

Szacowanie nośności grupy fundamentów grzybkowych modelu wieży transmisyjnej

Dr inż. Piotr Sokołowski
Bureau Veritas Polska Sp. z o.o.

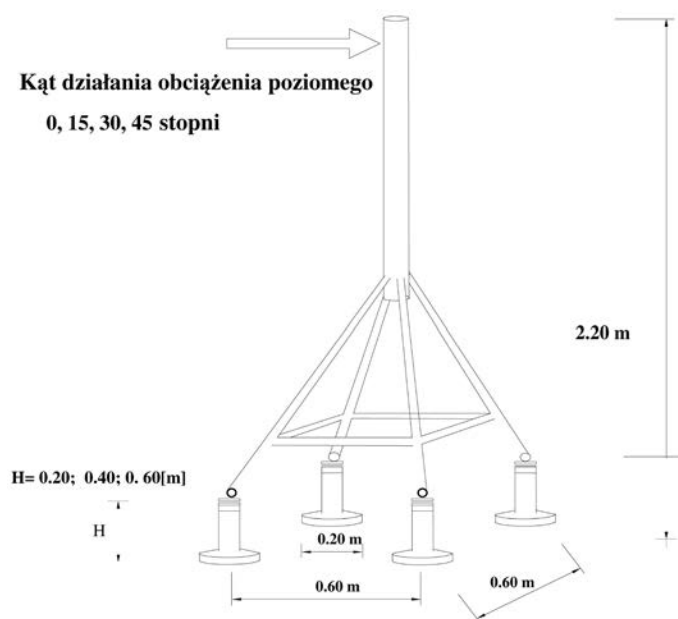
Nośność podłoża gruntowego obciążonego poprzez grupę czterech fundamentów grzybkowych jest rozumiana jako wartość maksymalnego momentu wywracającego, który jest przenoszony przez grupę czterech fundamentów. Kryterium osiągnięcia nośności przez podłoże obciążone grupą fundamentów może być przekroczenie granicznej nośności podłoża dla co najmniej jednego fundamentu bądź przekroczenie stanu użytkowania konstrukcji opartej na grupie fundamentów.

W artykule przedstawiono propozycję oszacowania maksymalnej nośności podłoża gruntowego obciążonego momentem wywracającym przyłożonym do gruntu poprzez grupę fundamentów grzybkowych, a pochodzącym od siły poziomej przyłożonej do modelu konstrukcji wsporczej (rys. 1). Propozycja ta jest próbą matematycznego odwzorowania przeprowadzonych badań modelowych [2, 5], a także próbą stworzenia ogólnej metodyki szacowania nośności grupy współpracujących fundamentów poddanej obciążeniu momentem wywracającym.

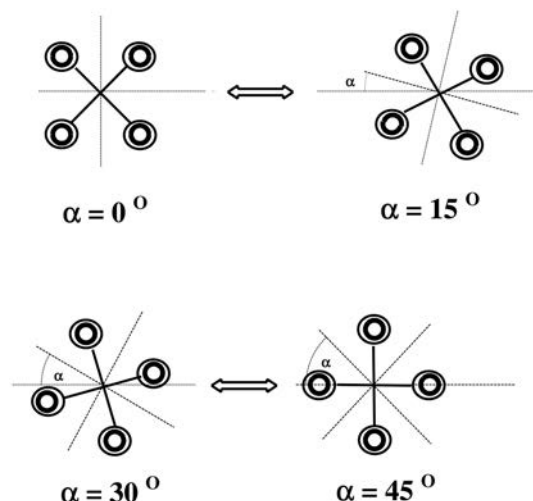
Badania wykonano w gruncie niespoistym dla trzech różnych głębokości fundamentów i czterech różnych kierunków działania obciążenia poziomego (rys. 1 i 2).

Pracę grupy fundamentów grzybkowych, w świetle rozpatrywanego sposobu pracy modelu konstrukcji wsporczej, obciążonego siłą poziomą, sprowadzono do schematu rusztu opartego na nieliniowo sprężystych podporach, obciążonego momentem wywracającym i siłą pionową. Na podstawie literatury [1, 3] i badań własnych [4] w dalszych rozważaniach analitycznych

przyjęto, że wpływ składowej poziomej w rozpatrywanym przypadku jest pomijalnie mały. Ponadto przyjęto, że matematyczna symulacja procesu przemieszczania fundamentów pod wpływem obciążenia zewnętrznego efektywnie będzie możliwa do przeprowadzenia po przyjęciu nieliniowo sprężystej charakte-



Rys. 1. Model konstrukcji wsporczej wraz z fundamentami [2]



Rys. 2. Kierunki obciążenia modelu siłą poziomą [2]

rystryki podpory. Założono, że matematyczny opis krzywej [2], uzyskanej na podstawie badań fundamentu pojedynczego obciążonego siłą pionową wciskającą lub wyciągającą, będzie opisem takiej nieliniowej charakterystyki.

