

Analiza nośności poziomej pojedynczego pala

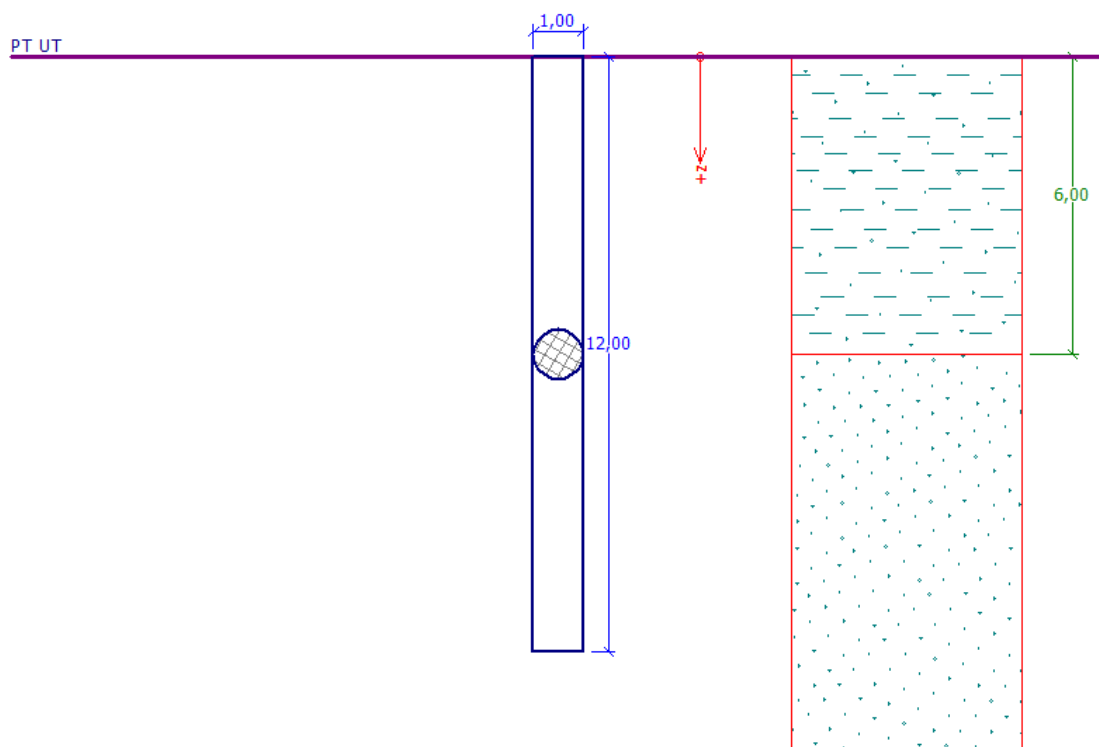
Program: Pal

Plik powiązany: Demo_manual_16.gpi

Celem niniejszego przewodnika jest przedstawienie wykorzystania programu GEO5 PAL do obliczania nośności poziomej pojedynczego pala.

Sformułowanie problemu

Ogólne sformułowanie problemu zostało przedstawione w rozdziale 12 (*Przewodnik Inżyniera nr 12 Pale fundamentowe – wprowadzenie*). Analiza nośności poziomej pojedynczego pala powinna być prowadzona jako kontynuacja obliczeń przedstawionych w *Przewodniku inżyniera nr 13 Analiza nośności pionowej pojedynczego pala*. Składowe $N_1, M_{y,1}, H_{x,1}$ obciążenia wypadkowego przyłożone są do głowicy pala. Określić wymiary pala zgodnie z wymogami stawianymi przez normę EN 1992-1.



Schemat ogólny zadania – pojedynczy pal

Rozwiązanie

W celu wykonania zadania skorzystaj z programu GEO5 Pal. Przewodnik przedstawia kolejne kroki rozwiązania tego przykładu.

Obciążony poziomo pał traktowany jest jako belka spoczywająca na ośrodku sprężystym Winklera (*podłoże sprężyste - metoda "p-y"*) i obliczany jest z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Parametry gruntów wzdłuż pobocznicy pała odzwierciedla moduł reakcji poziomej podłoża.

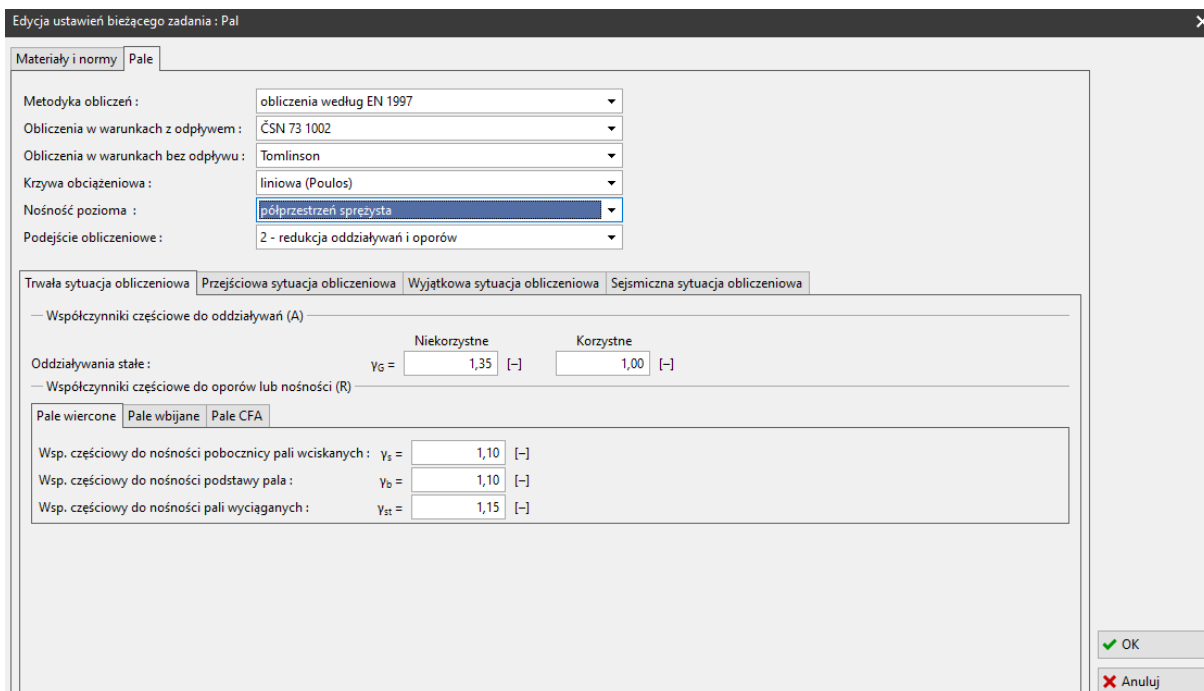
Program udostępnia wiele różnych metod wyznaczania modułu reakcji poziomej podłoża. Metody zakładające liniowy rozkład modułu reakcji poziomej podłoża (metoda liniowa oraz Matlocka i Reese'a) są właściwe w przypadku gruntów niespoistych, podczas gdy metody zakładające stały rozkład modułu reakcji poziomej podłoża wzdłuż pała (metoda stała oraz Vesica) powinny być raczej stosowane w przypadku gruntów spoistych. Metoda obliczania modułu k_h zgodnie z normą CSN 73 1004 łączy obydwie przedstawione podejścia.

