

dr inż. Janusz Kubiak<sup>1)</sup>dr inż. Aleksy Łodo<sup>1)</sup>dr inż. Jarosław Michalek<sup>1\*)</sup>

# Słupy sprężone w liniach wysokiego napięcia

## *Prestressed poles in the high voltage lines*

DOI: 10.15199/33.2015.06.11

(Artykuł przeglądowy)

**Streszczenie.** W artykule omówiono konstrukcję polskich słupów kablobetonowych stosowanych w latach 1955 – 1965 do budowy napowietrznych linii elektroenergetycznych o napięciu 110 kV. Na tle tych rozwiązań zaprezentowano nowoczesne słupy strunobetonowe z betonu wirowanego.

**Słowa kluczowe:** słupy sprężone z betonu, linie elektroenergetyczne, trwałość.

**Abstract.** In the paper the structure of Polish post-tensioned concrete poles used in years 1955 – 1965 for construction of overhead power lines of 110 kV voltage was described. On the background of these solutions modern post-tensioned spun concrete poles were presented.

**Keywords:** prestressed concrete poles, power lines, durability.

W Polsce w liniach wysokiego napięcia 110 kV i wyższych jako konstrukcje wsporcze stosuje się przede wszystkim stalowe słupy w postaci kratownic przestrzennych. Alternatywą są stalowe słupy rurowe i strunobetonowe z betonu wirowanego o przekroju pierścieniowym.

### Słupy kablobetonowe

W kraju pierwsze konstrukcje elektroenergetycznych słupów sprężonych o przekroju pierścieniowym pojawiły się w połowie lat pięćdziesiątych XX w. [1]. Z inicjatywy prof. T. Kłuzka opracowano wówczas projekt trzysegmentowego słupa kablobetonowego o długości  $L = 3 \times 6,0 = 18,0$  m. Kanały kablowe formowano za pomocą prętów wyciąganych z betonu niezwiązanego. Pierścieniowy przekrój eliptyczny słupa w dolnej części miał wymiary dwóch osi elipsy 0,70 i 0,40 m. Grubość ścianki przekroju słupa na małej osi elipsy wynosiła zaledwie 45 mm. Zbrojenie obwodowe słupa stanowiła spirala z drutu gładkiego  $\varnothing 4,5$  mm zagęszczona na końcach segmentów. Zbrojenie zwykle podłużne przewidziane było tylko na obciążenia montażowe. Segmenty słupa sprężano kablami z wiązek drutów  $8\varnothing 5$  mm (2 kable na długości dwóch segmentów dolnych) i  $6\varnothing 5$  mm (4 kable na całej długości słupa). Naciąg kabli realizowano prasą typu TK-6, stosując stalowe zakotwienia stożkowe typu Freyssineta. Kanały kablowe iniektowano zaczynem cementowym.

Pierwsze linie elektroenergetyczne SN (średnich napięć) na słupach kablobetonowych oddano do eksploatacji w latach

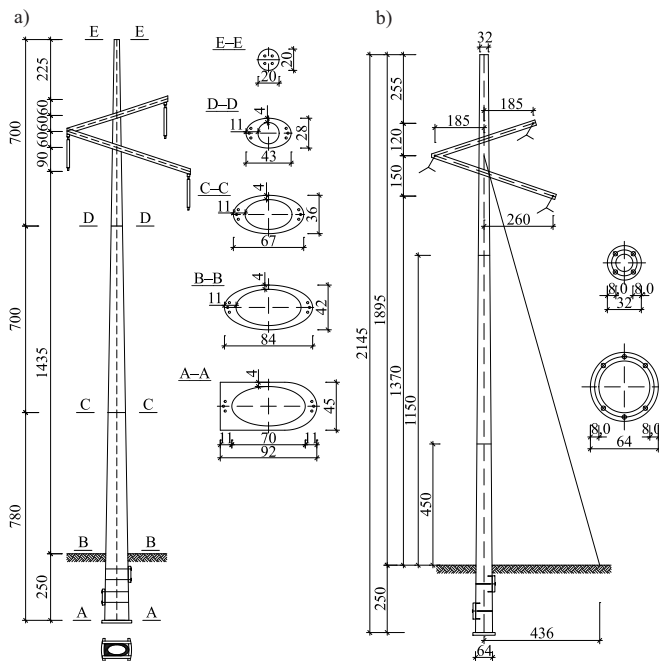
1955 – 1956 (ogółem wbudowano ok. 600 słupów [1]). Po kilku latach zauważono rysy pionowe w segmentach środkowych i odziomkowych wzdłuż ścianki o grubości 45 mm. Bezpośrednią przyczyną rys były naprężenia termiczne oraz technologiczne podczas wyciągania stalowych rdzeni formujących przekrój pierścieniowy. Rysy powiększały się z czasem wskutek nierównomiernego nagrzewania się powierzchni betonu. Z biegiem lat przechodziły w pęknięcia, w których nastąpiła korozja zbrojenia poprzecznego.