Najbardziej optymalne odzwierciedlenie kształtu rzeczywistych krzywych obciążenie – przemieszczenie, uzyskanych do przebadanych pojedynczych fundamentów, otrzymano przy zastosowaniu do analiz funkcji hiperbolicznej. Równanie, dostosowane do potrzeb zagadnienia, przyjmuje postać:

$$s(P) = \frac{P}{k \left(1 - \left(\frac{P}{\theta Q_{zgr}} \right)^m \right)^n} \quad (1)$$

gdzie:

$s(P)$ – przemieszczenie w funkcji obciążenia [m],

k – zastępcza stała sprężystości fundamentu wciskanego odpowiadająca stosunkowi obciążenia do osiadania jednostkowego spowodowanego tym obciążeniem; zastępcza stała sprężystości ma celu określenie początkowej fazy pracy fundamentu wciskanego; przyjęto założenie, że w tej fazie pracy wartość zastępczego współczynnika sprężystości jest identyczna dla fundamentów wciskanych i wyciąganych, [N/m],

P – zadane obciążenie pionowe działające na fundament [N],

Q_{zgr} – zastępcza nośność graniczna podłoża fundamentu równa $1,06 \cdot Q_{gr}$, gdzie

Q_{gr} – graniczna nośność podłoża na wciskanie lub wyciąganie, ustalona na podstawie doświadczenia [N] (wartość 1,06 jest wynikiem analiz optymalizacyjnych opisu krzywej),

m, n – wykładniki funkcji dobierane na podstawie krzywych doświadczalnych otrzymanych w badaniach fundamentów pojedynczych,

θ – współczynnik redukujący wartość Q_{gr} , zależny od wzajemnego rozstawu, zagłębienia i ustawienia fundamentów w grupie oraz głównego kierunku obciążenia, ustalony według wzoru (2).

Analiza dotychczasowych badań i rozwiązań teoretycznych [2, 3, 5] pozwoliła zaproponować wzór na θ uwzględniający wpływ rozstawu fundamentów i ich głębokości wyrażony stosunkiem H/a oraz wpływ umiejscowienia fundamentu w układzie fundamentów. Zaproponowano następujący wzór na współczynnik θ :

$$\theta = \frac{M+1}{2} \cdot \left[\frac{M+1}{2} + \frac{M-1}{2} \cdot \cos^{\frac{1}{5}} 4\alpha \right] \quad (2)$$

gdzie:

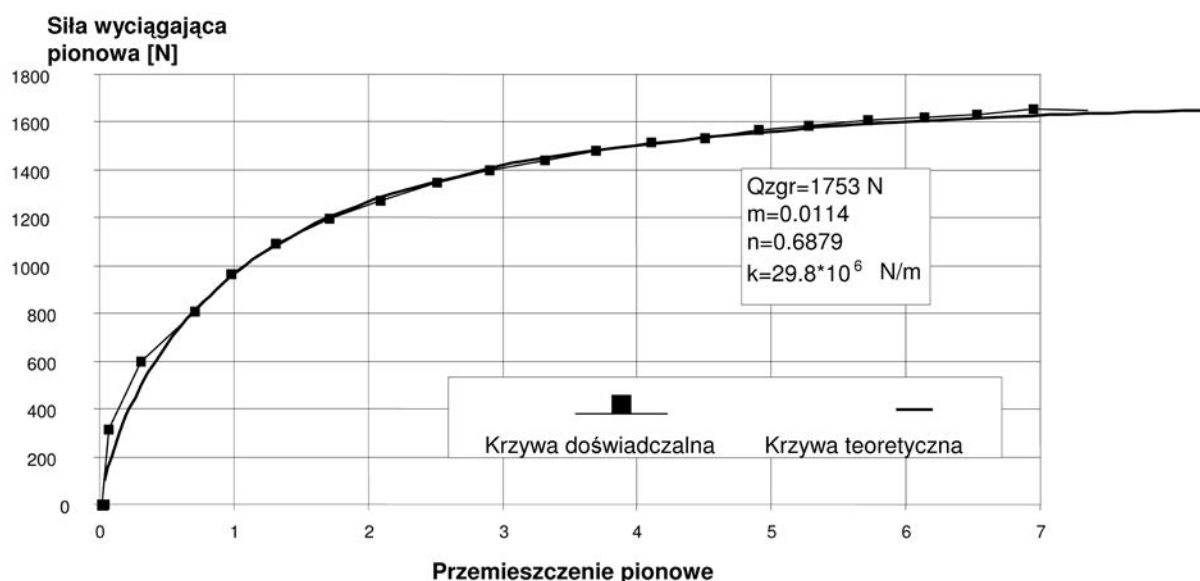
M – współczynnik uwzględniający wzajemne zachodzenie na siebie stref wpływu fundamentów wyciąganych zależny od ilorazu zagłębienia do rozstawu (H/a); wartości współczynnika ustalono na podstawie nośności podłoża uzyskanych przez fundamenty pojedyncze i fundamenty pracujące w grupie, przy kierunku działania obciążenia poziomego równym 0° względem osi głównych układu,