W pierwszej części tego *Przewodnika* przeprowadzone zostaną obliczenia z wykorzystaniem stałego rozkładu modułu reakcji poziomej podłoża, natomiast w drugiej części *Przewodnika* zostaną one porównane z wynikami uzyskanymi przy pomocy innych metod.

Definiowanie zadania

W programie „Pał” otwórz plik z instrukcji nr 13. Najpierw w ramce „Ustawienia” kliknij przycisk „Edytuj” i sprawdź, czy metoda obliczania nośności poziomej jest ustawiona na „półprzestrzeń sprężysta (metoda p-y)”.

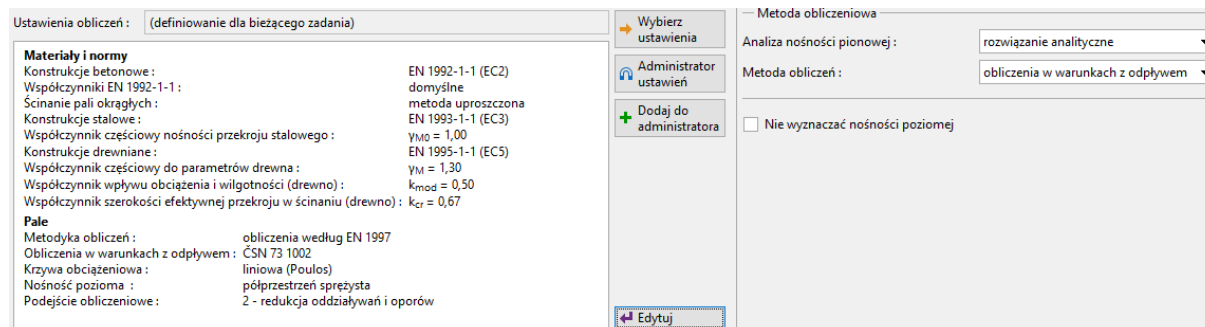
Uwaga: Obliczenia nośności poziomej pojedynczego pała w gruncie jednorodnym można również wykonać z zastosowaniem [metody Bromsa](#) (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).



Ramka „Edycja ustawień bieżącego zadania”

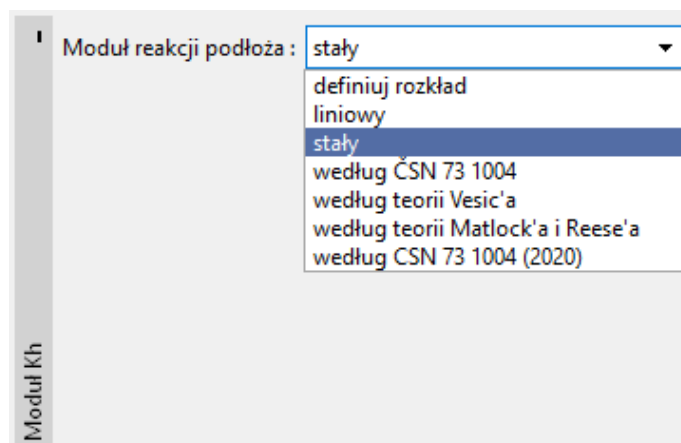
Podstawowe ustawienia obliczeń, wartości zdefiniowanych obciążeń oraz profil geotechniczny podłoża wraz z podstawowymi parametrami wytrzymałościowymi gruntów nie ulegają zmianie.

W ramce Ustawienia, musimy jednak jeszcze odznaczyć zaznaczoną w przykładzie 13 opcję „Nie wyznaczać nośności poziomej”.



Ramka „Ustawienia”

Następnie przejdziemy do ramki „Moduł k_h ” i wybierzemy w niej moduł k_h „stały”.



Ramka „Moduł k_h ”

