

Analiza nośności poziomej pojedynczego pala

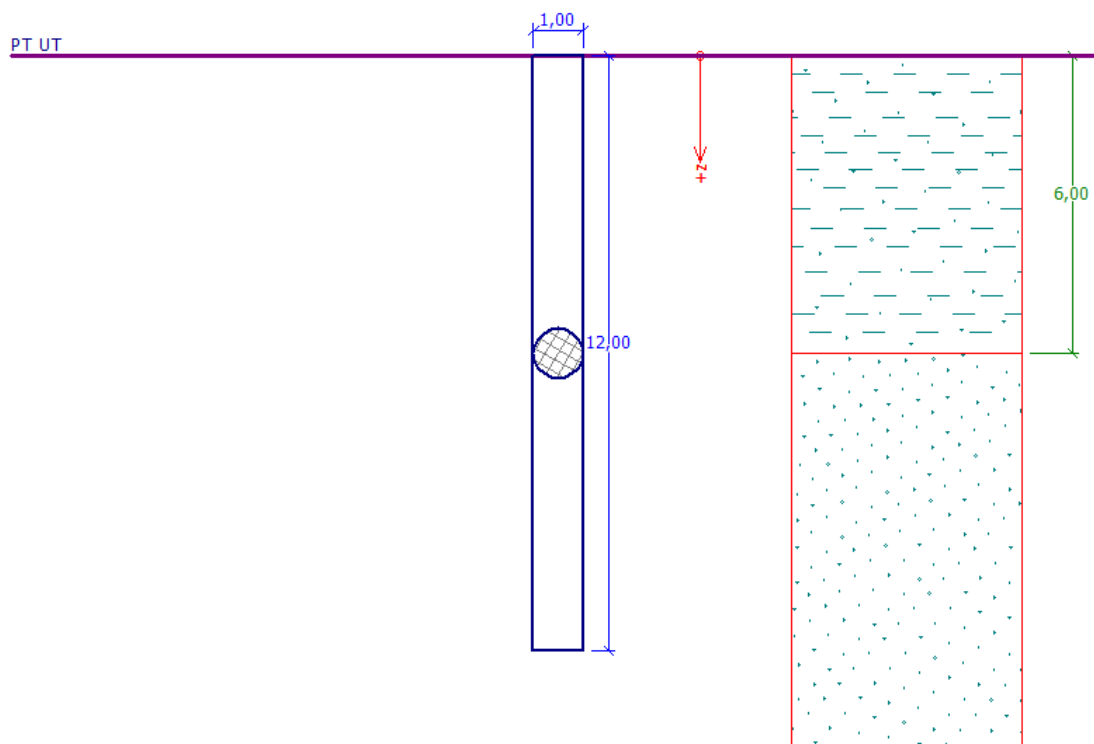
Program: Pal

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 palec

Rozwiązanie

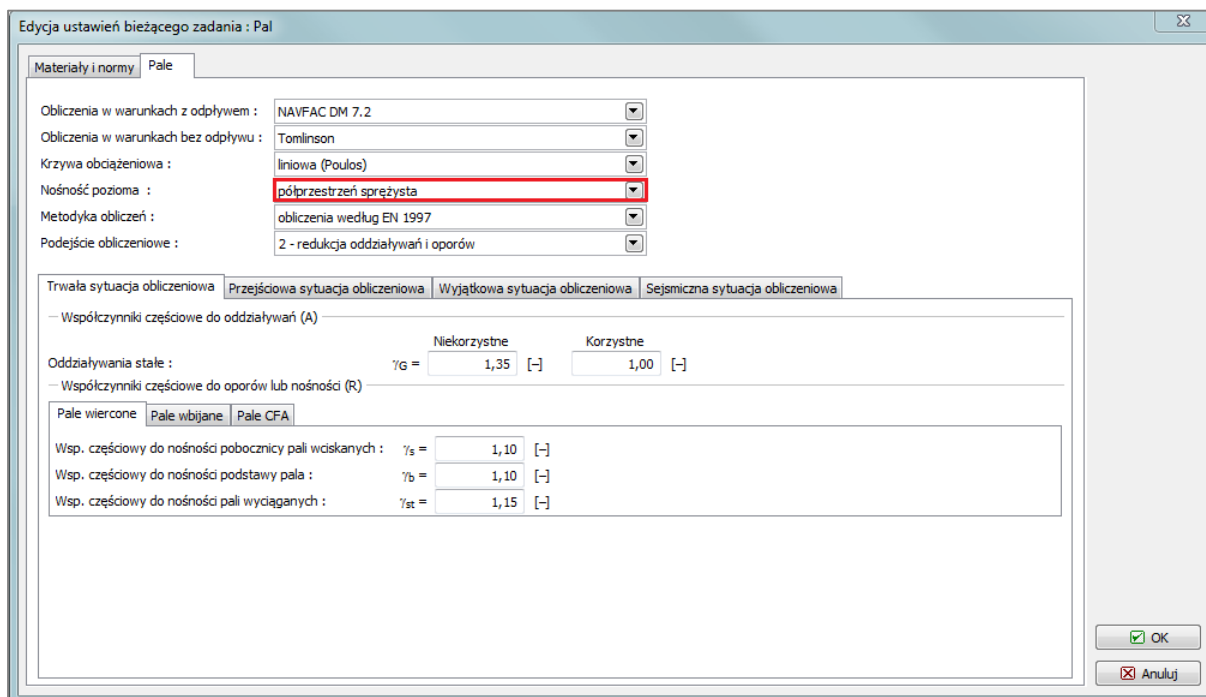
Aby wykonać zadanie skorzystaj z programu Pal zawartego w pakiecie GEO5. Przewodnik przedstawia kolejne kroki rozwiązania tego przykładu.

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 zawiera wiele sposobów określania 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 sprzęga 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.

Uwaga: Obliczenia nośności poziomej pojedynczego pała w gruncie jednorodnym mogą być również wykonywane przy pomocy [metody Bromsa](#) (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

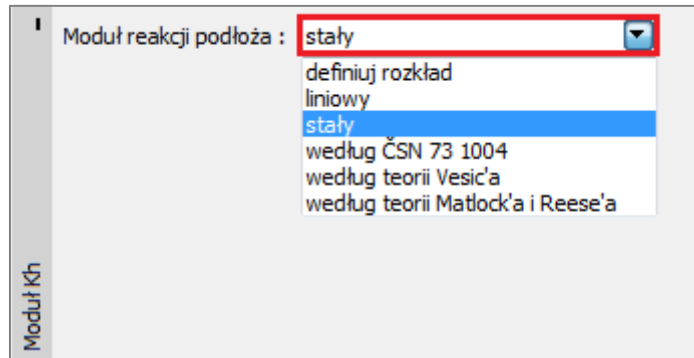


Ramka „Edycja ustawień bieżącego zadania”

Definiowanie modelu

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

Wyberzemy opcję „stały” w ramce „Moduł reakcji podłoża k_h ”.



Ramka „Moduł k_h ”

