

dr inż. Aleksy Łodo\*  
 dr inż. Jarosław Michalek\*  
 mgr inż. Stanisław Wójcik\*\*

# Fundamenty strunobetonowych wież i słupów wysokich napięć

*Foundations of pre-tensioned prestressed concrete electricity poles of HV*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono stosowane w kraju fundamenty strunobetonowych wież i słupów linii elektroenergetycznych wysokich napięć (WN). Ponadto omówiono połączenie słupów przelotowych i mocnych z fundamentem przez zabetonowanie nasady słupa w fundamencie i przez przykręcenie za pomocą śrub.

**Słowa kluczowe:** prefabrykacja, fundamenty żelbetowe, słupy elektroenergetyczne.

**Abstract.** In the paper foundations applied in Poland for pre-tensioned prestressed spun concrete electricity poles of high voltage (HV) depending on soil category are presented. Joints of poles and foundations by placing the concrete around the root of pole in foundation and by screwing down with bolts are discussed in details.

**Keywords:** prefabrication, reinforced concrete foundations, electricity poles.

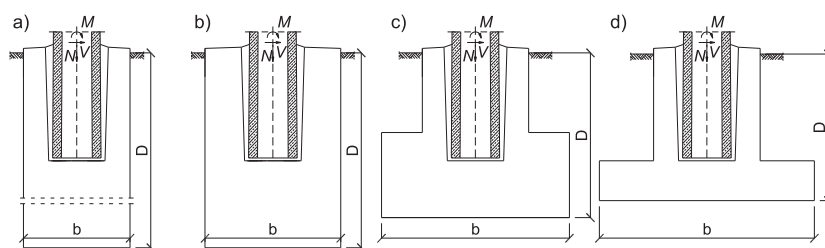
Fundamenty wież i słupów wysokich napięć muszą bezpiecznie przekazać obciążenia z konstrukcji na grunt, zapewnić stateczność konstrukcji i zabezpieczyć konstrukcję przed nadmiernymi odkształceniami wynikającymi z przemieszczeń gruntu. O wyborze rodzaju fundamentu decydują z jednej strony warunki gruntowe (uwarstwienie, nośność i odkształcalność podłoża, poziom wód gruntowych itp.), a z drugiej dane związane z konstrukcją naziemną (typ i gabaryty konstrukcji oraz wielkość i charakter przenoszonych obciążeń).

## Fundamenty kielichowe

Najczęściej stosowane rodzaje kielichowych fundamentów masywnych (słupowych i blokowych) do utwierdzenia w gruncie wież telekomunikacyjnych i słupów wysokich napięć pokazano na rysunku 1. Zgodnie z normą [1] fundamenty słupowe powinny mieć powierzchnię podstawy  $A \leq 0,25 \text{ m}^2$  i szerokość względną  $\beta = b/D \leq 0,5$  (rysunek 1a). Fundamenty, które nie spełniają tych zależności, traktowane są jako blokowe (rysunek 1a, b, c). Fundamenty słupowe lekkie wykonywane w otworach wierconych w gruncie stosowane są głównie do posadawiania słupów elektroenergetycznych nn i SN oraz słupów oświetleniowych.

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

\*\* Strunobet-Migacz Sp. z o.o.



Rys. 1. Fundamenty masywne pod wieże telekomunikacyjne i słupy linii wysokiego napięcia

Najprostszą odmianą masywnych fundamentów kielichowych są fundamenty słupowe (dla  $b/D \leq 0,5$  – rysunek 1a) lub blokowe ( $b/D > 0,5$  – rysunek 1b) o przekroju kołowym bądź kwadratowym. W celu zmniejszenia zużycia betonu można stosować monolityczne lub prefabrykowane fundamenty stopowe ( $b/D > 0,5$  – rysunek 1c). W przypadku dużych obciążeń lub występowania wysokiego poziomu wód gruntowych stosuje się fundamenty płytowe o podstawie kwadratowej ewentualnie kołowej ( $b/D > 0,5$  – rysunek 1d), w których wysokość  $D$  zależy od średnicy podstawy elementu wirowanego ( $D \geq 1,2 \cdot \varnothing + 0,5 \text{ m}$ ). Fundamenty stopowe i płytowe mogą być posadawiane ewentualnie na palach, które przenoszą obciążenia na głębsze warstwy gruntu nośnego.

