

Analiza nośności pionowej i osiadania grupy pali

Program: Grupa pali

Plik powiązany: Demo_manual_17.gsp

Celem niniejszego przewodnika jest prezentacja możliwości i użytkowania 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 oddziałujący w przestrzeni układ sił $N, M_x, M_y, M_z, H_x, H_y$. Ważnym uzyskiwanym w obliczeniach z zastosowaniem metody sprężystej wynikiem jest obrót oraz przemieszczenie sztywnego oczepu 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 wyłącznie normalną siłą pionową. Wynikiem obliczeń jest nośność pionowa fundamentu palowego oraz średnie osiadanie pali.

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

- do gruntów spoistych,
- do 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*).

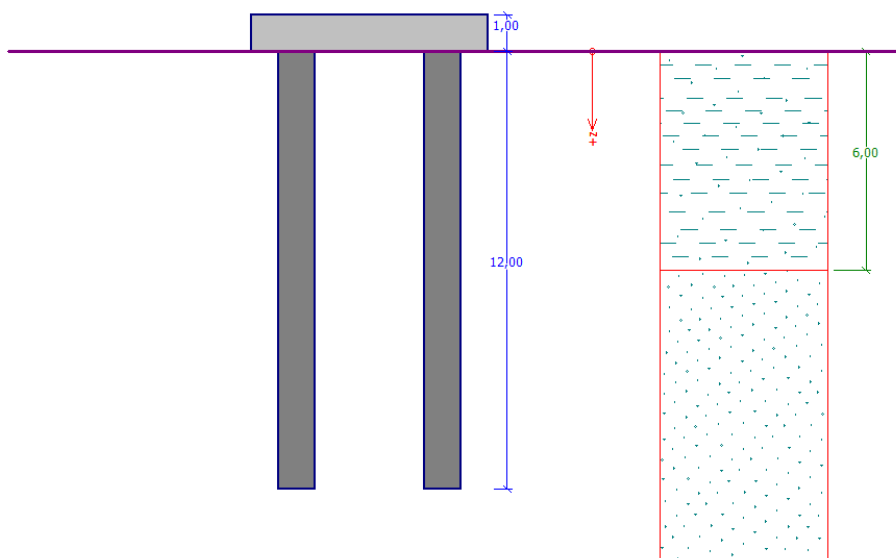
W celu przeprowadzenia oceny osiadania grupy pali uwzględniany jest wpływ głębokości fundamentu oraz zasięg strefy oddziaływania zgodnie z metodologią obliczania osiadania posadowień bezpośrednich. Na obszarze Czech oraz Słowacji istnieje możliwość zastosowania procedury zgodnej z normą CSN 73 1001 – *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 jest zwiększane przez tak zwany współczynnik osiadania grupy pali g_f , który uwzględnia wpływ pracy pojedynczych 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*). W zadaniu należy przeprowadzić analizę nośności pionowej grupy pali zgodnie z normą EN 1997-1 (podejście obliczeniowe DA 2) podobnie jak w *Przewodniku Inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala*. Wypadkowa całkowitego obciążenia złożonego ze składowych N, M_y, H_x przyłożona jest w środku górnej powierzchni oczepu grupy pali.