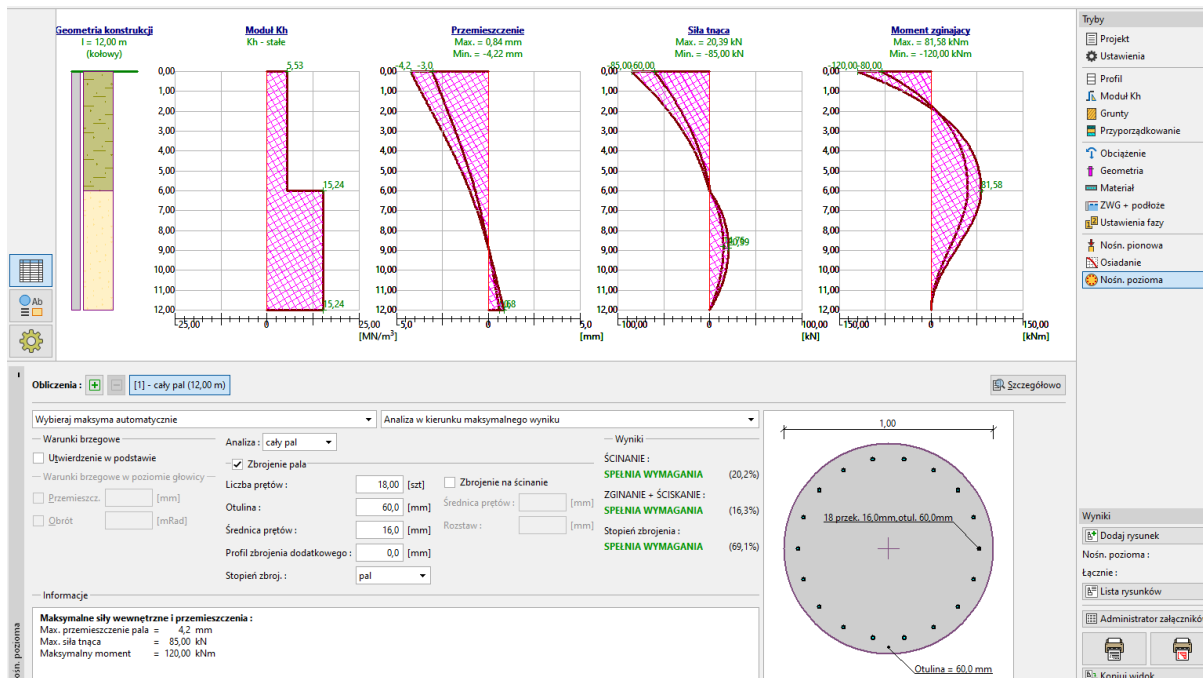
Uwaga: Stały rozkład modułu reakcji poziomej podłoża zależy od modułu odkształcenia gruntu E_{def} [MPa] oraz od zredukowanej szerokości pala r [m] (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Kolejnym krokiem będzie wprowadzenie parametrów gruntów w ramce „Grunty”. Wartość kąta dyspersji β [–] należy zdefiniować w zakresie $\frac{\varphi_{ef}}{4} - \varphi_{ef}$. Wartość tego współczynnika jest zatem uzależniona od wartości kąta tarcia wewnętrznego gruntu (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Grunt (Klasyfikacja gruntu)	Ciężar objętościowy γ [kN/m^3]	Efektywny kąt tarcia wewnętrzznego φ_{ef} [$^\circ$]	Kąt dyspersji β [$^\circ$]	Rodzaj gruntu
SaFCI – łą piaszczysty, twaroplastyczny	18,5	24,5	10,0	spoisty
FSa – piasek drobny, średniozagęszczony	17,5	29,5	15,0	niepoisty

Tabela z parametrami gruntu – nośność pozioma pojedynczego pala

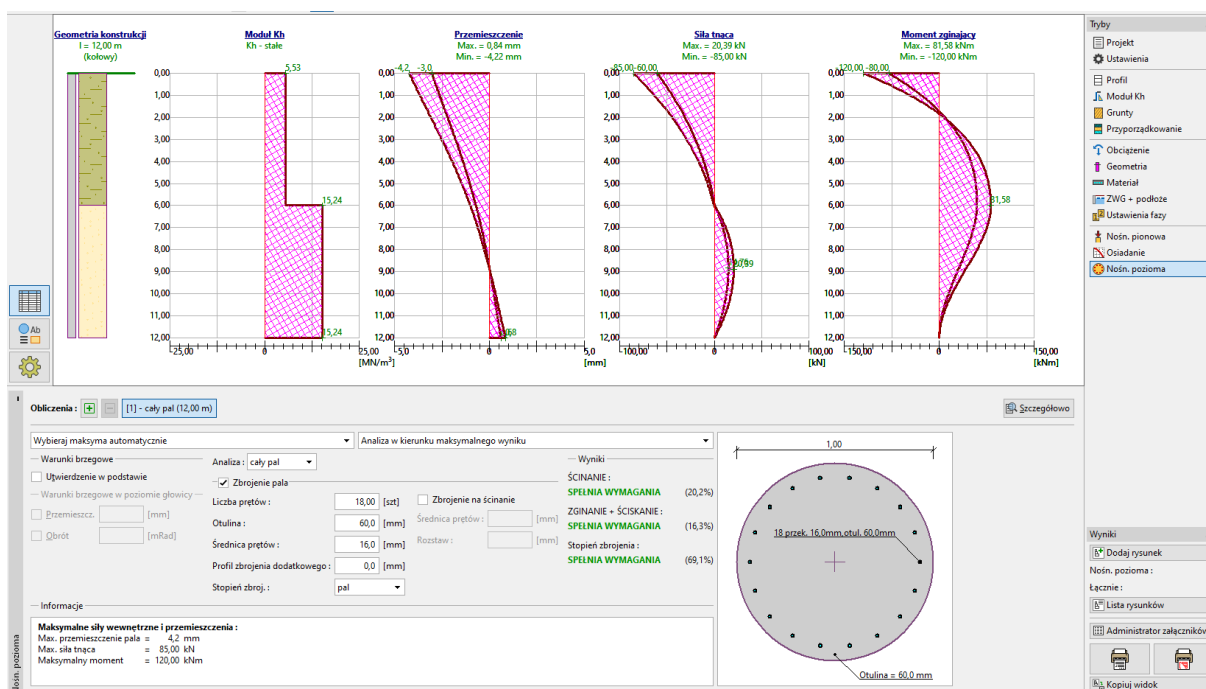
Następnie przejdziemy do ramki “Nośność pozioma”, w której przedstawione są: maksymalne poziome przemieszczenie głowicy pala, rozkład sił wewnętrznych wzdłuż pala oraz wyniki wymiarowania elementu żelbetowego w kierunku maksymalnego wyężenia pala.



Ramka „Nośność pozioma” – obliczenia z uwzględnieniem stałej wartości modułu reakcji podłoża k_h

Uwaga: Warunek brzegowy w postaci pala utwierdzonego w podstawie ma zastosowanie głównie w przypadku pali przenoszących obciążenie swoją podstawą osadzoną w podłożu skalnym lub innym, o bardzo dużej twardości (inaczej niż w analizowanym przypadku). Warunki brzegowe w poziomie głowicy pala narzucane są tylko w sytuacji, gdy pal obciążony jest tzw. obciążeniem przemieszczeniowym, czyli zdefiniowany jest kąt obrotu lub przemieszczenie głowicy pala bez podania obciążenia siłowego (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

W ramce „Nośność pozioma” przeprowadzimy także wymiarowanie zbrojenia pala. Zaprojektujemy pal o głównym zbrojeniu podłużnym **18 Ø 16 mm** i otulinie grubości **60mm**, co odpowiada klasie ekspozycji XC1.



