

Analiza nośności pionowej pojedynczego pala

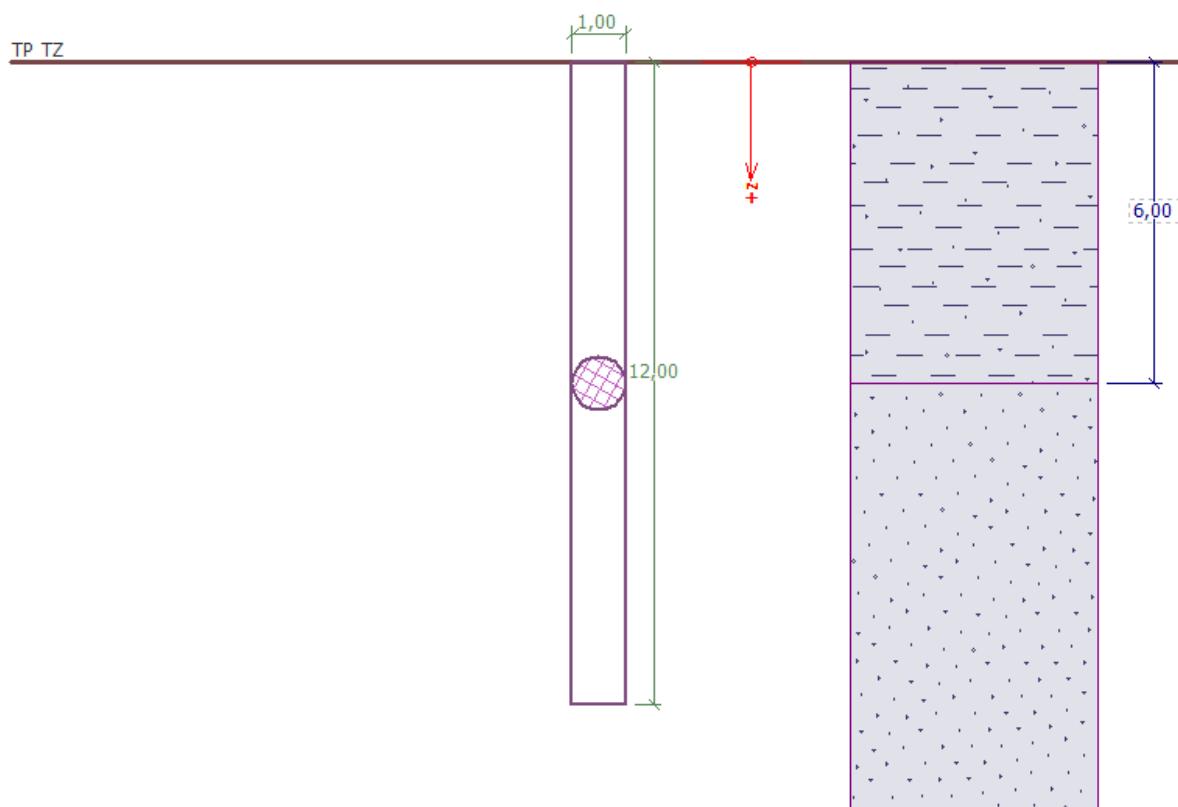
Program: Pal

Plik powiązany: Demo_manual_13.gpi

Celem niniejszego przewodnika jest przedstawienie wykorzystania programu GEO5 – PAL do obliczania nośności pionowej pojedynczego pala w odniesieniu do konkretnego praktycznego problemu.

Sformułowanie problemu

Ogólne sformułowanie problemu zostało przedstawione w poprzednim rozdziale (*Przewodnik Inżyniera nr 12 Pale fundamentowe – wprowadzenie*). Obliczenia nośności pionowej pojedynczego pala powinny być prowadzone w zgodności z wymogami stawianymi przez normę EN 1997-1 (podejście obliczeniowe nr 2). Składowe $N_1, M_{y,1}, H_{x,1}$ obciążenia wypadkowego przyłożone są do głowicy pala.



Schemat ogólny zadania – pojedynczy pal

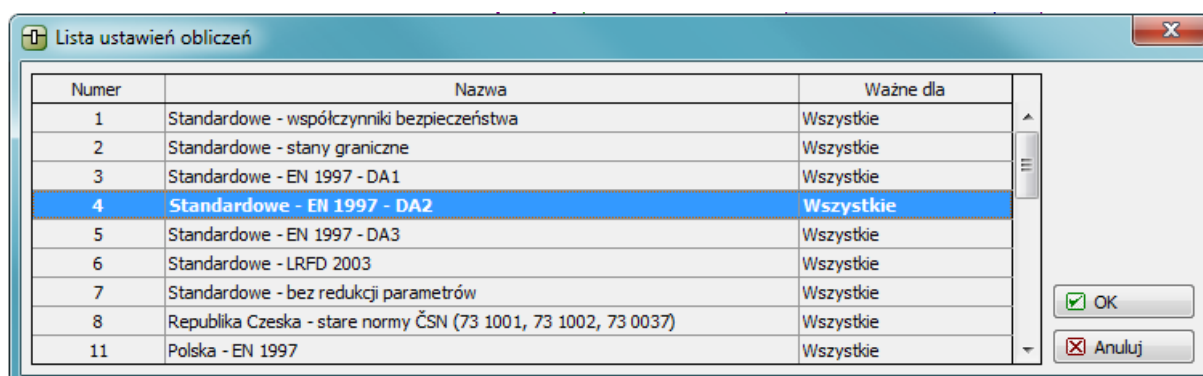
Rozwiązanie

Aby wykonać zadanie skorzystaj z programu Pal zawartego w pakiecie GEO5. Przewodnik przedstawia kolejne kroki rozwiązania tego przykładu.

