

## Analiza nośności pionowej i osiadania grupy pali

Program: Grupa pali

Plik powiązany: Demo\_manual\_17.gsp

Celem niniejszego przewodnika jest przedstawienie wykorzystania programu GEO5 GRUPA PALI.

### Wprowadzenie

Metody obliczeń zastosowane w programie Grupa Pali można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- metoda sprężysta,
- metoda analityczna.

**Metoda sprężysta** pozwala na obliczenie przemieszczenia całego fundamentu palowego oraz na określenie sił wewnętrznych występujących wzdłuż poszczególnych pali. Obciążenie definiowane jest jako działający w przestrzeni układ sił  $N, M_x, M_y, M_z, H_x, H_y$ . Ważnym uzyskiwanym w obliczeniach wynikiem jest obrót oraz przemieszczenie sztywnego odczepu palowego, a także możliwość wymiarowania zbrojenia poszczególnych pali w dalszej kolejności. Metoda sprężysta jest szczegółowo opisana w *Przewodniku Inżyniera nr 18 Analiza stanu przemieszczenia oraz wymiarowanie grupy pali*.

**Metoda analityczna** jest przeznaczona do stosowania w przypadku obliczania nośności pionowej grupy pali obciążonych siłą pionową normalną. Wynikiem obliczeń jest nośność pionowa fundamentu palowego oraz średnie osiadanie pala.

Metodę analityczną ze względu na rodzaj gruntu można podzielić na dwa rodzaje:

- dla gruntów spoistych,
- dla gruntów niespoistych.

Nośność pionowa grupy pali w **gruntach spoistych** analizowana jest w warunkach bez odpływu. Określana jest ona jako nośność pionowa bryły gruntu w kształcie graniastostłupa obrysowanego wokół grupy pali zgodnie z FHWA. Jedynym parametrem gruntu niezbędnym do przeprowadzenia tych obliczeń jest spójność całkowita gruntu  $c_u$  (wytrzymałość gruntu na ścinanie bez odpływu).

Osiadanie grupy pali w gruntach spoistych (w warunkach bez odpływu) wyznaczone jest jako osiadanie bezpośredniego fundamentu zastępczego (tak zwane *osiadanie konsolidacyjne grupy pali* lub w skrócie *metoda 2:1*).

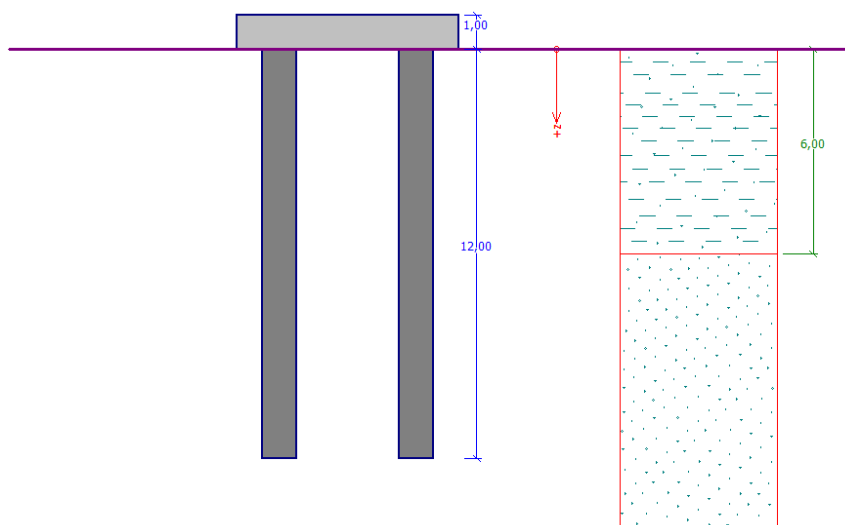
W celu przeprowadzenia oceny osiadania grupy pali uwzględniany jest wpływ głębokości fundamentu oraz zasięg strefy oddziaływania zgodnie z metodologią obliczania osiadania posadowień bezpośrednich. Na obszarze Czech oraz Słowacji istnieje możliwość zastosowania procedury zgodnej z normą CSN 73 1001 – *Grunt pod fundamentami bezpośrednimi* do obliczania osiadania grupy pali.