Ramka „Nośność pozioma” – wymiarowanie

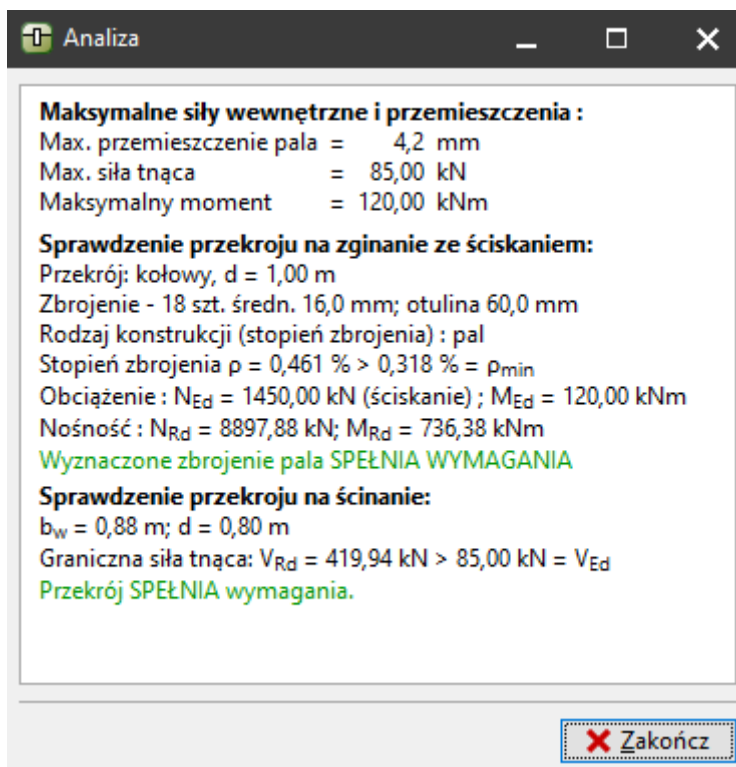
W analizowanym przypadku stopień zbrojenia pojedynczego pala obciążonego poziomo uwzględniamy zgodnie z *CSN EN 1536: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Pale wiercone* (Tabela 4 – zbrojenie minimalne pali wierconych). Program umożliwia przyjęcie danych zgodnych z powyższą normą poprzez wybranie opcji “Pal”.

Pole przekroju pala: A_c [m^2]	Pole przekroju zbrojenia głównego: A_s [m^2]
$A_c \leq 0.5 m^2$	$A_s \geq 0.5 \% \cdot A_c$
$0.5 m^2 < A_c \leq 1.0 m^2$	$A_s \geq 0.0025 m^2$
$A_c > 1.0 m^2$	$A_s \geq 0.25 \% \cdot A_c$

„EN 1536: Tabela 4 – zbrojenie minimalne pali wierconych”

Uwaga: W przypadku elementów ściskanych lepszym rozwiązaniem jest wybór stopnia zbrojenia jak w konstrukcjach słupów (opcja „słup”), a w przypadku pali zginanych – opcja „belka”. Pale wiercone będące obciążone zarówno pionowo, jak i poziomo zgodnie z normą CSN EN 1536 powinny mieć minimalny stopień zbrojenia w zależności od stosunku powierzchni przekroju zbrojenia do powierzchni przekroju betonu (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Przeglądając wyniki wymiarowania pala (wybierając przycisk „Szczegółowo”) zwróćmy uwagę na poziom wykorzystania nośności pala na zginanie oraz warunek minimalnego stopnia zbrojenia.



Maksymalne siły wewnętrzne i przemieszczenia :
 Max. przemieszczenie pala = 4,2 mm
 Max. siła tnąca = 85,00 kN
 Maksymalny moment = 120,00 kNm

Sprawdzenie przekroju na zginanie ze ściskaniem:
 Przekrój: kołowy, d = 1,00 m
 Zbrojenie - 18 szt. średn. 16,0 mm; otulina 60,0 mm
 Rodzaj konstrukcji (stopień zbrojenia) : pal
 Stopień zbrojenia $\rho = 0,461 \% > 0,318 \% = \rho_{\min}$
 Obciążenie : $N_{Ed} = 1450,00$ kN (ściskanie) ; $M_{Ed} = 120,00$ kNm
 Nośność : $N_{Rd} = 8897,88$ kN; $M_{Rd} = 736,38$ kNm
Wyznaczone zbrojenie pala SPEŁNIA WYMAGANIA

Sprawdzenie przekroju na ścinanie:
 $b_w = 0,88$ m; $d = 0,80$ m
 Graniczna siła tnąca: $V_{Rd} = 419,94$ kN $> 85,00$ kN = V_{Ed}
Przekrój SPEŁNIA wymagania.

Zakończ

Okno dialogowe – „Analiza” (przycisk „Szczegółowo”)

Wyniki obliczeń

W obszarze ramki obliczania nośności poziomo obciążonego pala interesuje nas szczególnie przebieg sił wewnętrznych wzdłuż pala, maksymalne przemieszczenia pala oraz stopień wykorzystania przekroju pala. Uzyskane wyniki obliczeń dla **stałego rozkładu** modułu reakcji poziomej podłoża k_h przedstawiają się następująco:

– Maksymalne przemieszczenie pala:	$u_{\max} = 4.2 \text{ mm}$	
– Maksymalna siła tnąca:	$Q_{\max} = 85.0 \text{ kN}$	
– Maksymalny moment zginający:	$M_{\max} = 120.0 \text{ kNm}$	
– Nośność pala żelbet. (zginanie + ściskanie):	16.3 %	SPEŁNIA WYMAGANIA
– Nośność pala żelbet. (ścinięcie):	20.2 %	SPEŁNIA WYMAGANIA
– Stopień zbrojenia pala:	69,1 %	SPEŁNIA WYMAGANIA

Porównanie wyników obliczeń uzyskanych przy wykorzystaniu różnych metod określania modułu reakcji poziomej podłoża

Wartości oraz rozkład modułu reakcji poziomej podłoża k_h zależą od przyjętej metody obliczeniowej oraz parametrów gruntów. W każdej metodzie obliczeniowej inne parametry gruntu będą miały wpływ na wyniki obliczeń, tj.:

- STAŁY: kąt dyspersji $\beta [-]$,
- LINIOWY (Bowles'a): kąt dyspersji $\beta [-]$,
 współczynnik $k [MN/m^3]$ zależnie od rodzaju gruntu,
- Zgodny z normą CSN 73 1004: grunt spoisty lub grunt niespoisty,
 moduł ściśliwości poziomej $n_h [MN/m^3]$,
- Według Vesic'a: moduł sprężystości $E [MPa]$.