Rozwiązania słupów kablobetonowych  $L = 18$  m stały się podstawą do opracowania w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie projektu dwóch typów słupów kablobetonowych  $L = 21,8$  i  $21,45$  m dla linii jednotorowych wysokiego napięcia 110 kV (rysunek 1) z przewodami roboczymi AFL 120 lub 185 mm<sup>2</sup> i z przewodem odgromowym FL 50 mm<sup>2</sup>. Słupy przewidziano dla przęseł o długości  $250 \div 275$  m [1].

**Kablobetonowe słupy przelotowe** (rysunek 1a) miały konstrukcję podobną do słupów w liniach średnich napięć. Ze względu na większe obciążenia poziome i większą wysokość trzonu słupa do sprężania zastosowano 4 ka-

ble  $8\varnothing 5$  mm na całej wysokości słupa i 2 kable  $10\varnothing 5$  mm z drutami gatunku II lub  $8\varnothing 5$  mm gatunku I na długości dwóch segmentów dolnych. Poprzeczniki słupów przelotowych zaprojektowano z desek strunobetonowych o przekroju  $4 \times 23$  i  $4 \times 28$  cm, które sprężono drutami  $\varnothing 2,5$  mm o  $f_{pk} = 2100$  MPa. Segmenty trzonu słupa i deski poprzeczników wykonano z betonu marki  $R_w 500$  (obecna klasa C35/45).

**Kablobetonowe słupy mocne** miały przekrój pierścieniowy o stałej grubości ścianki 8 cm (rysunek 1b). Segmenty słupa sprężano na budowie kablami  $10\varnothing 5$  mm ze stali gatunku I (4 kable prze-



**Rys. 1.** Krajowe słupy kablobetonowe z lat 1960 – 1965: (opis w artykule)

*Fig. 1. Domestic post-tensioned prestressed concrete columns from years 1960 – 1965*

<sup>1)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji;

e-mail: jaroslaw.michalek@pwr.edu.pl

biegały przez całą długość słupa, a 2 kable tylko przez segment środkowy i dolny. W celu zabezpieczenia słupa przed zniszczeniem momentem skręcającym, poszczególne segmenty zazbrojono poprzecznie spiralą dwukierunkową. Poprzeczniki słupa mocnego (rysunek 1b) wykonywano z czterech elementów o odwróconym przekroju korytkowym. Każda gałąź poprzecznika sprężona została dwoma kablami 12Ø5 mm przechodzącymi przez trzon słupa.

Na słupach kablobetonowych L = 21,8 i 21,45 m wykonano ok. 100 km linii wysokiego napięcia. Słupy te eksploatowano bez żadnej konserwacji przez ponad 40 lat. Ze względu na małe otuliny zbrojenia poprzecznego (mniej niż 20 mm) i niską granicę plastyczności stali uzwojenia w słupach wystąpiły liczne uszkodzenia w postaci pęknięć podłużnych. Uszkodzone słupy kablobetonowe wymieniane są na nowe, w tym strunobetonowe z betonu wirowanego.

## Słupy strunobetonowe

Strunobetonowe słupy z betonu wirowanego zaczęto stosować w elektroenergetycznych liniach wysokiego napięcia w latach sześćdziesiątych XX w. Prekursorami były kraje byłego Związku Radzieckiego [2] oraz Niemcy Zachodnie i USA [3]. Rosjanie uruchomili produkcję cylindrycznych i stożkowych żerdzi strunobetonowych z betonu wirowanego o długościach odpowiednio 20,0 ÷ 26,4 m i 22,6 ÷ 26,0 m [2].

Na potrzeby budowy nowych i przebudowy istniejących linii wysokiego napięcia 110 kV zaprojektowano krajowe słupy strunobetonowe (jedno- i dwusegmentowe) z betonu wirowanego, przystosowane do osadzania w fundamentach kielichowych lub do połączenia z fundamentami blokowymi za pomocą głowicy stalowej i kotew wystających z fundamentu [4]. Średnica zewnętrzna słupów zwiększa się od wymiaru minimalnego 488 mm ze stałą zbieżnością 15 mm/1 m (tabela). Słupy zaprojektowano w oparciu o normę [5]. Przeznaczone są one do linii jedno- i dwutorowych 110 kV z przewodami fazowymi AFL-6 240 mm<sup>2</sup> i odgromowymi AFL-1,7 70 mm<sup>2</sup> dla pręseł podstawowych 440 m i zmniejszonych 300 m. Przewidziano słupy przelotowe P1 i P2, mocne M3, M6 i M9 oraz krańcowy K o wysokości standardowej wraz z podwyższeniami +3, +6 i +9 m (tabela). Wszystkie słupy w liniach jednotorowych oraz słupy P1 i P2 w liniach dwutorowych są jednożerdziowe, a M3, M6, M9 i K z oznaczeniem (2ż) w liniach dwutorowych – dwużerdziowe (rysunek 2 i tabela).