Niniejszy przykład stanowi analizę nośności pojedynczego pala z wykorzystaniem różnych metod obliczeniowych (NAVFAC DM 7.2, metoda naprężeń efektywnych oraz CSN 73 1002) ze zwróceniem szczególnej uwagi na **parametry wejściowe** mające wpływ na ostateczne wyniki obliczeń.

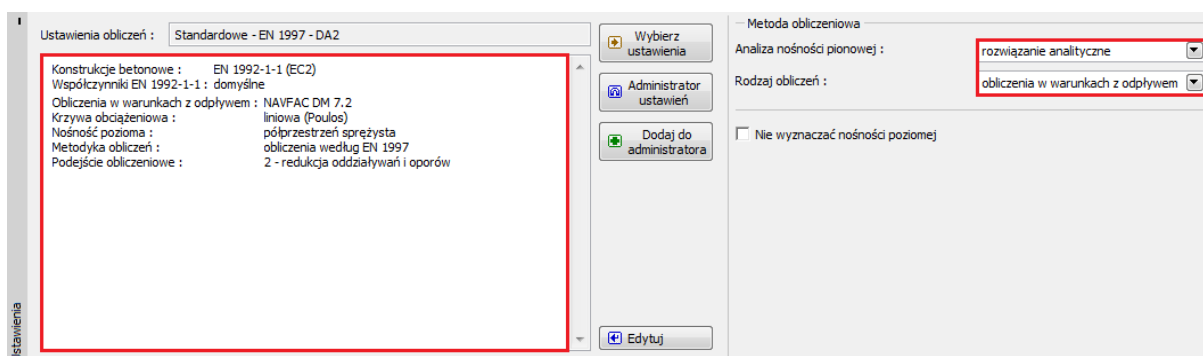
Wprowadzanie danych

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 naszym przypadku obliczenia pala przeprowadzimy w **warunkach z odpływem**.



Okno dialogowe "Lista ustawień obliczeń"

Do wstępnej analizy pala wykorzystamy metodę NAVFAC DM 7.2, która jest domyślna dla wybranego ustawienia obliczeń (patrz zrzut).



Ramka "Ustawienia obliczeń"

Następnie wprowadź profil geotechniczny podłoża. Pomiń ramkę „Moduł k_h ”, gdyż w tym zadaniu nie analizujemy nośności poziomej pala. W naszym przypadku nie ma znaczenia jaka wartość „kąta dyspersji β ” zostanie zdefiniowana dla gruntów, gdyż nie ma ona wpływu na wartość nośności pionowej pala.

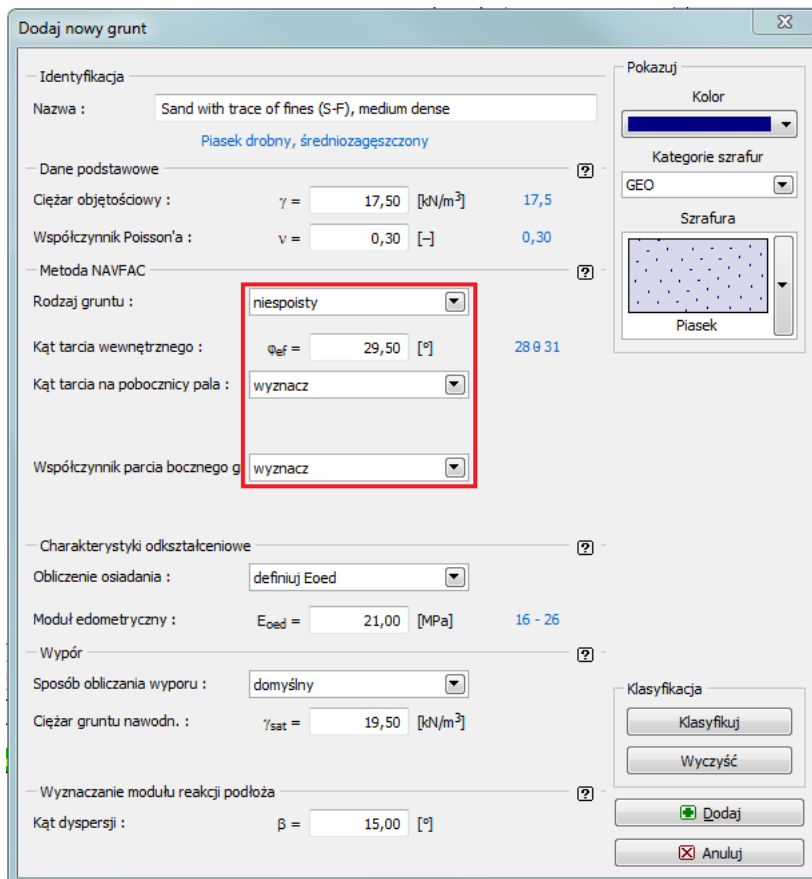
Następnie wprowadź pozostałe parametry gruntów oraz przyporządkuj grunty do profilu. Metoda **NAVFAC DM 7.2** wymaga określenia rodzaju gruntu, czy grunt danej warstwy jest spoisty, czy też niespoisty. Wszystkie przedstawione poniżej parametry mają wpływ na wartość oporu wzdłuż pobocznic pąla R_s [kN].