Schemat ogólny zadania – grupa pali

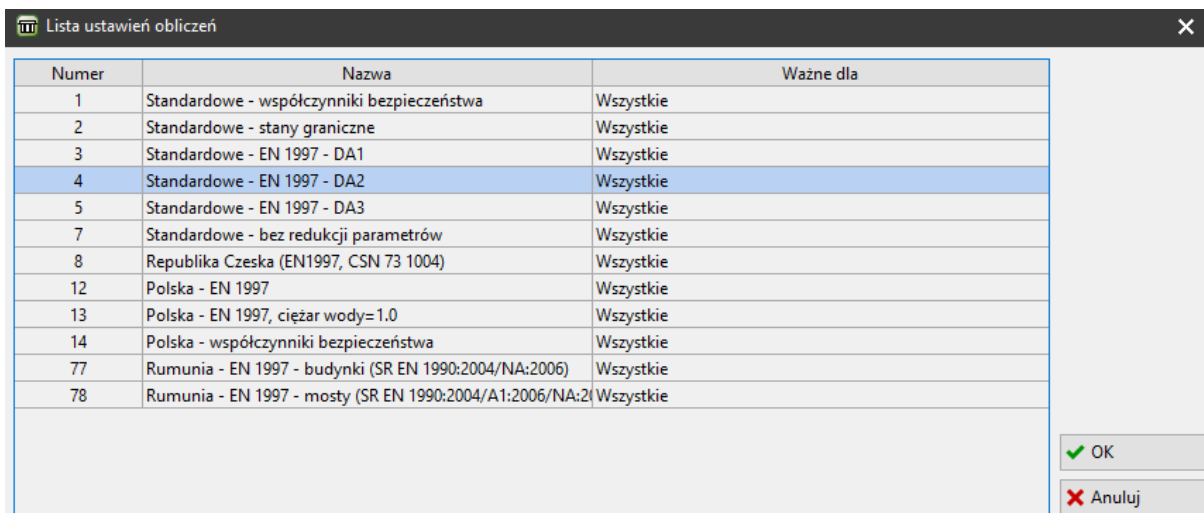
Rozwiązanie

W celu wykonania zadania skorzystaj z programu GEO5 Grupa Pali. 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*.

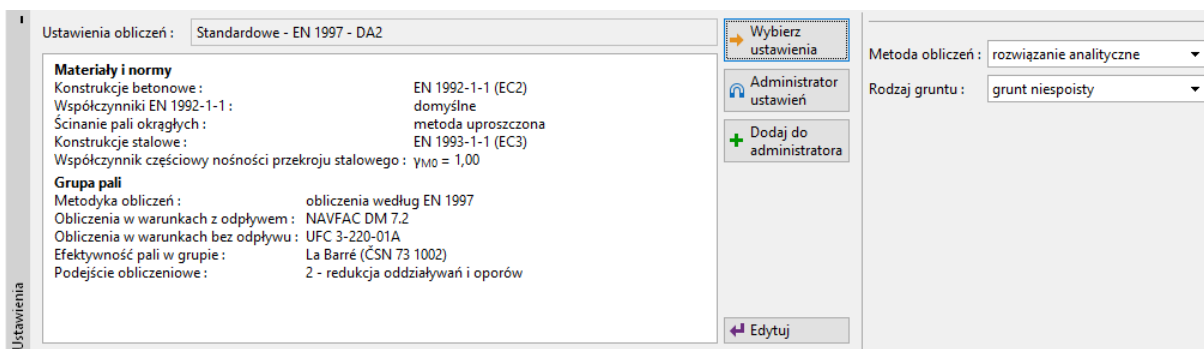
Niniejszy przykład przedstawia analizę grupy pali z wykorzystaniem różnych metod analitycznych (NAVFAC DM 7.2, metoda naprężeń efektywnych oraz CSN 73 1002), takich samych jak w przypadku obliczeń pojedynczego pala, ze zwróceniem szczególnej uwagi na parametry wejściowe mające wpływ na ostateczne wyniki 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 metodę obliczania nośności pionowej jako *rozwiązanie analityczne*. W niniejszym przykładzie założymy występowanie **gruntu niespoistego**, a obliczenia grupy pali przeprowadzimy w *warunkach z odpływem*.

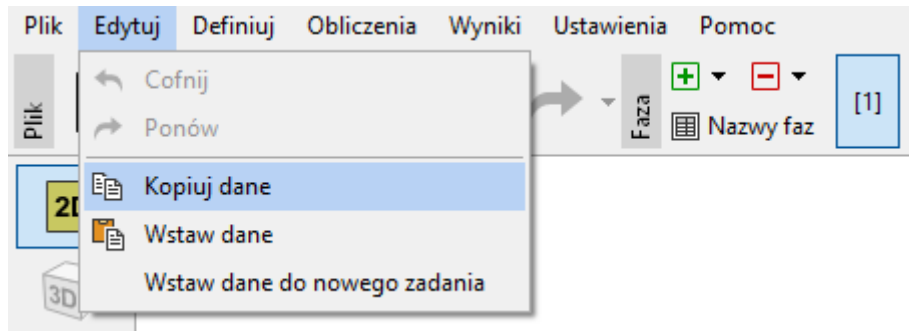


Okno dialogowe "Lista ustawień obliczeń"



