

dr hab. inż. Elżbieta Urbańska-Galewska, prof. PG*
mgr inż. Krzysztof Wilemborek**

Wpływ wprowadzenia norm europejskich na konstrukcję wsporczych napowietrznych linii elektroenergetycznych

Influence of the European standards introduction on the overhead power lines steel supporting structure

Streszczenie. Konstrukcje wsporcze linii elektroenergetycznych były i są projektowane zgodnie ze specjalistycznymi normami, innymi niż stosowane w budownictwie. Dotyczą one zarówno oddziaływań środowiskowych, takich jak temperatura, wiatr, oblodzenie i oddziaływania stałe (naciąg przewodów, osprzęt), jak i zasad wymiarowania. W artykule przedstawiono wyniki analiz porównawczych dotyczących wpływu zmian wprowadzonych w normach europejskich na stalową konstrukcję słupa wsporcze.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, konstrukcje wsporcze napowietrznych linii elektroenergetycznych, normy europejskie.

Abstract. Supporting structures of the power lines were and are designed in accordance with the standards which differ from the guidelines being in force in the construction industry. They concern both the environmental impacts, such as temperature, wind, impact damage and dead loads (tension wires, accessories), as well as the principles of designing. The results of the parametric analyses concerning the effects of introduced changes in supporting structures are presented in the paper.

Keywords: steel structures, supporting structures of overhead power lines, European standards.

W związku z obowiązującą od marca 2010 r. harmonizacją norm do projektowania konstrukcji budowlanych, normy polskie zostały wycofane, natomiast rozpoczął się okres stosowania norm europejskich. Wycofanie polskich norm było aktem formalnym, wynikającym z procedury harmonizacji rynku europejskiego. Fakt ten nie zmienił ważności treści zawartych w wycofanych normach. Nadal stanowią ogromny zbiór wiedzy technicznej, jednakże od momentu ich wycofania, już nieaktualizowanej. Natomiast normy europejskie stanowią zbiór najnowszych, światowych osiągnięć nauki w przedmiotowej dziedzinie.

Projektowanie konstrukcji wsporczych napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia zawsze podlegało odrębnym przepisom i normom. Zarówno przed, jak i po 2010 r., obiekty te były i są projektowane wg wytycznych, odnoszących się tylko i wyłącznie do przedmiotowych konstrukcji. Norma PN-E-05100-1:1998 [1], określająca obciążenia wynikające z warunków klimatycznych oraz zalecenia dotyczące kształtowania konstrukcji napowietrznych linii energetycznych, została zastąpiona przez PN-EN 50341-3-22:2010

* Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Ładowej i Środowiska
** Elfeko S.A.

[2], natomiast PN-B-03205:1996 [3], zawierająca wytyczne do projektowania i wykonania przedmiotowych obiektów, przez PN-EN 50341-1:2013-03 E [4]. W Załączniku J tej normy znajdują się szczegółowe wytyczne dotyczące wymiarowania kratownicowych słupów stalowych. Należy podkreślić, że zarówno „stara” polska norma [1], jak i aktualne normy europejskie [2] i [4] należą do grupy norm elektroenergetycznych.

Z uwagi na znaczną liczbę zmian wprowadzonych do procesu projektowania konstrukcji wsporczych napowietrznych linii elektroenergetycznych, w artykule podjęto próbę porównania ostatecznych efektów ich wprowadzenia. W tym celu wykonano obliczenia typowego słupa odporowo-naroznego wg wycofanych norm polskich oraz aktualnych norm europejskich, a także przeprowadzono porównanie uzyskanych wyników. W analizie porównawczej zwrócono uwagę na istotne zmiany wprowadzone do obliczeń oddziaływań klimatycznych i stałych na konstrukcje słupów, jak i na zmiany w procedurach wymiarowania.