Grunt (Klasyfikacja gruntu)	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Efektywny kąt tarcia wew- nętrznego ϕ_{ef} [°]	Efektywna spójność gruntu c_{ef} [kPa]	Współczynnik adhezji α [-]	Współczynnik nośności pąla β_p [-]
SaFCl – 1ł piaszczysty, twardoplastyczny	18.5	24.5	- / 50	0.60	0.30
FSa – piasek drobny, średniozagęszczony	17.5	29.5	0 / -	-	0.45

Tabela z parametrami gruntu – nośność pionowa pąla (rozwiązanie analityczne)

Dla pierwszej warstwy gruntu, **spoistej bez odpływu wody z porów gruntu** (grunt wysadzinowy, stan twardoplastyczny), należy dodatkowo wprowadzić parametr spójności całkowitej gruntu (wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu) c_u [kPa] oraz współczynnik adhezji α [-]. Współczynnik adhezji zależy od stanu gruntu, materiału pąla oraz całkowitej spójności gruntu (*więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1*).

Dla drugiej warstwy gruntu, **niespoistej** (grunt niewysadzinowy, średniozagęszczony), należy dodatkowo określić kąt tarcia na pobocznic pąla δ [°], który zależy od materiału pąla. Następnie należy zdefiniować wartość współczynnika parcia bocznego K [-], którego wartość uzależniona jest od rodzaju obciążenia (rozciąganie – ściskanie) oraz technologii wykonania pąli (*więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1*). Aby uprościć obliczenia wybierzemy opcję „wyznacz” dla obydwu współczynników.



Okno dialogowe "Dodaj nowy grunt"

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

Następnie zdefiniujemy obciążenie działające na pal. Wartość projektowa (obliczeniowa) obciążenia wykorzystywana jest w obliczeniach nośności pionowej pała, natomiast wartość charakterystyczna obciążenia służy do obliczenia osiadania pała.

Nowe obciążenie

Nazwa : Siła Nr 1

Siła pionowa : $N = 1450,00$ [kN]

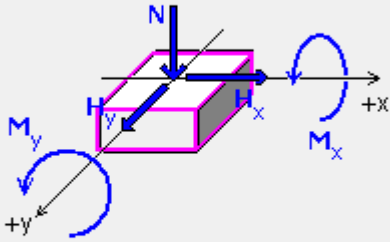
Moment zginający : $M_x = 0,00$ [kNm]

$M_y = 120,00$ [kNm]

Siła pozioma : $H_x = 85,00$ [kN]

$H_y = 0,00$ [kN]

☒ obliczeniowe ☐ użytkowe



Dodaj **Anuluj**

Okno dialogowe "Nowe obciążenie"

Przejdź do ramki "Geometria" i wybierz kształt przekroju pala jako kołowy a następnie wprowadź dane geometryczne – długość oraz średnicę pala. Kolejnym krokiem będzie określenie technologii wykonania pali.

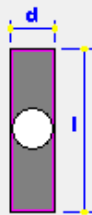
Geometria

Wymiary podstawowe

Przekrój pala : kołowy

Średnica pala : $d = 1,00$ [m]

Długość pala : $l = 12,00$ [m]



Lokalizacja

Wysokość oczepu (nad ZPT) : $h = 0,00$ [m]

Poziom terenu zmienionego : $h_z = 0,00$ [m]