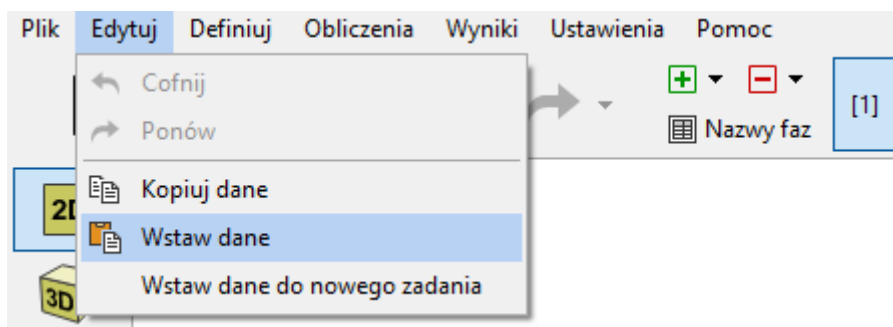
Ramka „Ustawienia obliczeń”

Wykorzystamy możliwość importowania danych, co pozwoli uniknąć konieczności ponownego wprowadzania wszystkich danych wejściowych. Na początek otworzymy zadanie rozwiązane zgodnie z *Przewodnikiem inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala* w programie GEO5 Pal. W górnym pasku narzędzi wybierzemy pozycję „Edytuj”, a następnie „Kopiuj dane”.



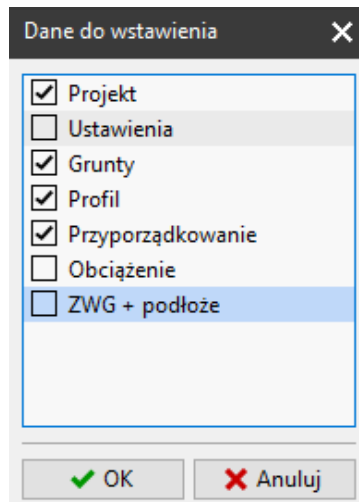
Program „Pal” – kopiowanie danych

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.



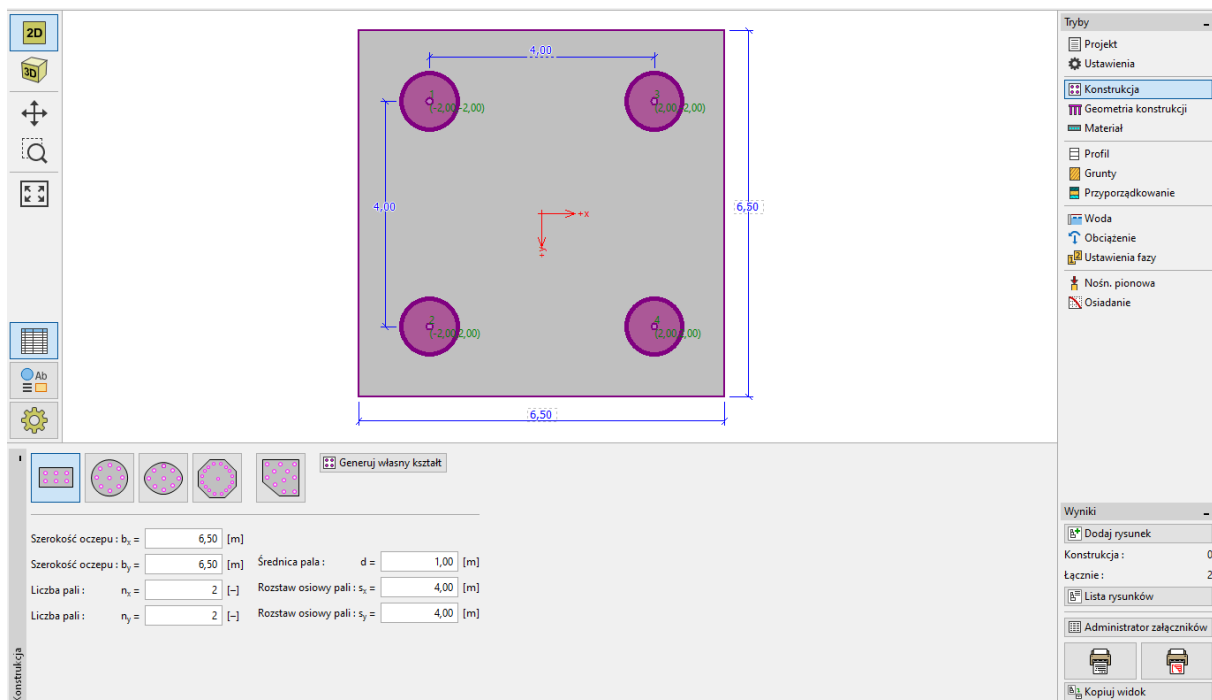
Program „Grupa pali” – wstawianie skopiowanych danych