Analiza grupy pali w **gruntach niespoistych** wykorzystuje procedury obliczeniowe dla pojedynczego pala w **gruntach niespoistych** (*Przewodnik Inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala*). Jedynym dodatkowym elementem analizy jest tak zwany współczynnik efektywności pali w grupie służący do redukcji całkowitej nośności pionowej fundamentu palowego.

Krzywa obciążeniowa (obciążenie - osiadanie) dla grupy pali w gruntach niespoistych wyznaczana jest dokładnie w taki sam sposób jak dla pojedynczego pala (*Przewodnik Inżyniera nr 14 Analiza osiadania pojedynczego pala*) zgodnie z metodą prof. H. G. Poulosa, z wyjątkiem całkowitego osiadania grupy pali w gruntach niespoistych, które musi zostać zwiększone przez tak zwany współczynnik osiadania grupy pali  $g_f$ , który uwzględnia wpływ pracy pali w grupie. Wartość tego współczynnika jest uzależniona od geometrii grupy pali.

### Sformułowanie problemu

Ogólne sformułowanie problemu zostało przedstawione w rozdziale 12 (*Przewodnik Inżyniera nr 12 Pale fundamentowe – wprowadzenie*). Analiza nośności pionowej grupy pali powinna być prowadzona zgodnie z normą EN 1997-1 (podejście obliczeniowe DA 2) podobnie jak w *Przewodniku Inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala*. Składowe  $N, M_y, H_x$  obciążenia wypadkowego przyłożone są do środka górnej powierzchni oczepu grupy pali.



*Schemat ogólny zadania – grupa pali*

### Rozwiązanie

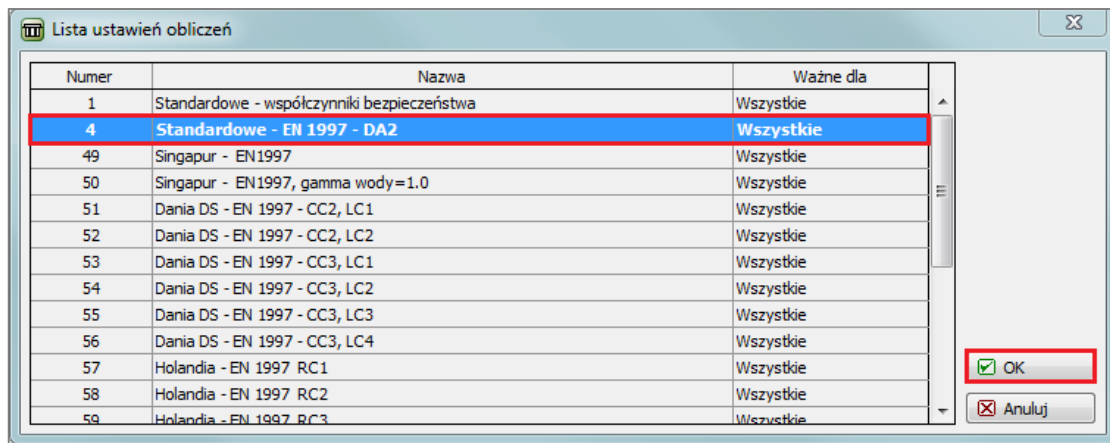
Aby wykonać zadanie skorzystaj z programu Grupa Pali zawartego w pakiecie GEO5. Aby ułatwić i przyspieszyć wprowadzanie danych (model konstrukcji, grunty i ich przyporządkowanie do profilu) wykorzystamy możliwość importowania danych z *Przewodnika Inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala*.

Niniejszy przykład przedstawia analizę grupy pali z wykorzystaniem różnych metod analitycznych (NAVFAC DM 7.2, metoda naprężeń efektywnych oraz CSN 73 1002), takich samych jak w przypadku