## Kategorie geotechniczne konstrukcji

W celu ustalenia wymagań dotyczących dokumentacji i projektów geotechnicznych, a także zakresu i dokładności badań polowych i laboratoryjnych grun-

tu, norma [2] wyróżnia trzy kategorie geotechniczne. **Kategoria 1** dotyczy małych i względnie prostych konstrukcji posadowionych w gruntach, dla których można zagwarantować podstawowe wymagania na podstawie doświadczenia i badań jakości gruntu oraz kiedy dno wykopu znajduje się powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej lub planowany wykop będzie łatwy do wykonania. **Kategoria 2** dotyczy prostych i złożonych warunków gruntowych wymagających ilościowej oceny danych geotechnicznych; typowych konstrukcji i fundamentów niestwarzających szczególnego ryzyka oraz łatwych warunków gruntowych i obciążeniowych. **Kategoria 3** obejmuje konstrukcje, których nie można zaliczyć do 1 i 2 kategorii geotechnicznej. W szczególności kategoria 3 obejmuje przypadki bardzo dużych lub nietypowych konstrukcji, czyli narażonych na nadzwyczajne ryzyko w nietypowych bądź wyjątkowo trudnych warunkach gruntowych lub obciążeniowych, a także konstrukcji zlokalizowanych na obszarach sejsmicznych i parasejsmicznych.

Fundamenty betonowych wież telekomunikacyjnych i słupów elektroenergetycznych wysokich napięć należy zakwalifikować do drugiej bądź trzeciej kategorii geotechnicznej. W przypadku, gdy część linii zlokalizowana będzie na terenach podlegających deformacjom podłoża, wówczas fundamenty powinny być bezwzględnie zakwalifikowane do trzeciej kategorii geotechnicznej. Do drugiej kategorii geotechnicznej można stosować standardowe badania terenowe i laboratoryjne gruntu, natomiast do kategorii trzeciej wymaga się wykonania badań specjalistycznych. W przypadku linii o napięciu 400 kV i wyższym norma [1] zaleca metodę A badania podłoża gruntu, a w przypadku linii o napięciu 110 kV i 200 kV należy stosować metodę B lub C (wyznaczanie parametrów geotechnicznych na podstawie praktycznych doświadczeń budownictwa linii elektroenergetycznych na innych podobnych terenach). Linie o napięciu 60 kV i niższym należy badać wg metody C. Metodę A norma [1] zaleca stosować także w przypadku posadowienia fundamentów w terenach występowania gruntów słabych (torfy, namuły, grunty spoiste w stanie miękkoplastycznym, piaski pylaste w stanie luźnym itp.) lub na terenach, w których występują grunty wietrzelinowe, pęczniące lub zapadowe, procesy krasowe, osuwiskowe lub erozyjne, szkody górnicze.

## Stany graniczne nośności i użyteczności

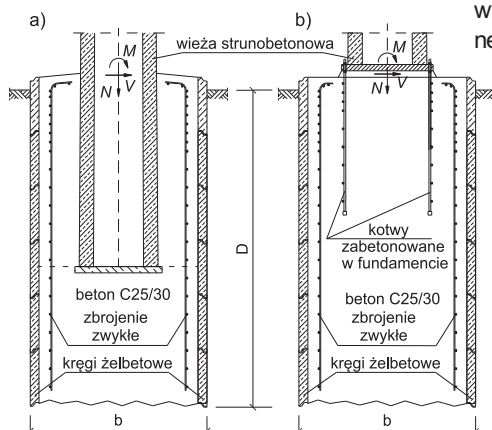
Podstawowymi stanami granicznymi nośności wymagającymi sprawdzenia w przypadku fundamentów konstrukcji wsporczych są: utrata stateczności konstrukcji lub podłoża (EQU) oraz stan graniczny zniszczenia lub odkształcenia elementu konstrukcyjnego (STR) lub podłoża (GEO). W ramach stanów granicznych użyteczności należy sprawdzić obrót i osiadanie fundamentu oraz strzałkę ugięcia konstrukcji z uwzględnieniem podatności fundamentu.