W oknie dialogowym, które się pojawia wybierzemy dane do wstawienia – wszystkie dane oprócz „Ustawienia”, „Obciążenie” i „ZWG + podłoże”.



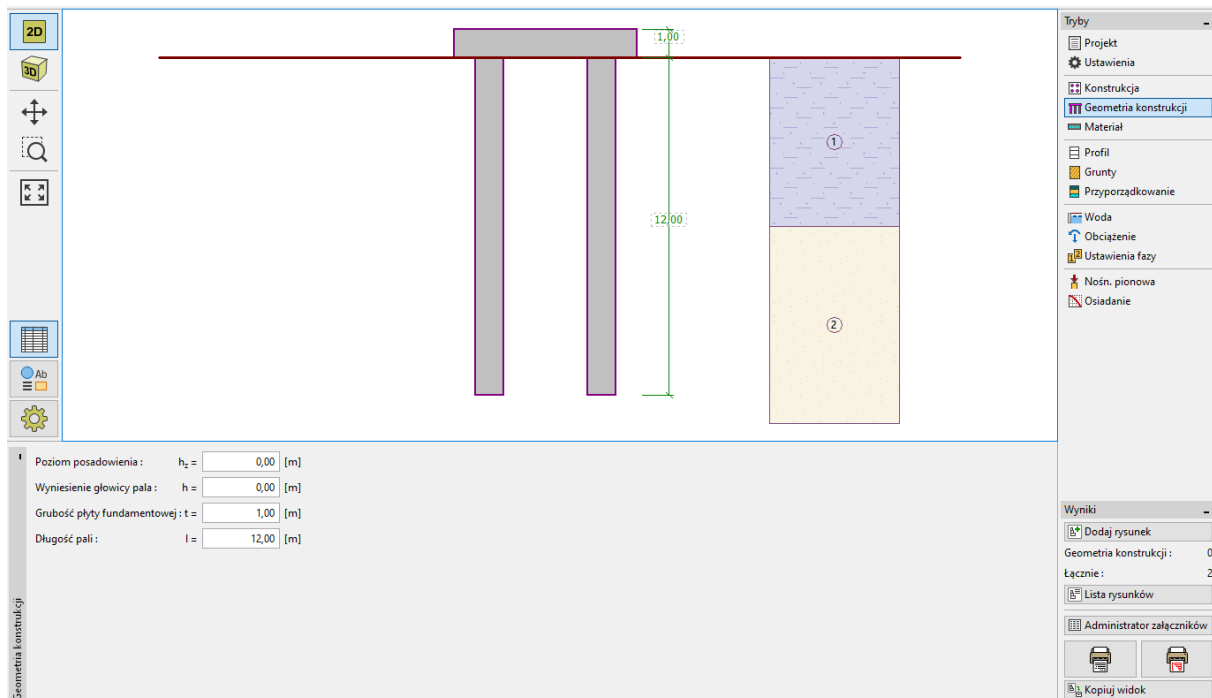
Program „Grupa pali” – dane do wstawienia

Następnie przejdziemy do ramki „Konstrukcja”, w której określimy wymiary w planie fundamentu palowego (oczepek grupy pali), liczbę pali w grupie, ich średnicę oraz odległość między środkami (między palami w kierunku x lub y). Zdefiniujemy szerokość oczepek równą 6.50m i zdefiniujemy liczbę pali 2 w obydwu kierunkach (x i y).