W celu przeprowadzenia obliczeń z wykorzystaniem różnych metod obliczeniowych, a więc i różnych parametrów wejściowych, będziemy musieli zdefiniować dodatkowe wartości parametrów gruntów (więcej informacji w pomocy do programu, naciśnij F1), takie jak:

Moduł reakcji poziomej podłoża $k_h [MN/m^3]$	Kąt dyspersji $\beta [-]$	Współczynnik $k [MN/m^3]$	Moduł sprężystości $E [MPa]$	Moduł ściśliwości poziomej $n_h [MN/m^3]$
STAŁY	10 – SaFCI	---	---	---
	15 – FSa			
LINIOWY (Bowles'a)	10 – SaFCI	60 – SaFCI	---	---
	15 – FSa	150 – FSa		
CSN 73 1004	Grunt spoisty – SaFCI, twardoplastyczny			---
	Grunt niespoisty – FSa, średniozagęszczony			4,5
Vesic'a	---	---	5,0 – SaFCI	---
			15,5 – FSa	

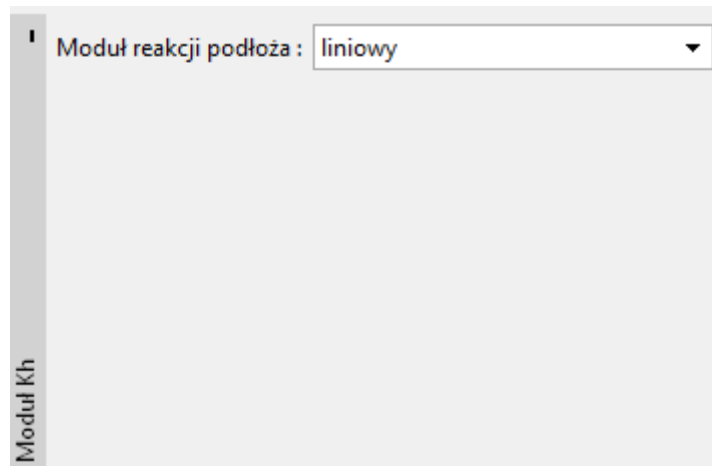
Tabela – zestawienie parametrów gruntów niezbędnych do wyznaczania nośności poziomej pojedynczego pala

Wróćmy teraz do etapu wprowadzania danych – do ramki „Moduł Kh” – będziemy kolejno zmieniać metodę obliczania modułu reakcji poziomej podłoża, a następnie w ramce „Grunty” definiować brakujące parametry gruntów. Procedurę tę zastosujemy kolejno do następujących metod wyznaczania modułu reakcji podłoża:

- przebieg liniowy (według Bowles'a),
- zgodnie z normą CSN 73 1004,
- według Vesic'a.

Przebieg liniowy Kh (według Bowles'a)

W pierwszej kolejności zatem, w ramce “Moduł Kh” zmienimy wybór rozkładu Modułu reakcji podłoża na „liniowy”.



Ramka “Moduł Kh”

Następnie, w ramce “Grunty”, wybierz grunt „Ił piaszczysty, twardoplastyczny” i kliknij na przycisk „Edytuj”. Zmień wartość współczynnika k przyjmując 60 MN/m^3 i zatwierdź przyciskiem „OK”.

Edycja parametrów gruntu

Identyfikacja

Nazwa :

Ił piaszczysty, konsystencja twardoplastyczna

Dane podstawowe

Ciężar objętościowy : $\gamma =$ [kN/m³] 18,5

Kąt tarcia wewnętrzznego : $\varphi_{ef} =$ [°] 22 - 27

Spójność gruntu : $c_{ef} =$ [kPa] 10 - 18

Współczynnik Poisson'a : $\nu =$ [-] 0,35

Charakterystyki odkształceniowe

Obliczenie osiadania :

Moduł edometryczny : $E_{oed} =$ [MPa] 6 - 10

Wypór

Sposób obliczania wyporu :

Ciężar gruntu nawodn. : $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

Wyznaczanie modułu reakcji podłoża

Współczynnik : $k =$ [MN/m³]

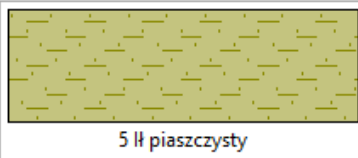
Kąt dyspersji : $\beta =$ [°]

Pokazuj


Kategoria szrafury :

Wyszukiwanie :

Podkategoria :

Szrafura : 

5 Ił piaszczysty

Kolor : 

Tło :

Stopień wilgotności <10 - 90> : [%]

Klasyfikuj Wyczyść Dane IFC OK + ↓ OK Anuluj

Ramka „Grunty” – Edycja parametrów gruntu (Ił piaszczysty)

Tę samą procedurę należy powtórzyć dla drugiego gruntu „Piasek drobny, średniozagęszczony”, wprowadzając wartość współczynnika k wynoszącą 150 MN/m³.

Edycja parametrów gruntu
✕

Identyfikacja

Nazwa :

Piasek drobny, średniozagęszczony

Dane podstawowe ?

Ciężar objętościowy : $\gamma =$ [kN/m³] 17,5

Kąt tarcia wewnętrzznego : $\varphi_{ef} =$ [°] 28 - 31

Spójność gruntu : $c_{ef} =$ [kPa] 0

Współczynnik Poisson'a : $\nu =$ [-] 0,30

Charakterystyki odkształceniowe ?