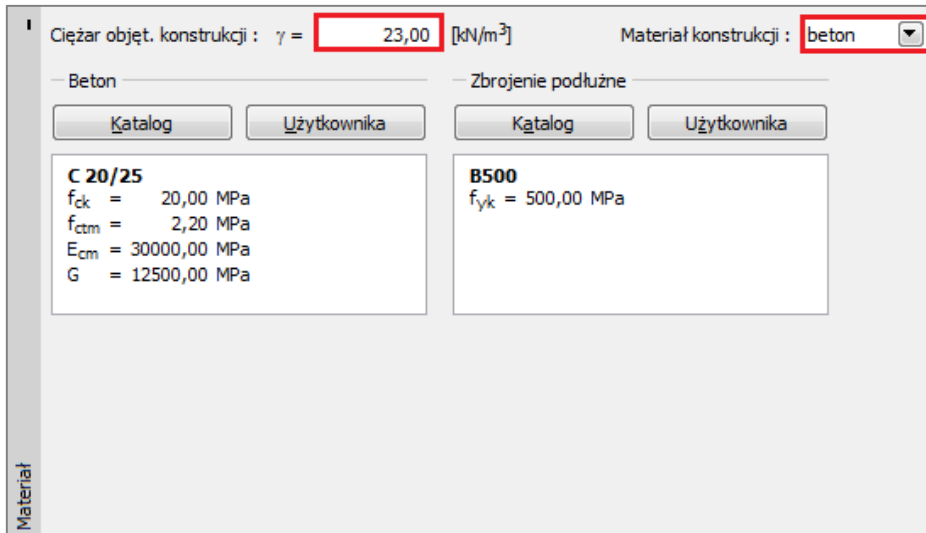
Uwaga: Stały rozkład modułu reakcji poziomej podłoża zależy od modułu odkształcenia gruntu E_{def} [MPa] oraz od zredukowanej szerokości pala r [m] (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Kolejnym krokiem będzie wprowadzenie parametrów gruntów. Wartości kąta dyspersji dla gruntu β [-] należy wprowadzać w zakresie $\frac{\varphi_{ef}}{4} - \varphi_{ef}$. Współczynnik ten jest zatem uzależniony od kąta tarcia wewnętrznego gruntu (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Grunt (Klasyfikacja gruntu)	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Efektywny kąt tarcia wew- nętrznego φ_{ef} [°]	Kąt dyspersji β [°]	Rodzaj gruntu
SaFC1 – łą piaszczysty, twardoplastyczny	18,5	24,5	10,0	spoisty
FSa – piasek drobny, średniozagęszczony	17,5	29,5	15,0	niepoisty

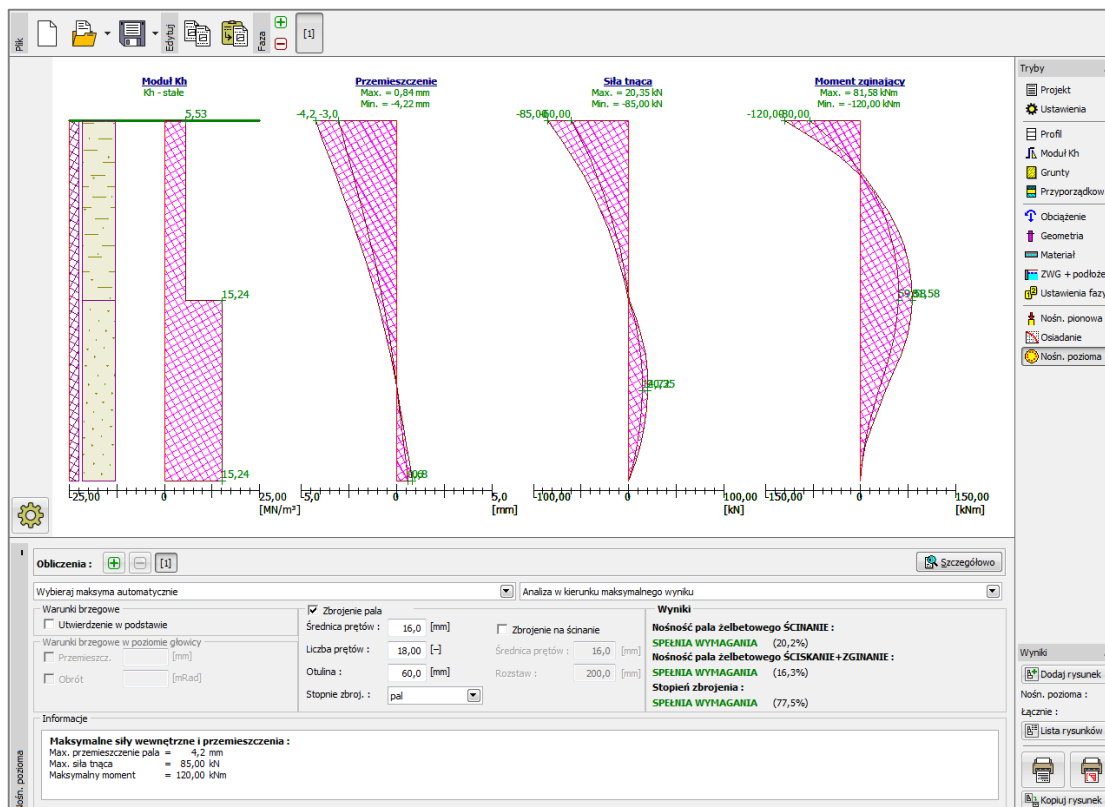
Tabela z parametrami gruntu – nośność pozioma pala