Przekrój

Charakterystyki przekroju : oblicz

Technologia

Technologia : Pile wiercone

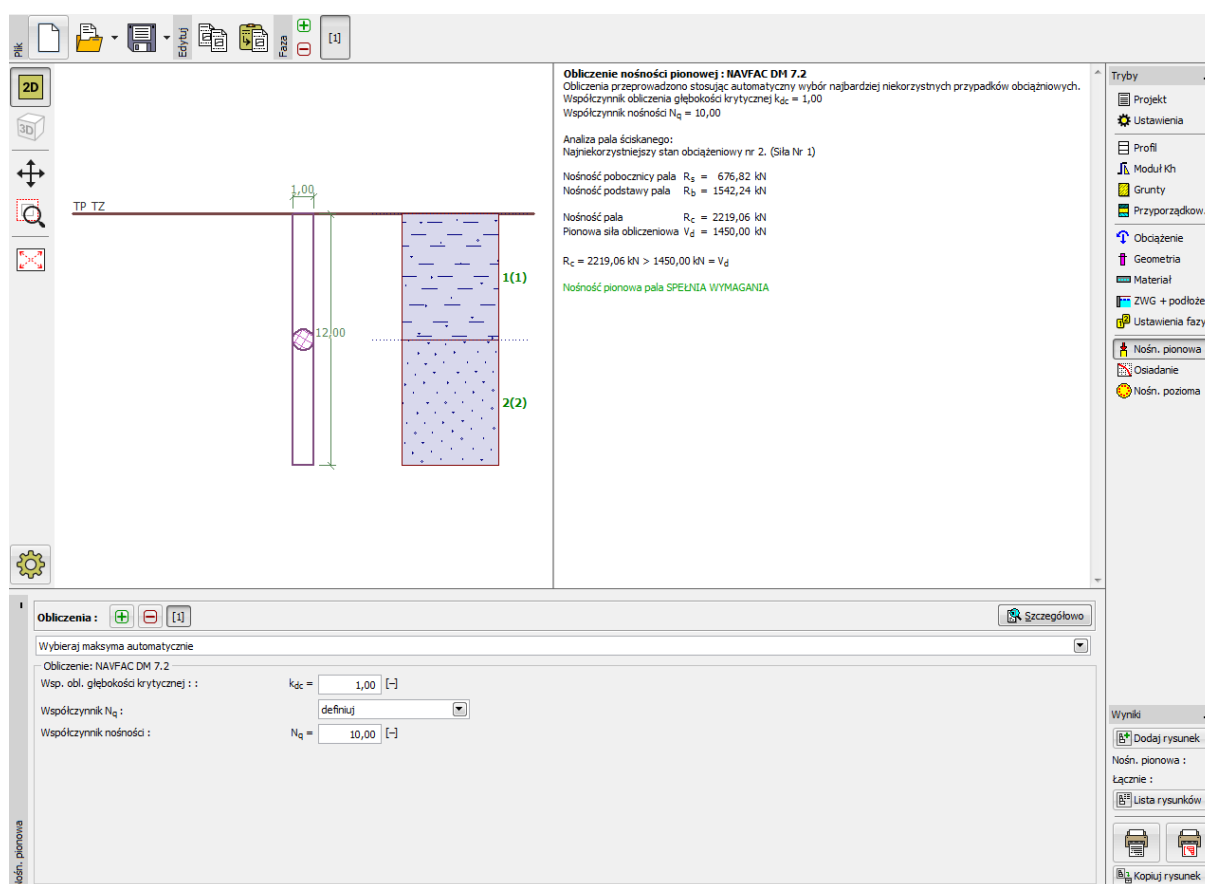
Ramka "Geometria"

Pomiń zakładkę "ZWG + podłoże". Przejdź do ramki "Ustawienia fazy" i wybierz trwałą sytuację obliczeniową. Następnie przejdź do obliczeń pala wybierając ramkę "Nośność pionowa".

Analiza nośności pionowej pojedynczego pala – metoda obliczeń NAVFAC DM 7.2

Pierwszym krokiem obliczeń jest wprowadzenie w ramce “Nośność pionowa” parametrów mających wpływ na wartość nośności podstawy pala R_b [kN]. Zaczniij od zdefiniowania współczynnika głębokości krytycznej k_{dc} [–] determinującego obliczenia głębokości krytycznej, zależnego tylko od gęstości gruntu (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1). Przyjmij do obliczeń współczynnik o wartości $k_{dc} = 1,0$.

Kolejnym istotnym parametrem jest współczynnik nośności N_q [–], którego wartość jest zależna od kąta tarcia wewnętrznego gruntu φ_{ef} [°] oraz technologii wykonania pala (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1). Przyjmij współczynnik o wartości $N_q = 10,0$.



Obliczenie nośności pionowej : NAVFAC DM 7.2
 Obliczenia przeprowadzono stosując automatyczny wybór najbardziej niekorzystnych przypadków obciążeniowych.
 Współczynnik obliczenia głębokości krytycznej $k_{dc} = 1,00$
 Współczynnik nośności $N_q = 10,00$

Analiza pala ściskanego:
 Najniekorzystniejszy stan obciążeniowy nr 2. (Siła Nr 1)

Nośność poboczniczy pala $R_s = 676,82$ kN
 Nośność podstawy pala $R_b = 1542,24$ kN

Nośność pala $R_c = 2219,06$ kN
 Pionowa siła obliczeniowa $V_d = 1450,00$ kN

$R_c = 2219,06$ kN > $1450,00$ kN = V_d
 Nośność pionowa pala **SPEŁNIA WYMAGANIA**

Obliczenia : **NAVFAC DM 7.2**
 Wybieraj maksyma automatycznie
 Wsp. obl. głębokości krytycznej : $k_{dc} = 1,00$ [–]
 Współczynnik N_q : **definiuj**
 Współczynnik nośności : $N_q = 10,00$ [–]