Obliczenie osiadania :

Moduł edometryczny : $E_{oed} =$ [MPa] 16 - 26

Wypór ?

Sposób obliczania wyporu :

Ciężar gruntu nawodn. : $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

Wyznaczanie modułu reakcji podłoża ?

Współczynnik : $k =$ [MN/m³]


Kąt dyspersji : $\beta =$ [°]

Pokazuj

Kategoria szrafury :

Wyszukiwanie :

Podkategoria :

Szrafura : 

Kolor :

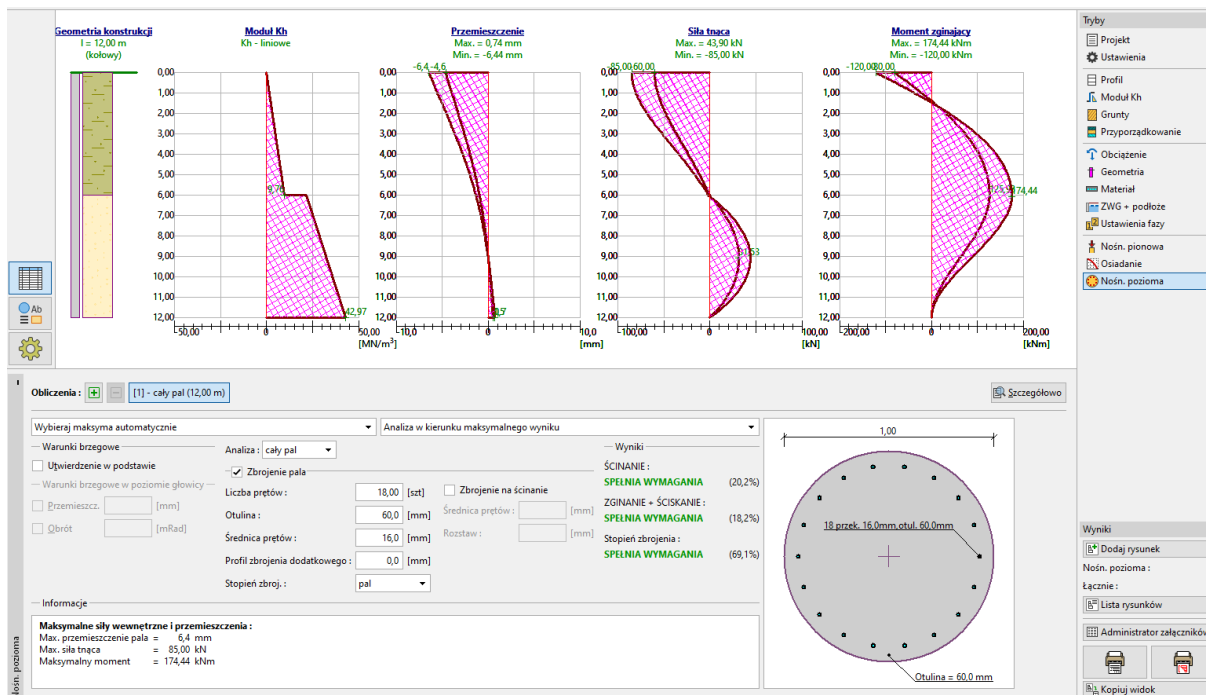
Tło :

Stopień wilgotności <10 - 90> : [%]

Klasyfikuj
Wyczyść
Dane IFC
OK + ↑
✓ OK
✗ Anuluj

Ramka „Grunty” – Edycja parametrów gruntu (piasek drobny)

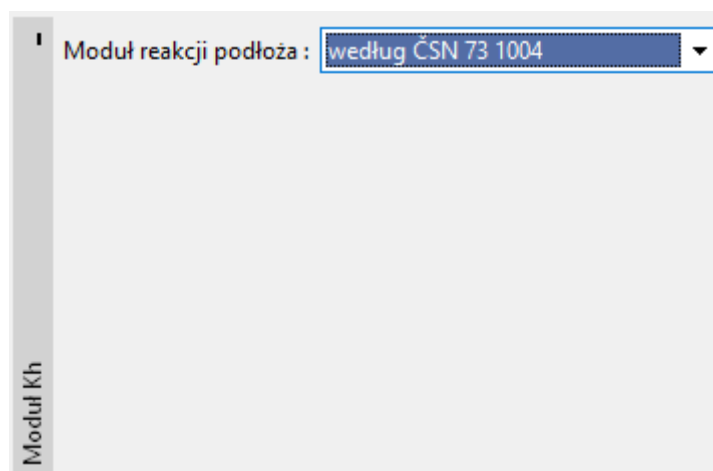
Następnie przejdziemy do ramki „Nośność pozioma”, w której sprawdzimy wyniki obliczeń.



Ramka „Nośność pozioma” - Liniowy przebieg modułu reakcji podłoża k_h (według Bowles'a),
przemieszczenie, siły wewnętrzne

Moduł Kh według CSN 73 1004

Przejdziemy ponownie do ramki “Moduł Kh” i zmienimy metodę określania modułu reakcji podłoża na “według CSN 73 1004”.



Ramka “Moduł Kh”

W ramce „Grunty” tym razem konieczne będzie zdefiniowanie modułu ściśliwości poziomej dla gruntu niespoistego, tj. Piasku drobnego, średniozagęszczonego”. Po wybraniu właściwego gruntu z listy, kliknij przycisk „Edytuj”, a następnie zdefiniuj wartość modułu równą 4,50 MN/m³.