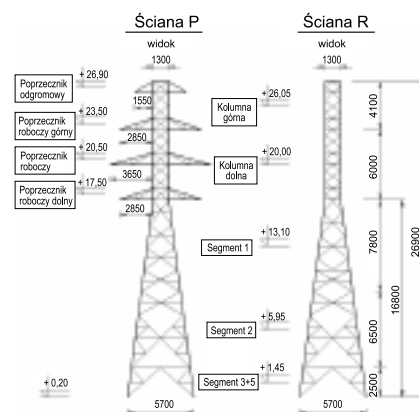
Konstrukcja słupa odporowo-naroznego

Do analizy porównawczej przyjęto konstrukcję słupa odporowo-naroznego ON150+5 (odpowiadającego typowi OS24) ze stali S235JR, w obu przypadkach zloka-

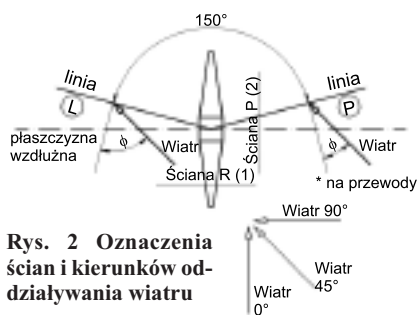
lizowanego w centrum kraju w tych samych strefach: wiatrowej i oblodzenia (sądzi wg wycofanych norm polskich).

Konstrukcję analizowanego słupa wysokości $H = 26,9$ m przedstawiono na rysunku 1. Ściana P jest ustawiona prostopadle (rysunek 2), natomiast ściana R – równoległe do linii elektroenergetycznej. W normie [4] stosowane są oznaczenia: ściany R jako (1), a ściany P jako (2), co zaznaczono na rysunku 2. Kąty wysokościowe oznaczają położenie środka geometrycznego poszczególnych segmentów słupa.

Analizowany słup jest usytuowany na wysokości 143 m n.p.m., w załamie linii energetycznej o kącie 150° i rozpiętości przęsła wiatrowego równej 223 m. W obu



Rys. 1. Konstrukcja słupa ON150+5 (opis oznaczeń w artykule)



Rys. 2 Oznaczenia ścian i kierunków oddziaływania wiatru

przypadkach przyjęto taką samą wartość naciągu przewodów roboczych w temperaturze -5°C oraz $+10^{\circ}\text{C}$.

Oddziaływania na napowietrzne linie energetyczne

Obciążenie słupów kratowych wiatrem wynika z oddziaływania wiatru na przewody oraz na konstrukcję słupa. W wycofanej PN-E-0510-1:1998 [1] obciążenie od oddziaływania wiatru na kratownicową konstrukcję słupa oraz na przewody określała zależność:

$$W = C \cdot K \cdot p \cdot A \quad (1)$$

gdzie:

- C – współczynnik nierównomierności parcia wiatru;
- K – współczynnik opływu zależny od wielkości i kształtu powierzchni części linii;
- p – obciążenie podstawowe (N/m^2);
- A – rzut powierzchni części linii (np. kształtowników, przewodów) od strony nawietrznej na płaszczyznę prostopadłą do kierunku wiatru (m^2).

Natomiast w PN-EN 50341-3-22:2010 [2] podstawą określenia obciążenia wiatrem jest wyznaczenie prędkości wiatru na dowolnej wysokości h ponad terenem V_h . Następnie, dla poszczególnych segmentów konstrukcji słupa, wyznacza się wartość obciążenia ciśnieniem prędkości wiatru równą $q_h = 0,5q \cdot V_h^2$ (q – gęstość powietrza) oraz wartość parcia wiatru działającego w środku pojedynczego segmentu słupa, zależną od współczynników działania porywów wiatru G_q i odpowiedzi na działanie porywów wiatru G_p , a także od współczynników oporu aerodynamicznego poszczególnych ścian C_{it} , efektywnego pola A_{it} elementów ścian R lub P oraz kąta oddziaływania wiatru ϕ (rysunek 2). W analizowanym przypadku obciążenie parciem wiatru wyznaczono jako wartość obciążenia równomiernie rozłożonego na poszczególne pręty wykratowania.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń szczegółowych stwierdzono, iż określona w normach europejskich obliczeniowa prędkość wiatru jest

o ok. 30% mniejsza niż w dotychczas stosowanych normach polskich. Z kolei sumaryczne obciążenie wiatrem określone na podstawie [2] zwiększyło się: w przypadku kąta $\phi = 0^{\circ}$ o 11%, a $\phi = 90^{\circ}$ o 16,9% w porównaniu z obciążeniami zgodnie z [1].