Następnie przejdziemy do ramki “Materiał”, gdzie wprowadzimy parametry pala – ciężar objętościowy i zastosowaną klasę betonu, a także zbrojenie podłużne niezbędne do wymiarowania pobocznicy pala.



Ramka „Materiał”

Następnie przejdziemy do ramki “Nośność pozioma”, w której przedstawione są: maksymalne poziome przemieszczenie głowicy pała, przebieg sił wewnętrznych wzdłuż pała oraz wyniki wymiarowania elementu żelbetowego z uwagi na uzyskane maksymalne wyężenie (analiza w kierunku maksymalnego wyniku).



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

Uwaga: Warunek brzegowy dla pala utwierdzonego w podstawie ma zastosowanie głównie w przypadku pali przenoszących obciążenie swoją podstawą osadzoną w podłożu o charakterze skalistym (inny niż analizowany przypadek). Warunki brzegowe dla głowicy pala narzucane są tylko w sytuacji, gdy pal obciążony jest obciążeniem geometrycznym, czyli podany jest kąt obrotu lub przemieszczenie głowicy pala bez podania obciążenia użytkowego (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

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

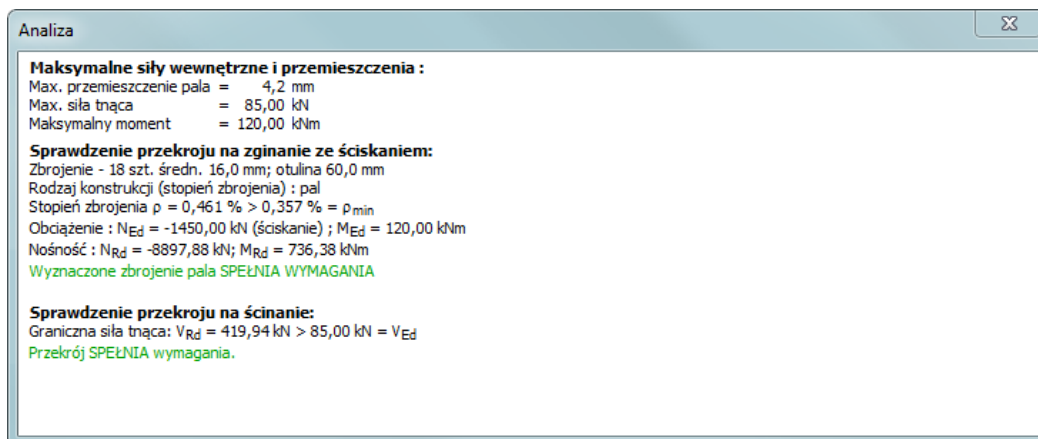
W przedmiotowym przypadku stopień zbrojenia dla pojedynczego pala obciążonego poziomo należy określać zgodnie z CSN EN 1536: *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Pale wiercone* (Tabela 4 – zbrojenie minimalne pali wierconych). Program umożliwia przyjęcie danych zgodnych z normą poprzez wybranie 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 dla opcji “słup”, a dla pali zginanych “belka”. Pale wiercone będące obciążone zarówno pionowo, jak i poziomo zgodnie z normą CSN EN 1536 powinny mieć minimalny stopień zbrojenia w zależności od proporcji pola przekroju zbrojenia do pola betonu (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

Przeglądając wyniki wymiarowania zwróćmy uwagę na poziom wykorzystania nośności pala na zginanie oraz warunek minimalnego stopnia zbrojenia.