Wynik
 Dodaj rysunek
 Nośn. pionowa : 0
 Łączenie : 2
 Lista rysunków
 Kopiuj rysunek

Ramka “Nośność pionowa” – obliczenia nośności według NAVFAC DM 7.2

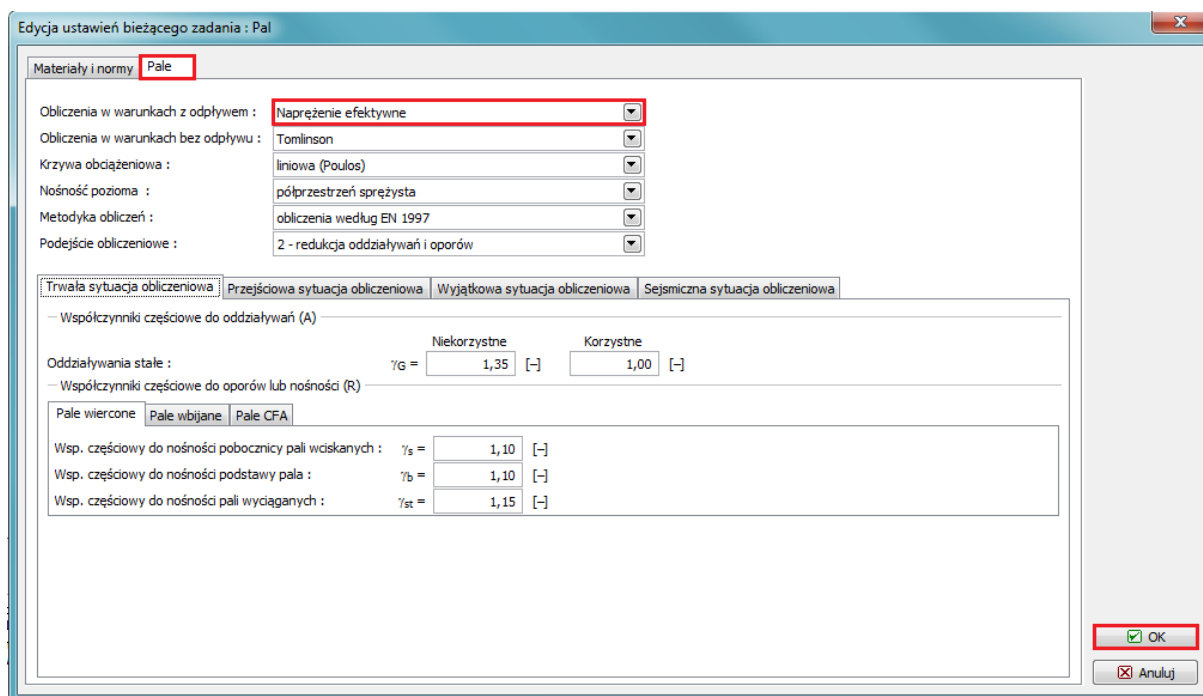
Obliczeniowa nośność pionowa pala obciążonego osiowo R_c [kN] jest sumą oporu poboczniczy pala R_s oraz oporu pod podstawą pala R_b . Aby warunek stanu granicznego nośności był spełniony wartość nośności musi być wyższa od wartości obciążenia obliczeniowego V_d [kN] działającego na pal.

– **NAVFAC DM 7.2:** $R_c = 2219.06 \text{ kN} > V_d = 1450.0 \text{ kN}$ **SPEŁNIA WYMAGANIA**

Analiza nośności pionowej pojedynczego pala – metoda naprężeń efektywnych

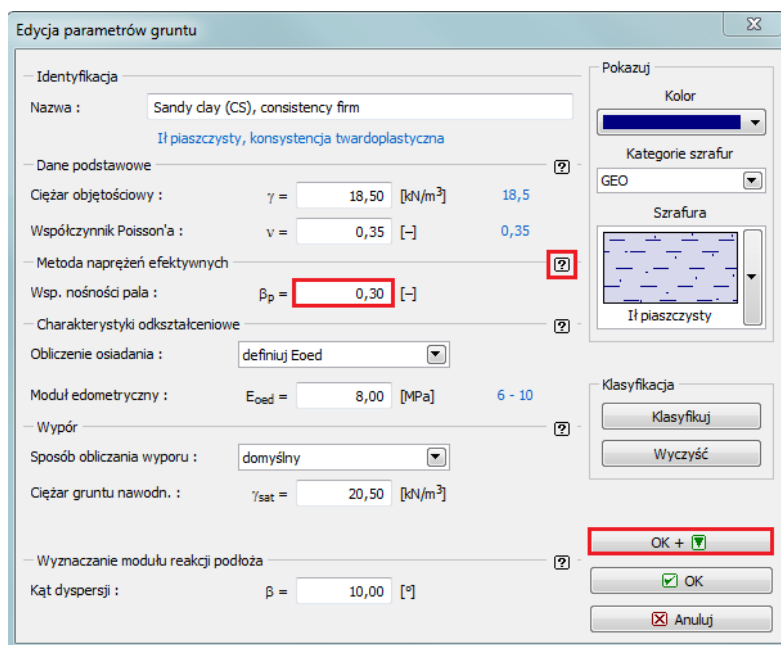
Kolejną czynnością będzie powrót do etapu definiowania ustawień i przeprowadzenie obliczeń nośności pojedynczego pala według innych metod obliczeniowych (metodą naprężeń efektywnych oraz zgodnie z normą CSN 73 1002).