α – kąt działania zewnętrznego obciążenia poziomego w stosunku do osi układu.

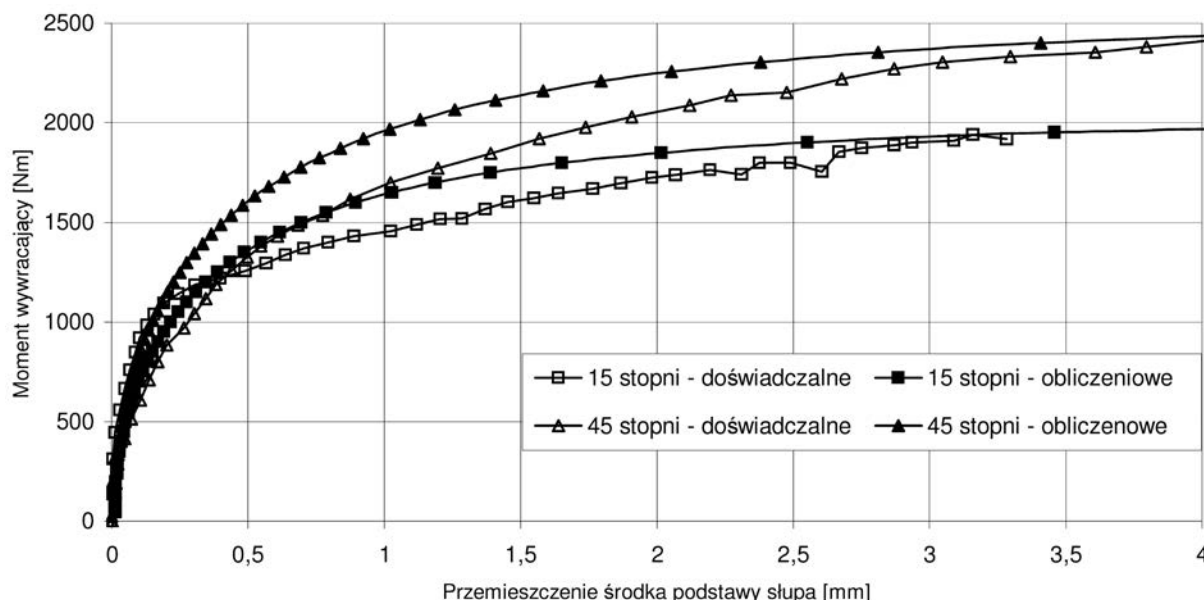
Zakładając, że charakterystykę nieliniową sprężystości ustalono na podstawie obciążania pojedynczego fundamentu i zapisano w postaci funkcji (1) (rys. 3) oraz że cały układ sił jest w równowadze, zbudowano układ równań opisujący chwilowy stan układu zależny od wartości obciążenia zewnętrznego. Przyjęto również założenie, że wierzchołki fundamentów przez cały czas leżą w jednej płaszczyźnie.

Za obciążenia działające na układ przyjęto moment wywracający rozłożony na dwie ortogonalne składowe (M_{Ox} , M_{Oy} [Nm]) oraz obciążenie pionowe Q [N].

Za cechy charakterystyczne układu uznano: rozstaw fundamentów, ich zagłębienie, krzywą przemieszczenie – obciążenie wyznaczoną dla pojedynczego fundamentu obciążonego siłą pionową. Opisu geometrii układu dokonano, podając współ-



Rys. 3. Zastąpienie krzywej doświadczalnej otrzymanej dla wyciąganego fundamentu grzybkowego o zagłębieniu $h = 60$ cm krzywą hiperboliczną



Rys. 4. Pomierzone i doświadczalne wartości przemieszczenia środka podstawy modelu konstrukcji wsporczej przy różnych kierunkach działania obciążenia poziomego

rzędne poszczególnych fundamentów w płaskim układzie XOY (x_i, y_i) [m] oraz ich rozstaw a [m] (przyjęto, że podstawa układu fundamentów jest kwadratowa).

