

## Analiza stanu przemieszczenia oraz wymiarowanie grupy pali

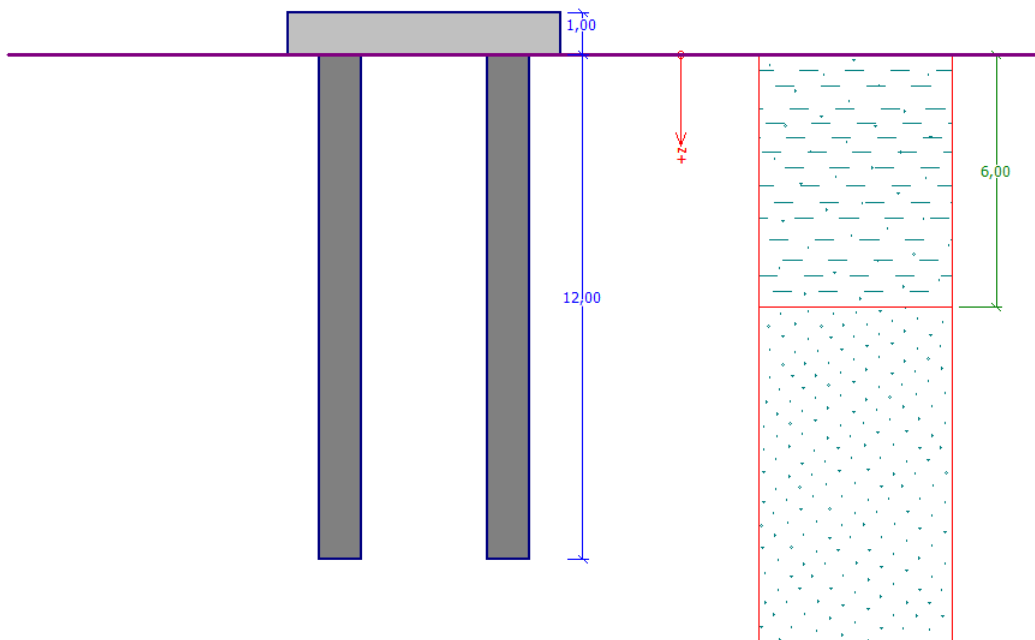
Program: Grupa pali

Plik powiązany: Demo\_manual\_18.gsp

Celem niniejszego przewodnika jest przedstawienie wykorzystania programu GEO5 Grupa pali do obliczania przemieszczenia i kąta obrotu sztywnego odczepu palowego oraz wyznaczania sił wewnętrznych wzdłuż pali i wymiarowania przekrojów poszczególnych 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 podobnie jak w *Przewodniku Inżyniera nr 17 Analiza nośności pionowej i osiadania grupy pali*. Obciążenie wypadkowe (złożone ze składowych  $N, M_y, H_x$ ) przyłożone jest do środka górnej powierzchni odczepu pali. Wymiarowanie pali w grupie należy wykonać zgodnie z normą EN 1992-1-1 (EC 2) przy wykorzystaniu standardowo stosowanych współczynników częściowych.



*Schemat ogólny zadania – grupa pali*

## Rozwiązanie

W celu wykonania zadania skorzystaj z programu GEO5 Grupa Pali. Aby ułatwić i przyspieszyć wprowadzanie podstawowych danych **wykorzystamy dane z zadania wykonanego zgodnie z poprzednim Przewodnikiem inżyniera nr 17 Analiza nośności pionowej i osiadania grupy pali** (tj. wykonamy import danych).