Obciążenie oblodzeniem uwzględnia się tylko na przewodach, izolatorach oraz wyposażeniu, takim jak np. kule ostrzegawcze. Szczegółowe zasady określania obciążenia oblodzeniem podane są w PN-EN 50341-3-22:2010 [2].

Wymiarowanie konstrukcji słupa

Wprowadzenie do praktyki projektowej norm europejskich zmieniło nie tylko procedury zestawiania wartości obciążeń, ale również procedury projektowania. Norma PN-EN 50341-1 [4] określa wartości współczynników częściowych oraz współczynników kombinacyjnych, liczby kombinacji obciążeń, a także wprowadza wiele zmian dotyczących wartości granicznych smukłości różnego typu prętów słupa kratownicowego.

W celu określenia wpływu wszystkich wprowadzonych przez normy europejskie zmian wykonano obliczenia porównawcze stalowej konstrukcji słupa wsporcze ON150+5. Wartości ekstremalnych sił wewnętrznych określono na podstawie kombinacji obciążeń odpowiednich dla każdej normy. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1, a w tabeli 2 wartości sił nacią-

Tabela 1. Porównanie charakterystycznych parametrów stalowej konstrukcji słupa

Porównywany parametr	Obliczenia wykonane wg		
	wycofanych norm polskich [1] i [3]	norm europejskich [2] i [4]	
Reakcja pozioma	F_x	-49,8 kN	-77,8 kN
	F_y	-47,3 kN	-74,4 kN
Reakcja pionowa	V_{\max}	330,8 kN	515,0 kN
	V_{\min}	-273,6 kN	-437,8 kN
Masa konstrukcji słupa	4435 kg	5405 kg	

Tabela 2. Wybrane wartości sił naciągu przewodów roboczych

Kombinacja obciążeń (temperatura)	normy polskie [1] i [3] [kN]	normy europejskie [2] i [4] [kN]
Naciąg podstawowy (-5°C)	22,7	22,7
Naciąg ($+10^{\circ}\text{C}$)	19,9	19,9
Kombinacja 2a (-5°C)	--	46,1
Kombinacja 7/4a (-5°C)	19,7	30,7

gu (charakterystycznych) przewodów roboczych wg [1] i [2]. Masa konstrukcji słupa zwymiarowanego zgodnie z normami europejskimi jest o 20% większa niż zaprojektowanego zgodnie z wycofanymi normami polskimi. Na uwagę zasługują również znacznie większe wartości reakcji podporowych F i V , na podstawie których wymiaruje się fundamenty.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej stwierdzono, iż jednym z istotnych czynników powodujących zwiększenie masy słupa o 20% jest odmienne podejście w normach europejskich do uwzględniania siły naciągu przewodów. W wycofanych normach polskich nie uwzględniano wpływu obciążenia oblodzeniem i wiatrem na wzrost siły naciągu przewodów, co jest z kolei wymagane w przypadku wymiarowania konstrukcji wsporczych wg norm europejskich. Drugim czynnikiem powodującym wzrost masy konstrukcji słupa są wprowadzone w [4] znaczne ograniczenia smukłości poszczególnych typów prętów. Wzrost reakcji podporowych (F i V) wpłynął na zwiększenie masy fundamentów. Produkowane obecnie typowe, prefabrykowane stopy fundamentowe słupów linii energetycznych mają za małą nośność na siły poziome. Skutkuje to dobieraniem z istniejących katalogów znacznie większych fundamentów, niż wynika z warunku na wyciąganie/wciskanie stopy. W przypadku słupów krańcowych często zachodzi konieczność indywidualnego projektowania stóp żelbetowych, wykonywanych na budowie, co zwiększa koszty i wydłuża czas inwestycji. Uzasadnione jest opracowanie serii prefabrykatów stóp fundamentowych o podwyższonej nośności na siły poziome.

Literatura

- [1] PN-E-05100-1:1998 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi. PKN Warszawa.
- [2] PN-EN 50341-3-22:2010 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych. Polska wersja EN 50341-3-22:2001. PKN Warszawa, luty 2010.
- [3] PN-B-03205: 1996 Konstrukcje stalowe. Podpory linii elektroenergetycznych. Projektowanie i wykonanie. PKN Warszawa.
- [4] PN-EN 50341-1:2013-03 E: Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne. PKN Warszawa.