W ramce "Ustawienia" naciśnij przycisk "Edytuj", a następnie przejdź do zakładki "Pale". Dla opcji ustawień "Obliczenia w warunkach z odpływem" wybierz z listy rozwijalnej "Naprężenie efektywne". Pozostałe parametry wejściowe do obliczeń nie ulegają zmianie.



Okno dialogowe "Edycja ustawień bieżącego zadania"

Następnie przejdź do ramki "Grunty", w której należy zdefiniować dodatkowy, niezbędny dla tej metody obliczeniowej, współczynnik nośności pala $\beta_p [-]$ mający bezpośredni wpływ na wartość oporu pobocznicy pala $R_s [kN]$. Wartość tego parametru uzależniona jest od kąta tarcia wewnętrznego gruntu $\varphi_{ef} [^\circ]$ oraz rodzaju gruntu (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).



Okno dialogowe "Edycja parametrów gruntu"

Pozostałe ramki nie wymagają wprowadzania żadnych zmian. Przejdź do ramki "Nośność pionowa". **Metoda naprężeń efektywnych** wymaga określenia współczynnika nośności N_p [–], który znacząco wpływa na wartość nośności podstawy pała R_b [kN]. Wartość tego parametru uzależniona jest od kąta tarcia wewnętrznego gruntu φ_{ef} [°] oraz rodzaju gruntu (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Wpływ wartości współczynnika N_p [–] na nośność podstawy pała przedstawiono poniżej:

- dla $N_p = 10$ (podstawa pała w gruncie *spoistym*): $R_b = 1542.24 \text{ kN}$,
- dla $N_p = 30$ (podstawa pała w gruncie *piaszczystym*): $R_b = 4626.71 \text{ kN}$,
- dla $N_p = 60$ (podstawa pała w gruncie *złwirowym*): $R_b = 9253.42 \text{ kN}$.

Dla analizowanego przypadku przyjmij wartość współczynnika nośności $N_p = 30$ (podstawa pała w gruncie *piaszczystym*). Wartości referencyjne współczynnika N_p można znaleźć w pomocy do programu – naciśnij przycisk F1.

Obliczenie nośności pionowej : metoda naprężeń efektywnych
 Obliczenia przeprowadzono stosując automatyczny wybór najbardziej niekorzystnych przypadków obciążeniowych.

Analiza pila ściskanej:
 Najniekorzystniejszy stan obciążeniowy nr 1. (Siła Nr 1)

Nośność pobocznic pila $R_s = 1546,09 \text{ kN}$
 Nośność podstawy pila $R_b = 4626,71 \text{ kN}$

Nośność pila $R_c = 6172,80 \text{ kN}$
 Pionowa siła obciążeniowa $V_d = 1450,00 \text{ kN}$

$R_c = 6172,80 \text{ kN} > 1450,00 \text{ kN} = V_d$

Nośność pionowa SPEŁNIA WYMAGANIA

Obliczenia : [1]