Wartościami poszukiwanymi są wartość granicznego momentu wywracającego M [Nm] oraz wartości sił P_i [N] i przemieszczeń s_i [m] poszczególnych fundamentów.

Na potrzeby rozwiązania wprowadzono do obliczeń zmienne pomocnicze w postaci współczynników geometrycznych A, B, C opisujących równanie wspólnej płaszczyzny przemieszczenia wierzchołków fundamentów.

Zagadnienie opisano za pomocą układu złożonego z siedmiu równań. Pierwsze równanie wyraża równowagę sił pionowych. Równania drugie i trzecie wyrażają równowagę momentów działających w kierunku Ox i Oy . Pozostałe równania odpowiadają równości przemieszczenia pojedynczego fundamentu wywołanego siłą zewnętrzną oraz tegoż przemieszczenia wynikającego z równania płaszczyzny łączącej wszystkie wierzchołki fundamentów.

Układ równań wyrażający równowagę grupy fundamentów obciążonych siłą pionową i momentem wywracającym ma następującą postać:

$$\begin{cases} P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = Q \\ P_1 \cdot a + P_2 \cdot a - P_3 \cdot a - P_4 \cdot a = 2 \cdot M_{OX} \\ P_1 \cdot a - P_2 \cdot a - P_3 \cdot a + P_4 \cdot a = 2 \cdot M_{OY} \\ k \cdot (A \cdot x_i + B \cdot y_i + C) = \frac{P_i}{\left[1 - \left(\frac{P_i}{\theta \cdot Q_{zgr}}\right)^{n_i}\right]^{m_i}}, i = 1 \dots 4 \end{cases} \quad (3)$$

Rozwiązanie układu równań uzyskuje się drogą iteracyjną w postaci tabeli z wartościami sił P_i i przemieszczeń s_i poszczególnych fundamentów, w zależności od wartości momentu wywracającego M . Za pomocą równania (3) można znaleźć siły i przemieszczenia każdego fundamentu przy dowolnej wartości

i kierunku obciążenia zewnętrznego. Można również określić maksymalny, dopuszczalny ze względu na przyjęte kryteria nośności, moment wywracający działający na konstrukcję. Takim kryterium może być dopuszczalne przemieszczenie pojedynczego fundamentu, dopuszczalna wartość siły wyciągającej działającej na fundament bądź dopuszczalne przechylenie konstrukcji.

W zależności od przyjętego kryterium zakończenie obliczeń jest równoważne ze znalezieniem odpowiadającej wartości maksymalnego momentu wywracającego.

Wyniki przeprowadzonych rozważań porównano z rezultatami badań. Uzyskane wyniki na drodze obliczeń i doświadczeń wykazały dużą zgodność (rys. 4). Podobną zgodność otrzymano także w przypadku dodatkowo przeprowadzonych badań sprawdzających. Wykazano, że zastosowanie krzywej hiperbolicznej (rys. 3) w celu odwzorowania krzywej doświadczalnej pozwala nie tylko na poprawny opis procesu, ale również na identyfikację zachowania się poszczególnego fundamentu w grupie w zależności od siły przykładanej do układu.

LITERATURA

1. Broms B.: Bruchlast für schräg belastete Pfähle. Staatliches schwedisches geotechnisches Institut, Mitteilungsheft Nr. 9, Stockholm 1965.
2. Sokołowski P.: Nośność grupy fundamentów grzybkowych w gruncie niespoistym. Praca doktorska. Politechnika Gdańska 1997.
3. Żmudziński Z.: Analiza pracy wybranych rodzajów fundamentów prefabrykowanych obciążonych siłą wyciągającą w świetle badań doświadczalnych. Politechnika Krakowska, Monografia 42, Kraków 1986.
4. Projekt Badawczy, nr 9.9390.91.02., nr umowy z KBN 0270/s6/92/02/. „Stateczność fundamentów linii elektroenergetycznych w złożonych układach obciążeń” 1992-1995.
5. Projekt Badawczy, nr 7.0488.91.0, nr umowy z KBN 0266/7/91. „Stateczność fundamentów bezpośrednich w złożonych układach obciążeń zewnętrznych” 1991-1994.