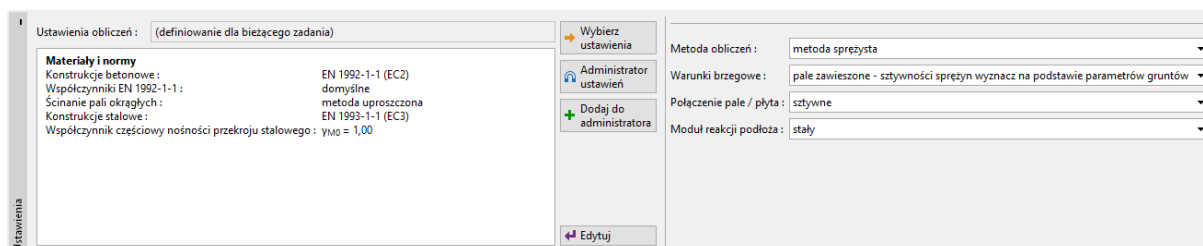
Przeprowadzimy analizę grupy pali *metodą sprężystą*, która zakłada modelowanie pojedynczych pali jako belek na podłożu sprężystym. Każdy pal dzielony jest wewnątrz na dziesięć elementów, dla których program oblicza wartość sztywności sprężyn pionowych i poziomych. Oczep palowy traktowany jest jako nieskończenie sztywny. Rozwiązanie uzyskiwane jest przy pomocy wersji przemieszczeniowej metody elementów skończonych (MES).

## Wprowadzanie danych

W pierwszej kolejności otwórz plik z zadaniem z *Przewodnika inżyniera nr 17* w programie Grupa pali. Następnie, w ramce „Ustawienia” zmień metodę obliczeń na opcję „metoda sprężysta”. Założymy, że połączenie pali z płytą jest **sztywne, tj. utwierdzone**. Przyjęty warunek brzegowy powoduje, że moment zginający z płyty przeniesiony zostanie na głowice pali.

Dodatkowo jako warunki brzegowe nośności w podstawie, wybierz „pale zawieszane – sztywności sprężyn wyznacz na podstawie parametrów gruntu”.

*Uwaga: Program daje możliwość zastosowania kilku różnych warunków brzegowych ze względu na charakter pracy pala w kierunku pionowym. W przypadku pali spoczywających na podłożu lub utwierdzonych w podłożu skalnym sztywność sprężyn pionowych nie jest określana – w podstawie pala modelowany jest przegub lub przegub z przesuwem. W przypadku pali zawieszonych konieczne jest określenie wartości sztywności sprężyn pionowych, zarówno na poboczniczy, jak i w podstawie pala. Program pozwala na wprowadzenie tych wartości, lecz rozsądniejszym rozwiązaniem jest wybranie opcji „wyznacz na podstawie parametrów gruntów”. W takim przypadku program oblicza wartości sztywności sprężyn pionowych na podstawie parametrów odkształceniowych gruntów dla typowego przypadku obciążenia – w najlepszy sposób oddającą pracę pali (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).*



Ramka „Ustawienia obliczeń” – metoda sprężysta

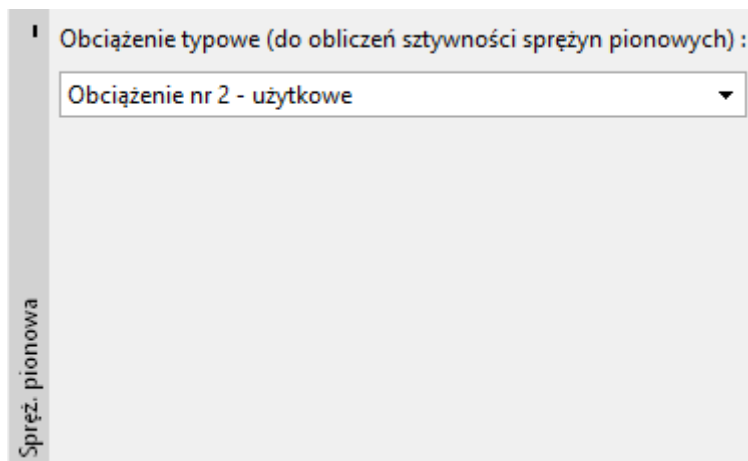
Moduł poziomej reakcji podłoża charakteryzuje zachowanie pala w kierunku poziomym (prostokątnym). Na potrzeby niniejszej analizy przyjmujemy moduł  $k_h$  (a także parametry mające wpływ na jego wartość) o wartości identycznej jak w przypadku obliczeń pojedynczego pala (patrz *Przewodnik inżyniera nr 16 Analiza nośności poziomej pojedynczego pala*). Na początku tego rozdziału przeprowadzimy obliczenia przy założeniu **stałego rozkładu modułu** reakcji poziomej podłoża, a następnie porównamy wyniki dla pozostałych metod wyznaczania modułu reakcji (liniowa – według Bowlesa, według CSN 73 1004 oraz według Vesica).