W przypadku fundamentów słupowych, blokowych i stopowych dominującym oddziaływaniem jest moment wywracający M i towarzyszące mu siły poziome V i pionowe N (rysunek 1). Ich działaniu przeciwstawiają się opór boczny gruntu (na powierzchniach

bocznych fundamentu) wraz z dodatkowym ścinaniem i siłami pionowymi wynikającymi ze skierowanego do góry oporu gruntu. Metodyka obliczania fundamentów słupowych i blokowych stosowanych do posadowienia konstrukcji wsporczych podana jest w normie [1] i w literaturze [3, 4]. Głębokość zakotwienia (osadzenia)  $l_k$  betonowej konstrukcji wieży bądź słupa elektroenergetycznego w fundamencie kielichowym (rysunek 1) zależy od długości zakotwienia zbrojenia  $l_{bd}$  [5]. Norma [5] wymaga ponadto, aby głębokość  $l_k \geq 1,2 \cdot d_s$ , gdzie  $d_s$  jest średnicą zewnętrzną słupa w podstawie.

## Realizacja fundamentów

Najczęściej zamocowanie w gruncie strunobetonowych wież telekomunikacyjnych wykonuje się za pomocą fundamentów płytowych (rysunek 1d) wykonywanych bezpośrednio na budowie. W przypadku strunobetonowych słupów wirowanych linii jedno- i dwutorowych wysokiego napięcia fundamenty realizowane są najczęściej jako studniowe konstrukcje monolityczne (rysunek 2) typu słupowego lub blokowego.



Rys. 2. Fundamenty słupowe i blokowe typu studniowego: a) trzon słupa zakotwiony w bryle fundamentu, b) mocowanie śrubowe słupa z fundamentem

wego. Rozwiązania te mają niezaprzeczalne zalety w postaci nienaruszenia struktury gruntu przyległego do boku fundamentu i małego placu budowy.

Bezpośrednie połączenie trzonu wieży bądź słupa wirowanego z fundamentem studniowym (rysunek 2a) jest kłopotliwe ze względu na brak typowego kielicha jak na rysunku 1, który wykorzystywany jest do ustawiania słupa w pionie. W przypadku fundamentu studniowego jak na rysunku 2a, betonowanie w krę-

gach musi odbywać się w dwóch etapach. Najpierw betonuje się część dolną fundamentu do poziomu podstawy słupa, a następnie po częściowym związaniu betonu ustawia się słup i wypełnia kręgi betonem do poziomu minimum 0,15 m n.p.t. (rysunek 2a). Montaż przewodów linii WN może więc nastąpić dopiero po związaniu betonu (teoretycznie po 28 dniach).

Rozwiązanie podane na rysunku 2b nie ma tych wad, ale wymaga bardzo precyzyjnego rozmieszczenia śrub kotwowych na średnicy podziałowej identycznej jak w głowicy stalowej słupa wirowanego. Rozwiązanie to umożliwiłoby szybki montaż słupów na wcześniej przygotowanych fundamentach i ich rektyfikację nakrętkami pod i nad głowicą stalową słupa. Rozwiązanie stosowane jest do wykonywania fundamentów słupowych w obrębie czterech nóg słupa kratowego czynnej linii elektroenergetycznej 110 kV przeznaczonej do przebudowy.

## Podsumowanie

Strunobetonowe wieże telekomunikacyjne najczęściej utwierdza się w kielichowych fundamentach płytowych (rysunek 1d). Kielich fundamentu jest zazwyczaj wykonywany razem z podstawą. Można stosować kielichy prefabrykowane ze zbrojeniem zespalającym ze stopą wykonywaną na miejscu budowy fundamentu. Do połączenia słupów linii wysokich napięć z fundamentami studniowymi stosuje się najczęściej kotwy śrubowe (rysunek 2b) średnicy do 30 mm. Na budowę fundamentu powinny być dostarczane sztywne kołsze zbrojeniowe z wmontowanymi kotwami umożliwiającymi połączenie z głowicą stalową słupa wirowanego.

## Literatura

- [1] PN-B 03322:1980 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Fundamenty konstrukcji wsporczych. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [2] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [3] Bolt A. F.: Projektowanie fundamentów konstrukcji wsporczych. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 6/1999, s. 297-304
- [4] Kończykowski S., Mayzel B.: Konstrukcje wsporcze linii napowietrznych, Arkady, Warszawa 1962.
- [5] PN-EN 1992-1-1:2008 (z aneksem Ap1: 2010, NA: 2010) Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.