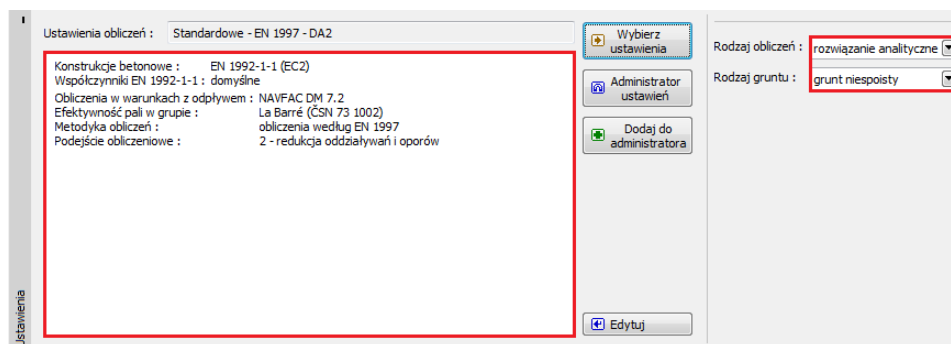
obliczeń pojedynczego pala, ze zwróceniem szczególnej uwagi na parametry wejściowe mające wpływ na ostateczne wyniki obliczeń.

## Wprowadzanie danych

W ramce "Ustawienia" naciśnij przycisk "Wybierz ustawienia", a następnie wybierz z listy dostępnych ustawień obliczeń numer 4 – "Standardowe – EN 1997 – DA2". Następnie wybierz metodą obliczania nośności pionowej jako *rozwiązanie analityczne*. W przedmiotowym przypadku założymy występowanie **gruntu niespoistego**, a obliczenia grupy pali przeprowadzimy w *warunkach z odpływem*.

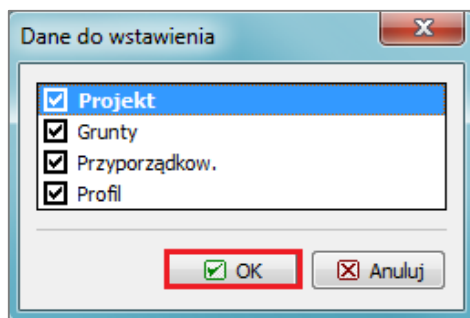


Okno dialogowe "Lista ustawień obliczeń"



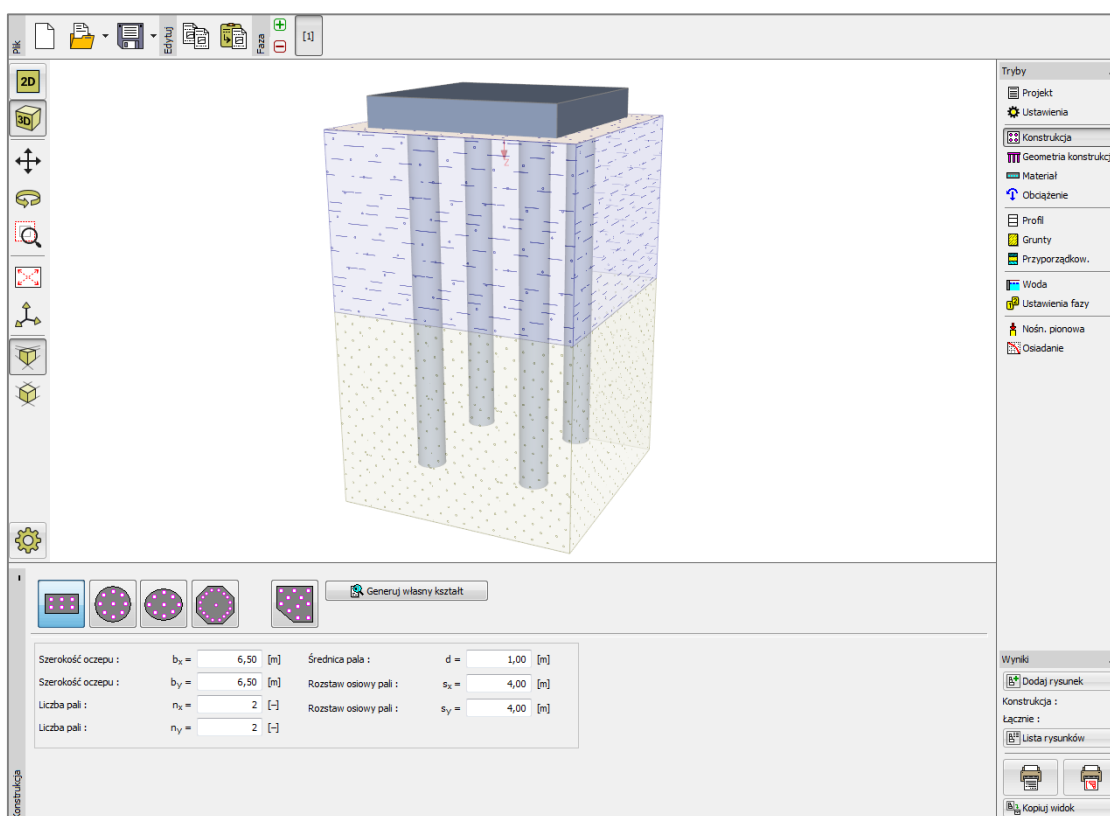
Ramka „Ustawienia obliczeń”