Wybieraj maksimum automatycznie

Obliczenie: metoda naprężeń efektywnych

Współczynnik nośności : $N_p = 30,00 [-]$

Wyniki

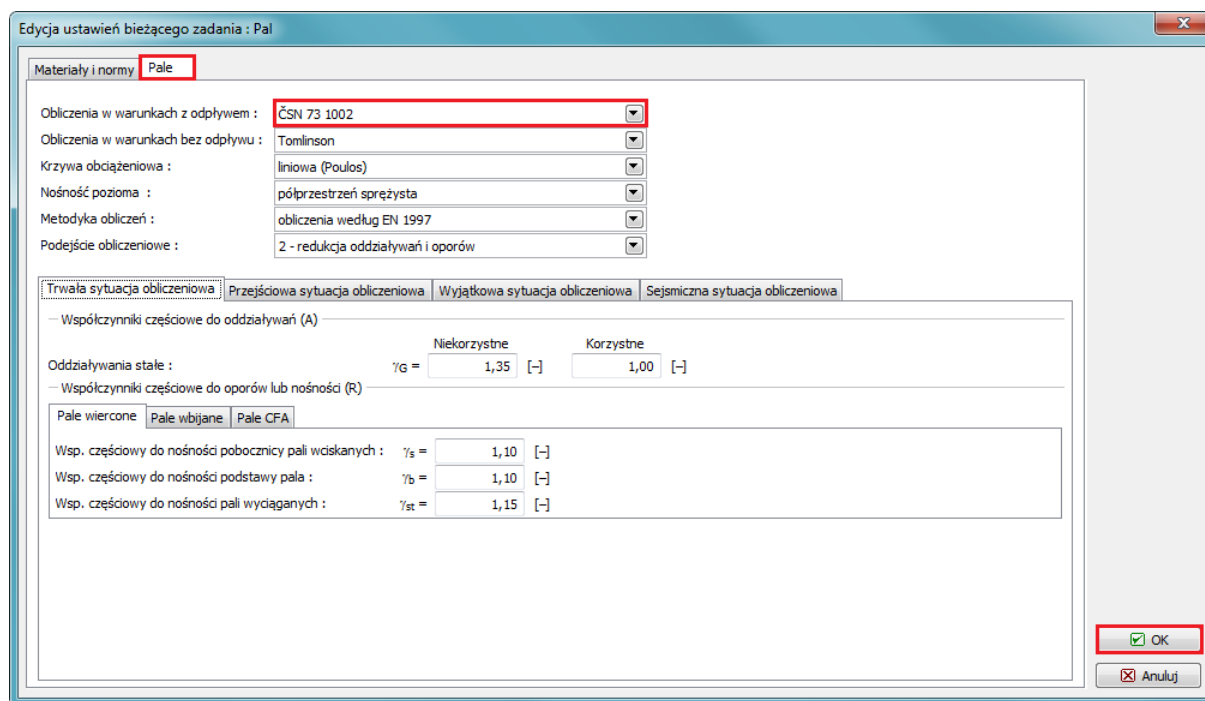
Nośn. pionowa : 0
 Łączenie : 2

Ramka "Nośność pionowa" – obliczenia nośności metodą naprężeń efektywnych

– **MET. NAPR. EFEKTYWNYCH:** $R_c = 6172.8 \text{ kN} > V_d = 1450.0 \text{ kN}$ **SPEŁNIA WYMAGANIA**

Analiza nośności pionowej pojedynczego pala – metoda obliczeń wg normy CSN 73 1002

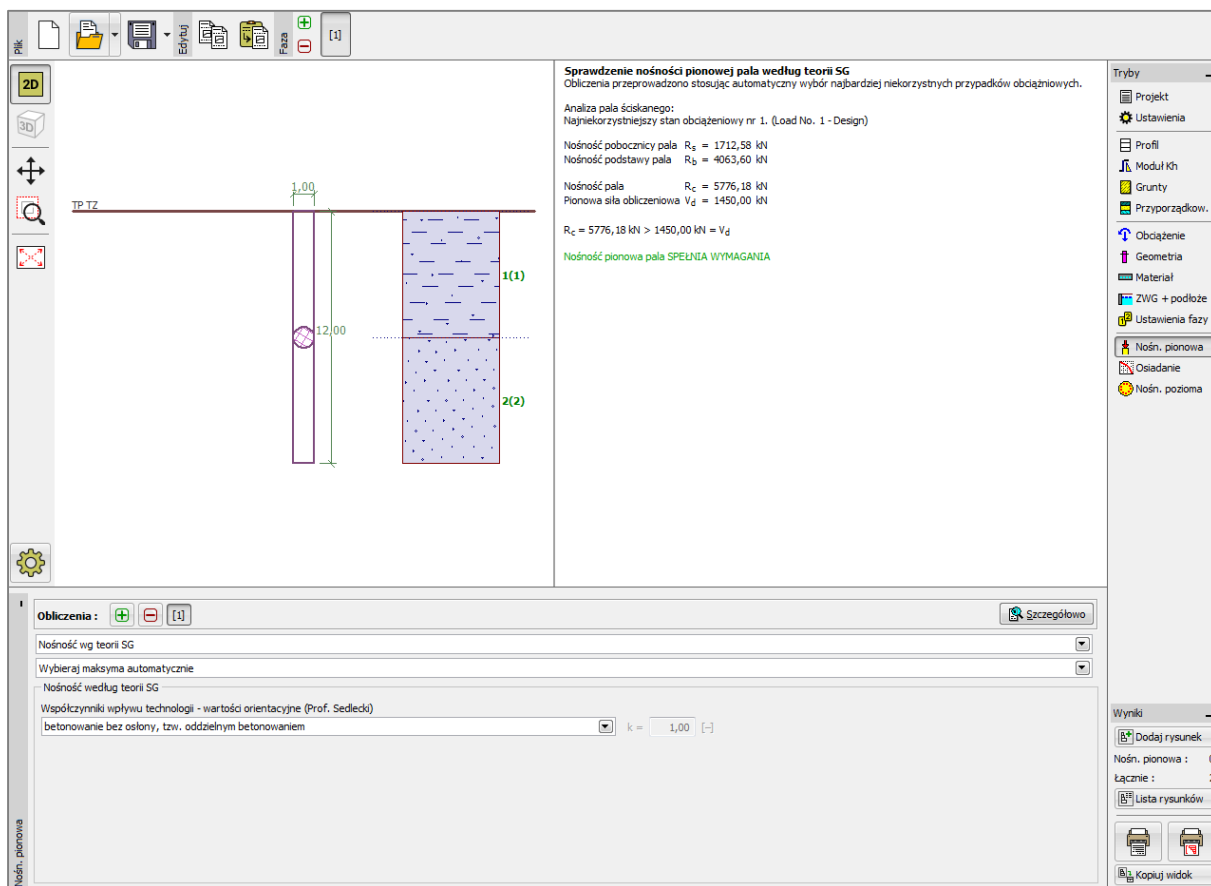
Przejdź do ramki "Ustawienia" i naciśnij przycisk "Edytuj" a następnie przejdź do zakładki "Pale". Dla opcji ustawień "Obliczenia w warunkach z odpływem" wybierz z listy rozwijalnej "CSN 73 1002". Pozostałe parametry wejściowe do obliczeń nie ulegają zmianie.