Okno dialogowe – „Analiza (szczegółowo)”

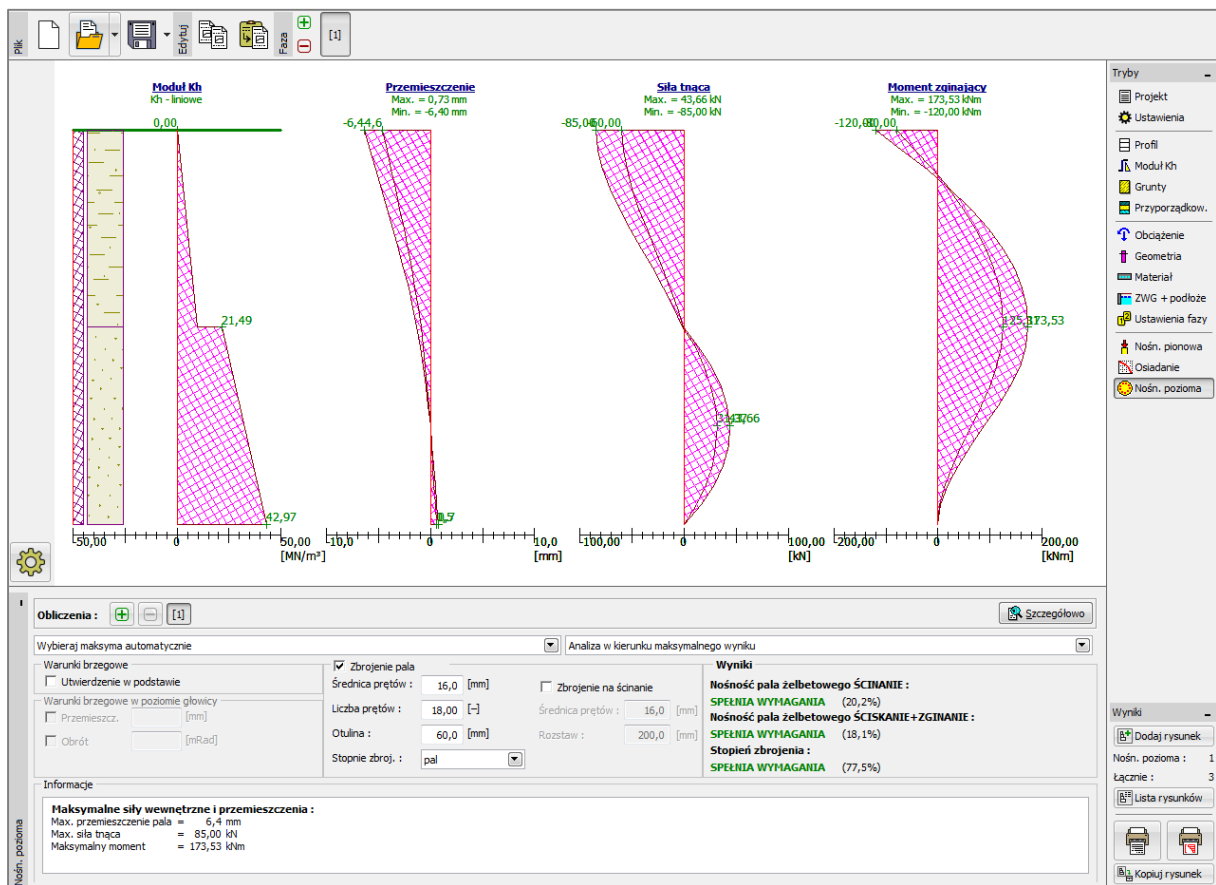
Wyniki obliczeń

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:

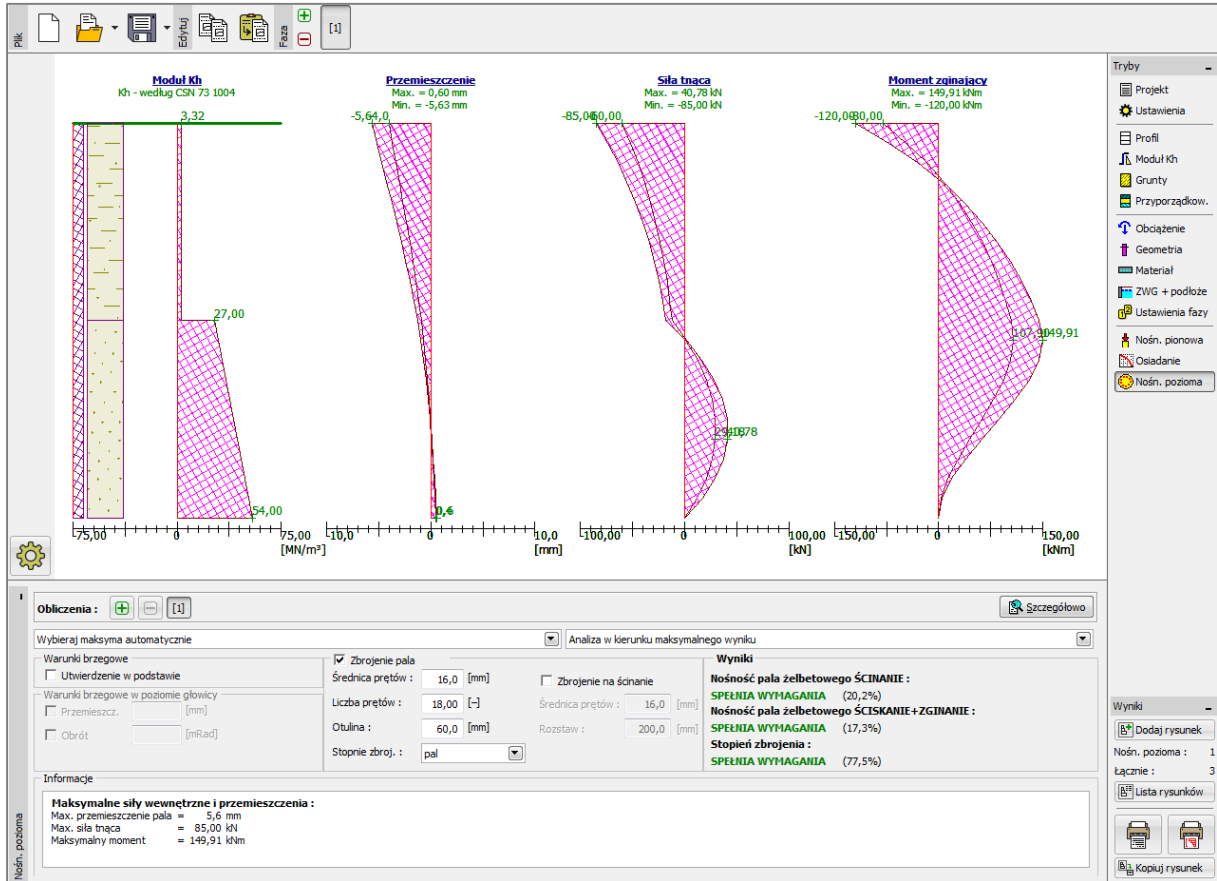
- Maksymalne przemieszczenie pala: $u_{\max} = 4.2 \text{ mm}.$
- Maksymalna siła tnąca: $Q_{\max} = 85.0 \text{ kN}.$
- Maksymalny moment zginający: $M_{\max} = 120.0 \text{ kNm}.$
- Nośność pala żelb. (zginanie + ściskanie): 16.3 % SPEŁNIA WYMAGANIA
- Nośność pala żelb. (ścinięcie): 20.2 % SPEŁNIA WYMAGANIA
- Stopień zbrojenia pala: 77.5 % SPEŁNIA WYMAGANIA