Edycja parametrów gruntu

Identyfikacja

Nazwa : Piasek drobny, średniozagęszczony
Piasek drobny, średniozagęszczony

Dane podstawowe

Ciężar objętościowy : $\gamma =$ 17,50 [kN/m³] 17,5
 Kąt tarcia wewnętrzznego : $\varphi_{ef} =$ 29,50 [°] 28 - 31
 Spójność gruntu : $c_{ef} =$ 0,00 [kPa] 0
 Współczynnik Poisson'a : $\nu =$ 0,30 [-] 0,30

Charakterystyki odkształceniowe

Obliczenie osiadania : definiowanie E_{oed}
 Moduł edometryczny : $E_{oed} =$ 21,00 [MPa] 16 - 26

Wypór

Sposób obliczania wyporu : domyślny
 Ciężar gruntu nawodn. : $\gamma_{sat} =$ 19,50 [kN/m³]

Wyznaczanie modułu reakcji podłoża

Rodzaj gruntu : niespoisty
 Moduł ściśliwości poziomej : $n_h =$ 4,50 [MN/m³]

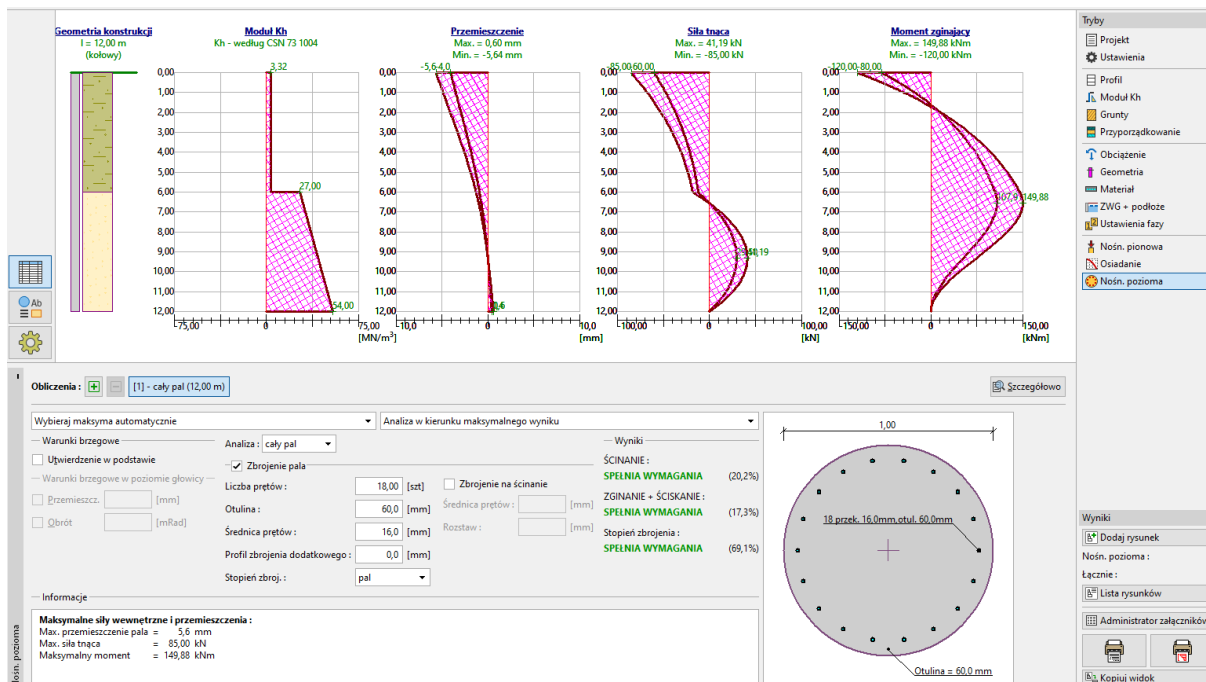
Pokazuj

Kategoria szrafury : GEO
 Wyszukiwanie :
 Podkategoria : Grunty (1 - 16)
 Szrafura : 9 Piasek
 Kolor :
 Tło : automatyczne
 Stopień wilgotności <10 - 90> : 50 [%]

Klasyfikuj Wyczyść Dane IFC OK + ↑ OK Anuluj

Ramka „Grunty” – Edycja parametrów gruntu (piasek drobny)

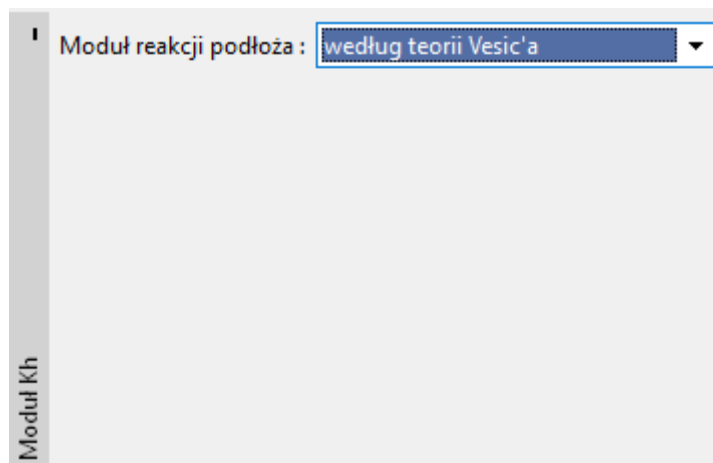
Następnie przejdziemy do ramki „Nośność pozioma”, w której sprawdzimy wyniki obliczeń.



Ramka „Nośność pozioma” - przebieg modułu reakcji podłoża k_h według CSN 731004, przemieszczenie, siły wewnętrzne

Moduł Kh według Vesic'a

Przejdziemy ponownie do ramki “Moduł Kh” i zmienimy metodę określania modułu reakcji podłoża na “według CSN 73 1004”.



Ramka “Moduł Kh”

W ramce “Grunty” tym razem konieczne będzie zdefiniowanie modułu sprężystości dla obydwu gruntów. W przypadku pierwszego gruntu - łu piaszczystego przyjmiemy wartość modułu 5 MPa.

Edycja parametrów gruntu
✕

Identyfikacja

Nazwa :

ł piaszczysty, konsystencja twaroplastyczna

Dane podstawowe ?

Ciężar objętościowy : $\gamma =$ [kN/m³] 18,5

Kąt tarcia wewnętrznego : $\varphi_{ef} =$ [°] 22 - 27

Spójność gruntu : $c_{ef} =$ [kPa] 10 - 18

Współczynnik Poisson'a : $\nu =$ [-] 0,35

Charakterystyki odkształceniowe ?

Obliczenie osiadania :

Moduł edometryczny : $E_{oed} =$ [MPa] 6 - 10

Wypór ?

Sposób obliczania wyporu :

Ciężar gruntu nawodn. : $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

Wyznaczanie modułu reakcji podłoża ?