Wykorzystamy możliwość importowania danych, co pozwoli uniknąć konieczności ponownego wprowadzania danych wejściowych. Na początek musimy otworzyć zadanie rozwiązane zgodnie z *Przewodnikiem Inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala* w programie GEO5 Pal, a następnie wybrać przycisk "Edytuj" znajdujący się w lewym górnym oknie programu i wybrać opcję "Kopiuj dane". Kolejnym krokiem będzie powrót do programu GEO5 Grupa pali, wybranie przycisku "Edytuj" oraz kliknięcie opcji "Wstaw dane". Przeprowadzona operacja pozwoli na przeniesienie niezbędnych danych wejściowych, a zatem znacząca część pracy związanej z wprowadzaniem danych została znakomicie przyspieszona.



Okno dialogowe „Dane do wstawienia”

Następnie przejdziemy do ramki “Konstrukcja”, gdzie określimy wymiary w planie fundamentu palowego (oczezu grupy pali), liczbę pali w grupie, ich średnicę oraz odległość między środkami (między palami w kierunku  $x$  lub  $y$ ).



Ramka „Konstrukcja”

Przejdziemy teraz do ramki “Geometria”, gdzie zdefiniujemy głębokość posadowienia fundamentu, wyniesienie głowicy pala, grubość płyty fundamentowej oraz długość pali w grupie. Wszystkie pale w grupie mają takie same średnice i długości.

Następnie przejdź do ramki "Materiał" i wybierz materiał, z którego wykonany jest pal fundamentowy – ciężar objętościowy pala przyjmij jako  $\gamma = 23.0 \text{ kN/m}^3$ . Kolejnym krokiem będzie zdefiniowanie obciążenia. Nośność pionowa grupy pali jest obliczana w odniesieniu do obciążenia obliczeniowego, natomiast obciążenie użytkowe służy do wyznaczenia osiadania.

Okno dialogowe "Nowe obciążenie" – obciążenie obliczeniowe

Okno dialogowe "Nowe obciążenie" – obciążenie użytkowe (charakterystyczne)

Ocenę nośności grupy pali wykonamy przechodząc do ramki "Nośność pionowa". Aby spełnić warunek stanu granicznego wartość nośności  $R_g$  musi być wyższa od wartości obciążenia obliczeniowego  $V_d$  (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1). W przypadku zastosowania metody obliczeniowej **NAVFAC DM 7.2** oraz zastosowania współczynnika efektywności grupy pali metodą *La Barré* (CSN 73 1002) zgodnie z początkowymi ustawieniami obliczeń, wyniki nośności pionowej grupy pali są następujące:

– **La Barré** (CSN 73 1002):  $\eta_g = 0.84$ .

$$R_g = 7491.90 \text{ kN} > V_d = 6991.86 \text{ kN} \quad \text{SPEŁNIA WYMAGANIA}$$

The screenshot displays the GEO5 software interface. The main window shows a 2D cross-section of a foundation with two piles. The foundation width is 1.00, and the pile length is 12.00. The soil profile is shown on the right. The results panel at the bottom provides the following data:

