

Podsumowanie i wnioski

1. Dokonywane w trakcie badań wypięcia jednej z gałęzi łańcucha izolatorowego wywoływały ruchy wahadłowe wymuszone dodatkowym momentem. Z mechaniki nieliniowej wynika, że w takim przypadku powstaje chaotyczna dynamika tego typu wahadła złożonego, a zatem brak jednoznacznego modelu mechanicznego tego układu [2].

2. Ocenia się, że współczynnik dynamiczny łańcucha izolatorowego ŁO2 wyniósł wg badań $1,78 \pm 2,26$, średnio 2,02, przy jednoczesnym wydłużeniu łańcucha o ok. 17 cm.

3. Dynamiczne obciążenie łańcucha ŁO2 o zawieszeniu dwupunktowym jest znacznie mniejsze niż przy jednopunktowym. A zatem przy dużych obciążeniach bardziej uzasadnione jest stosowanie łańcuchów dwurzędowych z zawieszeniem dwupunktowym.

4. Obecne wymaganie stosowania we wszystkich przypadkach współczynnika $\gamma_m = 1,6$ wydaje się zbyt wygórowane. Zaburza to korelację wzajemnych „poziomów bezpieczeństwa” wynikającą z zasad wymiarowania przewodów, izolatorów, osprzętu i konstrukcji słupa. Należałoby dążyć do zmniejszenia wartości tego współczynnika do 1,05 (obciążenie wyjątkowe), pozostawiając wartość 1,6 dla obciążeń statycznych.

Literatura

[1] PN-EN 61284:2002P Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Wymagania i badania dotyczące osprzętu.
 [2] Awrejcewicz J., Mechanika techniczna i teoretyczna: dynamika, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2011 r.