## Strunobetonowe słupy dla linii 110 kV Pre-tensioned prestressed concrete columns for power line 110 kV

		Linia jednotorowa					
Typ słupa		P1	P2	M3	M6	M9	K
Wysokość słupa h [m n.p.t.]	+0	21	15	18	18	18	18
	+3	24	18	21	21	21	21
	+6	27	21	24	24	24	24
	+9	30	24	27	27	27	27
Średnica wierzchołka D <sub>w</sub> [mm]	+0						
	+3	488	488	713	938	1118	938
	+6						
	+9						
Średnica podstawy D <sub>p</sub> [mm]	+0	803	713	983	1208	1388	1208
	+3	848	758	1028	1253	1433	1253
	+6	893	803	1073	1298	1478	1298
	+9	938	848	1118	1343	1523	1343
		Linia dwutorowa					
Typ słupa		P1	P2	M3 (2ż)	M6 (2ż)	M9 (2ż)	K (2ż)
Wysokość słupa h [m n.p.t.]	+0	24	18	21	21	21	21
	+3	27	21	24	24	24	24
	+6	30	24	27	27	–	27
	+9	33	27	30	30	–	30
Średnica wierzchołka D <sub>w</sub> [mm]	+0						
	+3	623	623	713	893	983	893
	+6						
	+9						
Średnica podstawy D <sub>p</sub> [mm]	+0	983	893	1028	1208	1298	1208
	+3	1028	938	1073	1253	1343	1253
	+6	1073	983	1118	1298	–	1298
	+9	1118	1028	1168	1343	–	1343

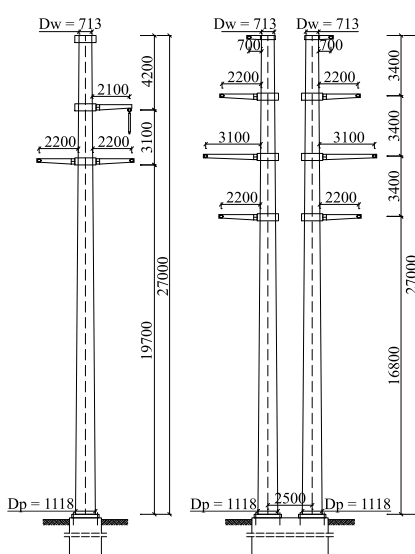


Fig. 2. Słup M3 w linii jedno- i dwutorowej  
Fig. 2. M3 column in one and two-tracks power line

Słupy do wysokości 21 m mogą być wykonywane jako jednosegmentowe, a powyżej jako dwusegmentowe. Segmenty zakończone są ocynkowanymi głowicami stalowymi służącymi do zakotwienia zbrojenia podłużnego i połączenia segmentów za pomocą śrub sprężających. Słupy projektowane są z betonu wirowanego klasy C50/60 i zbrojone podłużnie splotami Ø12,5 mm (segment górny) lub Ø15,5 mm (segment dolny) o symbolu Y1860S7. Projektowana trwałość strunobetonowych słupów wirowanych wynosi 50 lat. Zapewniona jest przez odpowiednią grubość otuliny zbrojenia i ocynkowanie ogniowe głowic stalowych oraz zabezpieczenie żywicą epoksydową strefy zakotwienia cięgien w głowicach stalowych.

## Podsumowanie

Obecnie stosowanie słupów kablobetonowych w liniach wysokiego napięcia należy uznać za mało efektywne. Najlepsze efekty uzyskuje się, stosując jedno- lub dwusegmentowe słupy strunobetonowe z betonu wirowanego. Strunobetonowe słupy wirowane w liniach wysokiego napięcia można utwierdzać w kielichowych fundamentach blokowych lub studniowych [4]. Najwygodniejszym i równocześnie szybkim sposobem jest połączenie śrubowe słupów z fundamentami, które umożliwia rektyfikację pionowości słupów (co ma praktyczne znaczenie na terenach szkód górniczych). Strunobetonowe słupy z betonu wirowanego powinny być wykorzystywane do budowy i modernizacji napowietrznych linii elektroenergetycznych 110 kV ze względu na ich 50-letnią trwałość bez potrzeby konserwacji.

## Literatura

- [1] Jarosz T.: Kablobetonowe konstrukcje wsporcze dla linii energetycznych wysokiego napięcia. Seminarium ITB pt. „Dorobek i aktualne prace Zakładu Betonu Sprężonego”, Arkady, Warszawa 1968, s. 47 – 53.
- [2] Kosolapov I. I.: Izgotovlenie stoeok żelezobetonnych opor VL elektroperedaci. Energoatomizdat, Leningradskoe otdelenie, Leningrad 1985.
- [3] PCI Committee on Prestressed Concrete Poles: Guide for Design of Prestressed Concrete Poles. PCI Journal, v. 28, Nr 3, May – June 1983, s. 22 – 87.
- [4] Łodo A., Michałek J., Wójcik S.: Fundamenty strunobetonowych wież i słupów wysokich napięć. Materiały Budowlane 6/2014, s. 46 – 47.
- [5] PN-EN 12843: 2008 Prefabrykaty z betonu. Maszty i słupy.

Otrzymano 20.04.2015 r.