Wyniki	
Analiza nośności pionowej grupy pali w gruntach niespoistych	
Maks. siła pionowa zawiera ciężar własny płyty fundamentowej.	
Nośność poboczniczy pala	$R_{01} = 676,82 \text{ kN}$
Nośność podstawy pala	$R_{02} = 1542,24 \text{ kN}$
Nośność pionowa pojedynczego pala	$R_{03} = 2219,06 \text{ kN}$
Efektywność pali w grupie	$\eta_g = 0,84$
Nośność pionowa grupy pali	$R_g = 7491,90 \text{ kN}$
Maksymalna siła pionowa	$V_d = 6991,86 \text{ kN}$
$R_g = 7491,90 \text{ kN} > 6991,86 \text{ kN} = V_d$	
Nośność pionowa grupy pali SPEŁNIA WYMAGANIA	

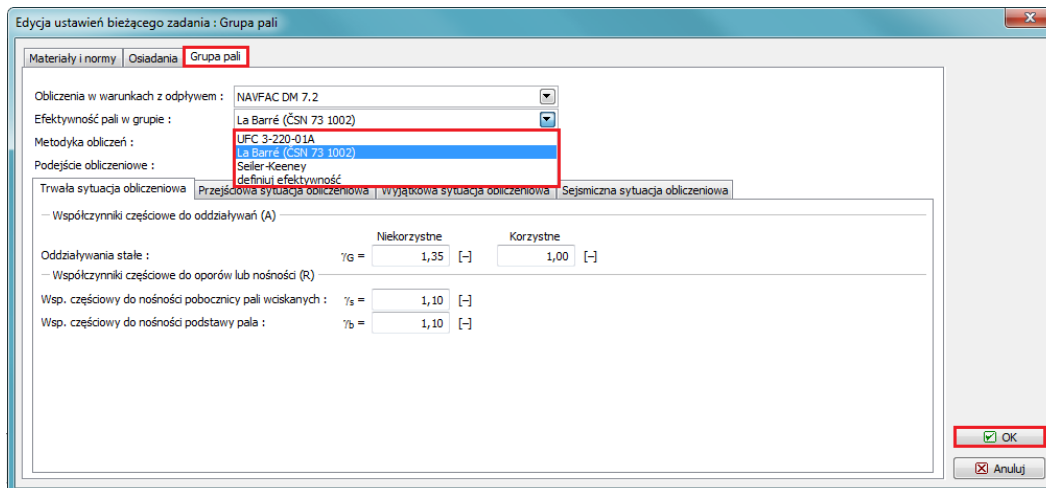
### Ramka "Nośność pionowa"

*Uwaga: Obliczona nośność pionowa grupy pali w gruntach niespoistych musi zostać dodatkowo zredukowana, co jest efektem wpływu pracy pojedynczych pali na statykę całego fundamentu palowego. Program zawiera kilka różnych metod wyznaczania współczynnika efektywności grupy pali  $\eta_g$ . Ten bezwymiarowy parametr (zazwyczaj w zakresie od 0.5 do 1.0) zmniejsza wartość całkowitej nośności pionowej grupy pali  $R_g$  ze względu na:*

- liczbę pali w grupie  $n_x, n_y$ ;
- odległości między środkami pali  $s_x, s_y$ ;
- średnicę pali w grupie  $d$ .

*Współczynnik efektywności grupy pali  $\eta_g$  zależy wyłącznie od cech geometrycznych grupy pali, a nie od zastosowanej metody obliczeń.*

Następnie możemy sprawdzić nośność pionową grupy pali przy wykorzystaniu innych metod wyznaczania współczynnika efektywności grupy pali  $\eta_g$ . Przejdź do ramki "Ustawienia" i naciśnij przycisk "Edytuj" w lewym dolnym rogu okna, a następnie wybierz z listy dostępnych metod obliczania współczynnika efektywności pali w grupie pozostałe metody „UFC 3-220-01A” oraz „Seiler-Keeney” jedna po drugiej.



Okno dialogowe „Edycja ustawień bieżącego zadania“

Dla pozostałych metod obliczania nośności pionowej sposób postępowania jest identyczny jak w zadaniu zawartym w *Przewodniku Inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala*.

Wyniki obliczeń nośności pionowej grupy pali w gruntach niespoistych (tj. w warunkach z odpływem) w zależności od metody obliczeniowej oraz sposobu wyznaczania współczynnika efektywności pali w grupie  $\eta_g$  przedstawiono w poniższej tabeli:

- **La Barré** (CSN 73 1002):  $\eta_g = 0.84$ ,
- **UFC 3-220-01A**:  $\eta_g = 0.80$ ,
- **Seiler-Keeney**:  $\eta_g = 0.99$ .