Moduł sprężystości : $E =$ [MPa]

Pokazuj

Kategoria szrafury :

Wyszukiwanie :

Podkategoria :

Szrafura : 5 ł piaszczysty

Kolor :

Tło :

Stopień wilgotności <10 - 90> : [%]

Klasyfikuj
Wyczyść
Dane IFC
OK + ↓
✓ OK
✗ Anuluj

Ramka „Grunty” – Edycja parametrów gruntu (ł piaszczysty)

Natomiast dla Piasku drobnego, średniozagęszczonego” zdefiniujemy moduł sprężystości równy 15,50 MPa.

Edycja parametrów gruntu

— Identyfikacja —

Nazwa : Piasek drobny, średniozagęszczony

Piasek drobny, średniozagęszczony

— Dane podstawowe — ?

Ciężar objętościowy : $\gamma =$ 17,50 [kN/m³] 17,5

Kąt tarcia wewnętrznego : $\varphi_{ef} =$ 29,50 [°] 28 - 31

Spójność gruntu : $c_{ef} =$ 0,00 [kPa] 0

Współczynnik Poisson'a : $\nu =$ 0,30 [-] 0,30

— Charakterystyki odkształceniowe — ?

Obliczenie osiadania : definiowanie E_{oed}

Moduł edometryczny : $E_{oed} =$ 21,00 [MPa] 16 - 26

— Wypór — ?

Sposób obliczania wyporu : domyślny

Ciężar gruntu nawodn. : $\gamma_{sat} =$ 19,50 [kN/m³]

— Wyznaczanie modułu reakcji podłoża — ?

Moduł sprężystości : $E =$ 15,50 [MPa]

— Pokazuj —

Kategoria szrafury : GEO

Wyszukiwanie :

Podkategoria : Grunty (1 - 16)

Szrafura : 9 Piasek

Kolor :

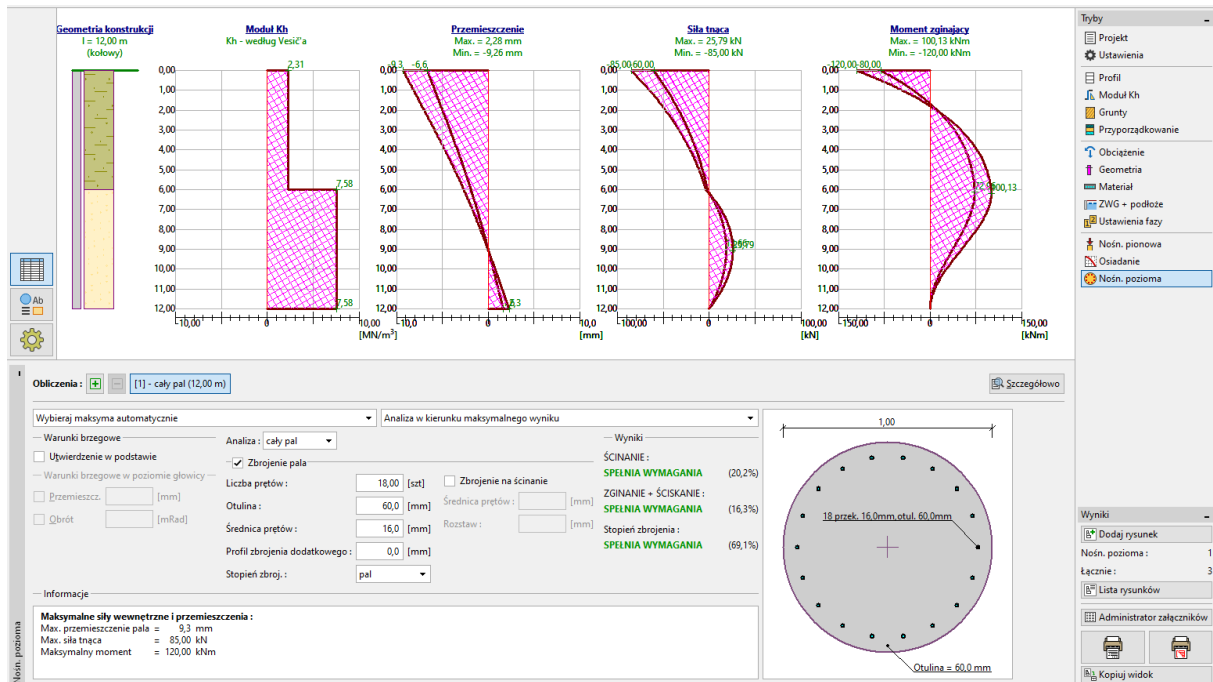
Tło : automatyczne

Stopień wilgotności <10 - 90> : 50 [%]

Klasyfikuj Wyczyść Dane IFC OK + Anuluj

Ramka „Grunty” – Edycja parametrów gruntu (piasek drobny)

Następnie przejdziemy do ramki „Nośność pozioma”, w której sprawdzimy wyniki obliczeń.



Ramka „Nośność pozioma” - przebieg modułu reakcji podłoża k_h według Vesic'a, przemieszczenie, siły wewnętrzne

Wyniki obliczeń nośności poziomej pojedynczego pala:

Wyniki obliczeń nośności poziomej pojedynczego pala w zależności od metody wyznaczania rozkładu modułu reakcji poziomej podłoża k_h przedstawiono w poniższej tabeli:

Moduł reakcji poziomej podłoża $k_h [MN/m^3]$	Maksymalne przemieszczenie $u_{max} [mm]$	Maksymalny moment zginający $M_{max} [kNm]$	Poziom wykorzystania nośności pala [%]
STAŁY	4.2	120.0	16.3
LINIOWY (Bowles'a)	6.4	174.44	18.2
CSN 73 1004	5.6	149.87	17.3
VESIC'A	9.3	120.0	16.3

Podsumowanie wyników – nośność pozioma i wymiarowanie pojedynczego pala

Wnioski

Wyniki przeprowadzonych obliczeń pokazują, że uzyskane wartości sił wewnętrznych wzdłuż pala oraz maksymalne przemieszczenie głowicy pala różnią się nieznacznie zależnie od przyjętej metody wyznaczania rozkładu modułu reakcji poziomej podłoża k_h , ale jej wybór nie ma istotnego wpływu.