Wróćmy teraz do etapu wprowadzania danych – będziemy kolejno zmieniać metodę obliczania modułu reakcji poziomej podłoża, a następnie wprowadzać brakujące parametry gruntów. Powyższy sposób postępowania zastosujemy dla następujących metod wyznaczania modułu reakcji podłoża:

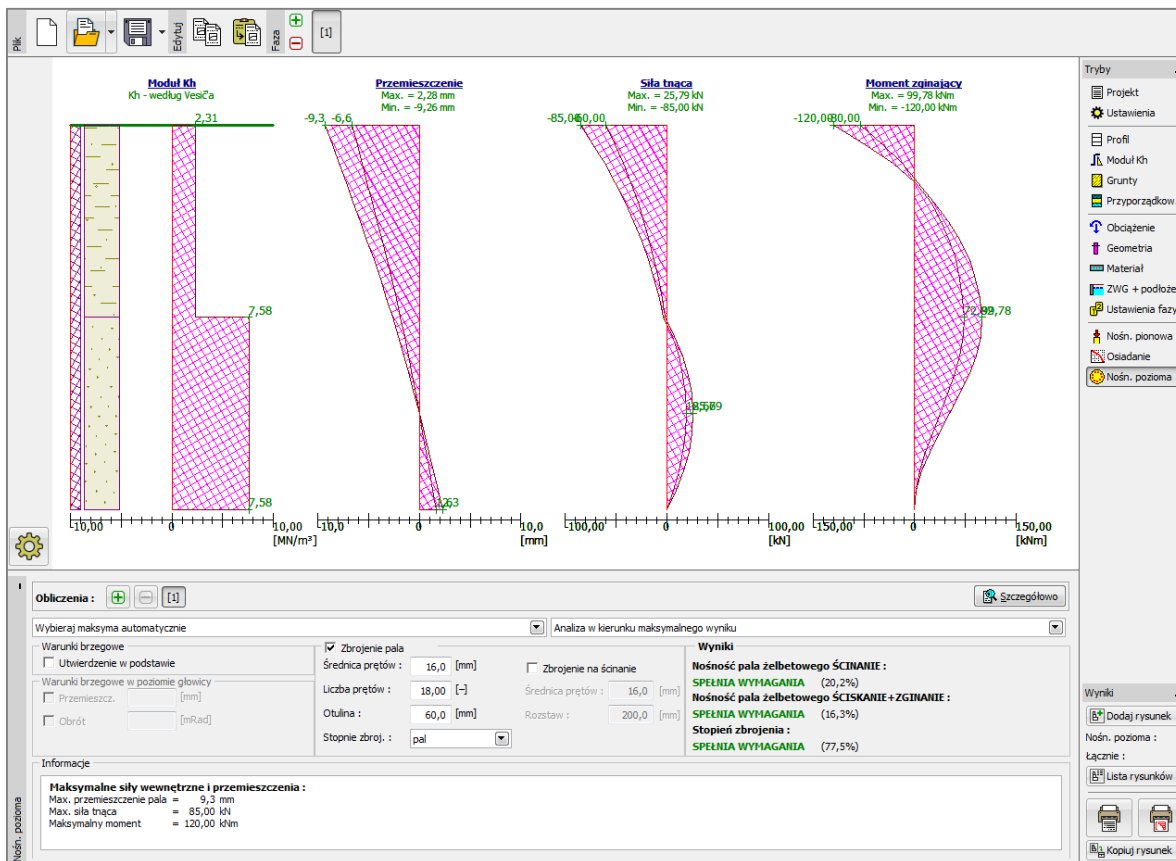
- przebieg liniowy (według Bowles'a),
- zgodnie z normą CSN 73 1004,
- według Vesic'a.



Liniowy przebieg modułu reakcji podłoża k_h (według Bowles'a), przemieszczenie, siły wewnętrzne



Przebieg modułu reakcji podłoża k_h zgodnie z normą CSN 73 1004, przemieszczenie, siły wewnętrzne



Przebieg rozkładu 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	173.53	18.1
CSN 73 1004	5.6	149.91	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.