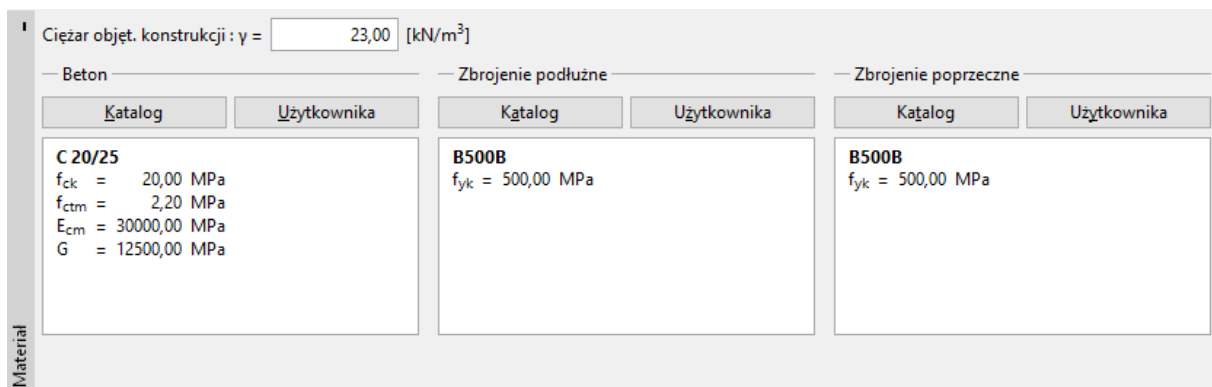
Ramka „Konstrukcja”

Przejdziemy teraz do ramki "Geometria konstrukcji", w której zdefiniujemy głębokość posadowienia fundamentu, wyniesienie głowicy pała, grubość oczepu fundamentowego oraz długości wszystkich pali w grupie. Wszystkie pale w grupie mają takie same średnice i długości.



Ramka „Geometria konstrukcji”

Następnie przejdź do ramki "Materiał" i wybierz materiał, z którego wykonany jest pał fundamentowy – ciężar objętościowy pała przyjmij jako $\gamma = 23.0 \text{ kN/m}^3$.



Ramka „Materiał”

Kolejnym krokiem będzie zdefiniowanie obciążenia. Nośność pionowa grupy pali jest obliczana w odniesieniu do obciążenia obliczeniowego, natomiast obciążenie użytkowe służy do wyznaczenia osiadania. W ramce „Obciążenie” kliknij na przycisk „Dodaj” i dodaj nowe obciążenie obliczeniowe oraz nowe obciążenie użytkowe (charakterystyczne), jak pokazano na dwóch rysunkach poniżej.

Nazwa:

Siła pionowa: $N =$ [kN]

Moment zginający: $M_x =$ [kNm]

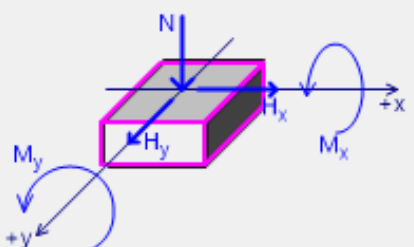
$M_y =$ [kNm]

Siła pozioma: $H_x =$ [kN]

$H_y =$ [kN]

Moment skręcający: $M_z =$ [kNm]

obliczeniowe użytkowe



Okno dialogowe "Nowe obciążenie" – obciążenie obliczeniowe

Nazwa:

Siła pionowa: $N =$ [kN]

Moment zginający: $M_x =$ [kNm]

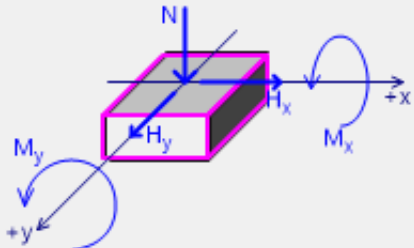
$M_y =$ [kNm]