Okno dialogowe "Edycja ustawień bieżącego zadania"

Uwaga: Stosowana procedura obliczeniowa jest przedstawiona w publikacji „Komentarz do normy CSN 73 1002 Fundamenty palowe” (Rozdział 3: Projektowanie, część B – rozwiązanie ogólne wg teorii 1. grupy stanów granicznych, str. 15). Wszystkie procedury obliczeniowe oparto na wzorach podanych w tej publikacji, z wyjątkiem współczynników obliczeniowych, których wartość zależy od przyjętej metody obliczeniowej (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Następnie przeprowadź ponowne obliczenia pala w ramce "Nośność pionowa". Pozostaw współczynnik wpływu technologii wykonania o wartości $k = 1,0$ (obliczenia nośności pionowej pala bez redukcji z uwagi na technologię wykonania pala).



Ramka "Nośność pionowa" – obliczenia nośności według normy CSN 73 1002

– **CSN 73 1002:** $R_c = 5776.18 \text{ kN} > V_d = 1450.0 \text{ kN}$ **SPEŁNIA WYMAGANIA**

Podsumowanie analizy nośności pionowej pojedynczego pała

Całkowita wartość nośności pionowej pała R_c zależy od przyjętej metody obliczeniowej oraz danych wejściowych wykorzystywanych przez te metody:

NAVFAC DM 7.2:

- współczynnik adhezji α [–],
- kąt tarcia na powierzchni pała δ [°],
- współczynnik parcia bocznego gruntu K [–],
- współczynnik głębokości krytycznej k_{dc} [–],
- współczynnik nośności N_q [–].

EFFECTIVE STRESS:

- współczynnik nośności pała β_p [–],
- współczynnik nośności N_p [–].

CSN 73 1002: efektywna spójność gruntu $c_{ef} [kPa]$,

efektywny kąt tarcia wewnętrznego $\varphi_{ef} [^\circ]$.

Wyniki obliczeń nośności pionowej pojedynczego pala w warunkach z odpływem w zależności od zastosowanej metody obliczeniowej przedstawiono w poniższej tabeli:

EN 1997-1, DA2 (warunki z odpływem) Metoda obliczeń	Nośność pobocznic pala $R_s [kN]$	Nośność podstawy pala $R_b [kN]$	Nośność pionowa pala $R_c [kN]$
NAVFAC DM 7.2	676.82	1542.24	2219.06
MET. NAPRĘŻEŃ EFEKTYWNYCH	1546.09	4626.71	6172.80
CSN 73 1002	1712.58	4063.60	5776.18

Podsumowanie wyników – nośność pionowa pojedynczego pala w warunkach z odpływem

Całkowita nośność pionowa pala obciążonego osiowo R_c jest wyższa od obciążenia obliczeniowego V_d działającego na pal. Warunek stanu granicznego nośności pala jest spełniony, a zatem pal jest poprawnie zaprojektowany.

Wnioski

Wyniki obliczeń nośności pionowej pojedynczego pala są różne, co jest skutkiem zastosowania różnych metod obliczeniowych wykorzystujących inne dane wejściowe.

Projektowanie pali zależy przede wszystkim od zastosowanej metody obliczeniowej oraz danych wejściowych opisujących grunt. Zadaniem projektanta jest wybór charakterystycznej, preferowanej dla danego regionu metody obliczeniowej (uwzględniającej specyfikę podłoża oraz potencjał technologiczny), dla której znane są wszystkie niezbędne parametry gruntowe uzyskane z badań geotechnicznych.

Oczywistym błędem jest obliczanie pali przy wykorzystaniu wszystkich dostępnych w programie metod i wybieranie najbardziej korzystnych lub niekorzystnych wyników.

Autorzy pakietu oprogramowania GEO5 w przypadku obszaru Czech i Słowacji zalecają obliczanie nośności pionowej pojedynczych pali z wykorzystaniem następujących metod:

- Obliczenia z uwzględnieniem dopuszczalnego osiadania pali na poziomie $s_{lim} = 25 \text{ mm}$ (procedura obliczeniowa według **Masopusta** oparta na rozwiązaniu równań krzywej regresji obciążenie – osiadanie).
- Obliczenia zgodnie z procedurą zawartą w normie **CSN 73 1002**. Procedura obliczeniowa jest identyczna jak w normie CSN, z wyjątkiem obciążeń oraz współczynników obliczeniowych

redukujących parametry gruntu oraz opór pobocznic i podstawy pała, które są zgodne z normą EN 1997-1, dzięki czemu metoda jest zgodna z EN 1997-1.