EN 1997-1, DA2 (grunt niespoisty) Metoda obliczeń	Efektywność pali w grupie $\eta_g$ [-]	Nośność pionowa pojedynczego pala $R_c$ [kN]	Nośność pionowa grupy pali $R_g$ [kN]
NAVFAC DM 7.2	0.84	2219.06	7491.90
	0.80		7100.98
	0.99		8829.18
NAPRĘŻEŃ EFEKTYWNYCH	0.84	6172.80	20 840.41
	0.80		19 572.96
	0.99		24 560.34
CSN 73 1002	0.84	5776.18	19 501.36
	0.80		18 483.79
	0.99		22 982.28

Podsumowanie wyników – nośność pionowa grupy pali w warunkach z odpływem

### Wnioski (nośność pionowa grupy pali)

Obliczona nośność pionowa grupy pali  $R_g$  w gruntach niespoistych musi zostać zredukowana (wykorzystując tak zwany współczynnik efektywności grupy pali  $\eta_g$ ), co jest efektem wpływu pracy pojedynczych pali na statykę całego fundamentu palowego. Ogólnie rzecz biorąc im mniejszy rozstaw osiowy pali tym większy wpływ pojedynczych pali na charakter pracy całego ustroju.

Projektant powinien zawsze ostrożnie rozważyć, czy wybrać obliczenia w warunkach z odpływem, czy też bez odpływu wody z porów w gruncie w przypadku analizowania nośności pionowej grupy pali metodą analityczną. Powyższe podejścia obliczeniowe różnią się bardzo istotnie od siebie.

### Analiza osiadania grupy pali

Analiza osiadania grupy pali jest identyczna jak w przypadku pojedynczego pala, z tym że obliczona wartość osiadania jest ostatecznie mnożona przez współczynnik osiadania grupy pali  $g_f$ .

*Uwaga: Wartość współczynnika osiadania grupy pali  $g_f$  uzależniona jest od geometrii ustroju palowego, to jest od średnicy pali w grupie oraz szerokości głowicy pala.*

Wyniki obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli:

Metoda obliczania nośności pionowej grupy pali	Obciążenie na granicy mobilizacji tarcia na pobocznicy $R_{yu}$ [kN]	Osiadanie grupy pali $s$ [mm] dla siły $V = 4000$ kN
NAVFAC DM 7.2	3184,47	34,8
NAPRĘŻEŃ EFEKTYWNYCH	7274,43	15,3
CSN 73 1002	8057,77	15,3

*Podsumowanie wyników – osiadanie grupy pali według Poulosa*

### Wnioski (osiadanie grupy pali):

Przeprowadzona analiza pokazuje, że nośności pionowe grupy pali są różne jeśli rozpatrujemy całkowite osiadania pali. Metoda obliczania osiadania grupy pali w gruntach niespoistych (warunki z odpływem) oparta jest na liniowej teorii osiadania, która do wykonania obliczeń wymaga wprowadzenia oporu tarcia pobocznicy  $R_s$  oraz nośności pod podstawą pala  $R_b$ .

Przeciwnym podejściem jest metoda obliczania osiadania grupy pali w gruntach spoistych (warunki bez odpływu) polegająca na obliczeniu osiadania zastępczego fundamentu bezpośredniego. Metoda ta określana jest w literaturze często jako *osiadanie konsolidacyjne grupy pali* (ang. *consolidation settlement of a pile group*) lub w skrócie *metoda 2:1* (ang. *2:1 method*). Przeprowadzenie obliczeń osiadania wymaga w tym przypadku uwzględnienia wpływu głębokości fundamentu oraz zasięgu strefy oddziaływania zgodnie z metodologią obliczania osiadania posadowień bezpośrednich.



Przedstawione dwie metody obliczeniowe różnią się znacząco od siebie i prowadzą do całkowicie rozbieżnych wyników. Autorzy programu GEO5 zalecają obliczanie nośności pionowej i osiadania grupy pali zgodnie ze stosowaną na danym obszarze praktyką inżynierską.