Siła pozioma: $H_x =$ [kN]

$H_y =$ [kN]

Moment skręcający: $M_z =$ [kNm]

obliczeniowe użytkowe



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

Analizę nośności grupy pali wykonamy przechodząc do ramki “Nośność pionowa”. W celu spełnienia warunku 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 według *La Barré* (CSN 73 1002) zgodnie z początkowymi ustawieniami obliczeń, wyniki nośności pionowej grupy pali są następujące:

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

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

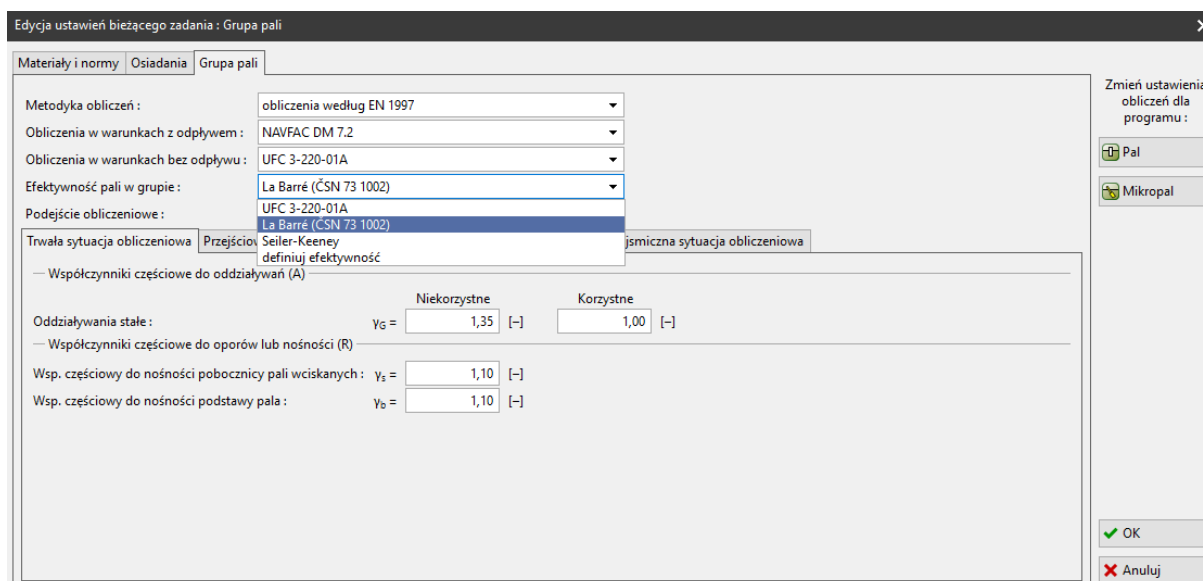
Ramka “Nośność pionowa”

Uwaga: Obliczona nośność pionowa grupy pali w gruntach niespoistych musi zostać dodatkowo zredukowana, co jest efektem wzajemnego wpływu pracy pojedynczych pali na siebie. Program ma wbudowane kilka różnych metod wyznaczania współczynnika efektywności grupy pali η_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 η_g zależy wyłącznie od cech geometrycznych grupy pali, a nie od zastosowanej metody obliczeń.

Możemy sprawdzić nośność pionową grupy pali przy wykorzystaniu innych metod wyznaczania współczynnika efektywności grupy pali η_g . W tym celu przejdź do ramki "Ustawienia" i naciśnij przycisk "Edytuj" na dole, w środkowej części 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”

Przy zastosowaniu 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 η_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 η_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 być zredukowana (za pomocą tak zwanego współczynnika efektywności grupy pali η_g), co jest efektem wpływu pracy pojedynczych pali na siebie. Ogólnie ujmując, im mniejszy jest rozstaw osiowy pali tym większy wpływ pojedynczych pali na siebie i mniejsza całkowita nośność grupy pali.

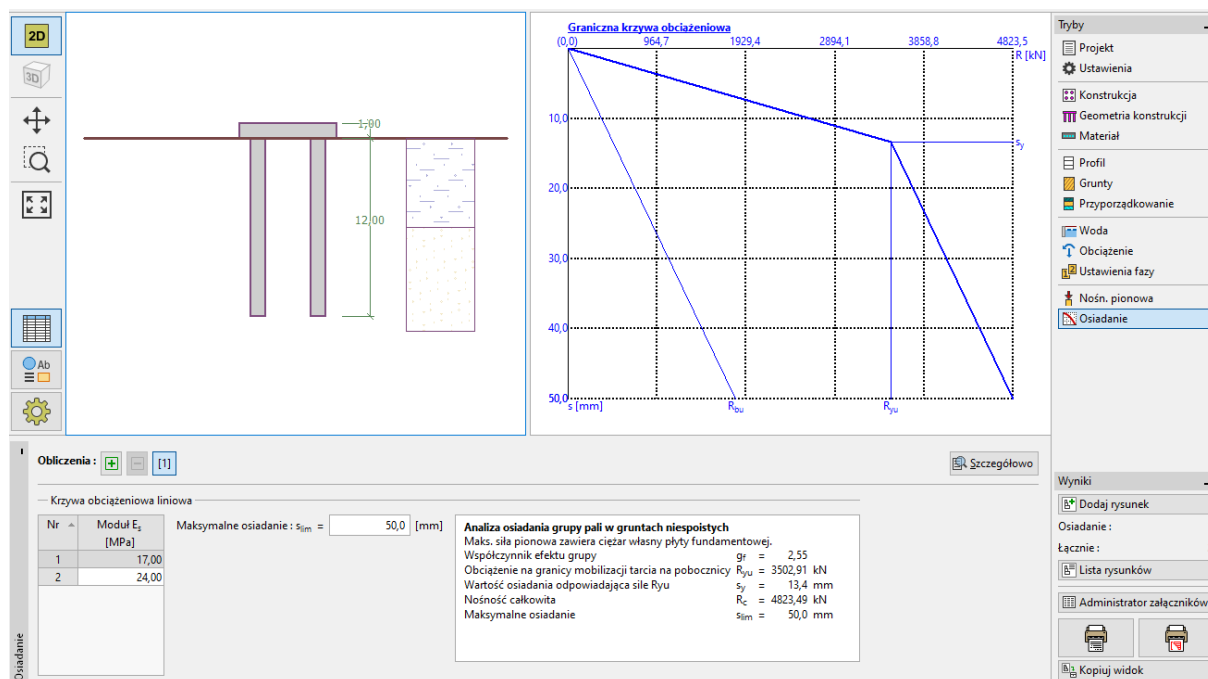
Projektant powinien zawsze ostrożnie rozważyć czy wybrać obliczenia w warunkach z odpływem, czy też bez odpływu wody w przypadku analizowania nośności pionowej grupy pali metodą analityczną. Powyższe podejścia obliczeniowe różnią się bardzo istotnie od siebie.

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.

W niniejszym przykładzie do analizy osiadania grupy pali zastosujemy teorię Poulosa. Zdefiniujemy wartości modułu E_s takie same jak wykorzystaliśmy w Przewodniku inżyniera nr 14 Analiza osiadania pojedynczego pala (17 MPa w pierwszej warstwie, 24 MPa w drugiej warstwie). Maksymalne osiadanie przyjmujemy jako 50 mm.



Ramka „Osiadanie” – metoda NAVFAC DM 7.2

Wyniki obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli:

Metoda obliczania nośności pionowej grupy pali	Obciążenie na granicy mobilizacji tarcia na poboczniczy R_{yu} [kN]	Osiadanie grupy pali s [mm] dla siły $V = 4000$ kN
NAVFAC DM 7.2	3502.91	27.2
NAPRĘŻEŃ EFEKTYWNYCH	8001.87	15.3
CSN 73 1002	8863.55	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 odplywem) wykorzystuje liniową teorię osiadania, która do wykonania obliczeń wymaga wprowadzenia oporu tarcia na poboczniczy R_s oraz nośności pod podstawą pala R_b .

Przeciwnym podejściem jest metoda obliczania osiadania grupy pali w gruntach spoistych (warunki bez odplywu) 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.