W momencie, gdy zmieniamy metodę wyznaczania modułu reakcji poziomej, musimy także pamiętać o konieczności dokonania edycji parametrów gruntów w zakładce „Grunty”. Wartości tych parametrów są takie same jak w Przewodniku nr 16. W celu ułatwienia rozwiązania zadania, podane zostały także w tabeli poniżej.

Moduł reakcji 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 – CS	---	---	---
	15 – S-F			
LINIOWY (Bowles)	10 – CS	60 – CS	---	---
	15 – S-F	150 – S-F		
CSN 73 1004	Grunt spoisty, twar doplastyczny			---
	Grunt niespoisty, średniozagęszczony			4,5
VESIC	---	---	5,0 – CS	---
			15,5 – S-F	

*Tabela zbiorcza parametrów niezbędnych do wyznaczania modułu reakcji podłoża  $K_h$*

Następnie przejdziemy do ramki “Sprężyny pionowe”, w której należy wybrać tak zwane obciążenie typowe, które zostanie wykorzystane do obliczenia sztywności sprężyn pionowych. W niniejszym zadaniu wybierzemy opcję “Obciążenie nr 2 – użytkowe”.



*Ramka „Sprężyna pionowa” – obciążenie typowe*

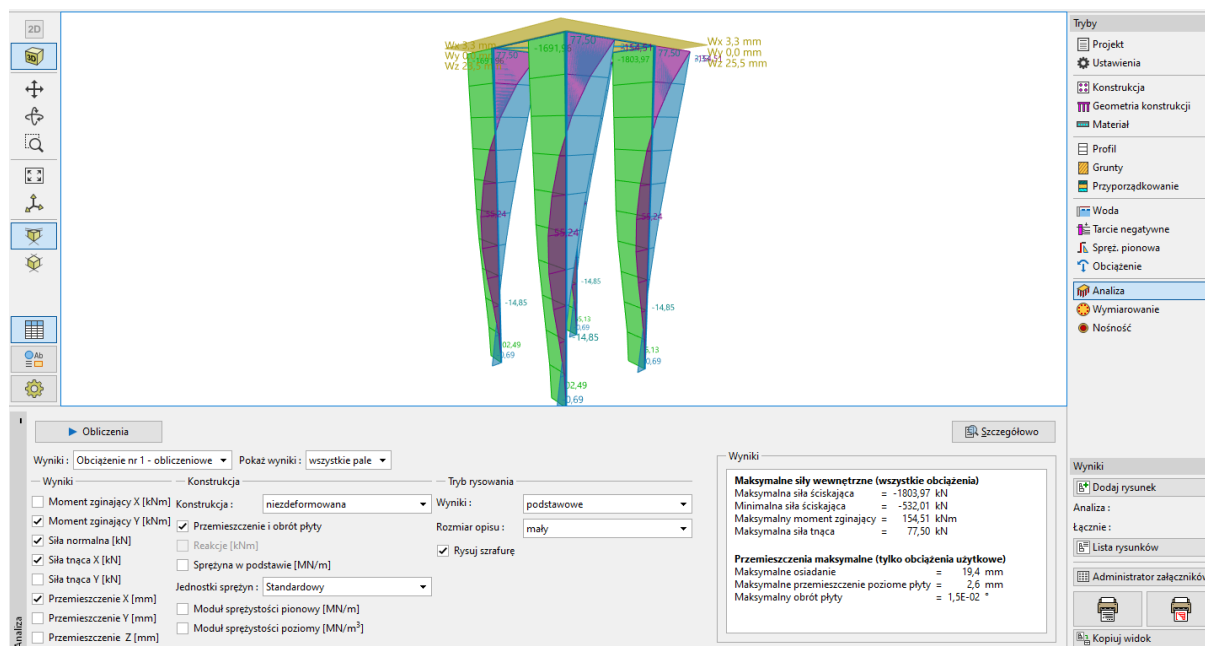
*Uwaga: W przypadku wybierania obciążenia typowego powinno zostać wybrane obciążenie użytkowe (charakterystyczne), ponieważ najlepiej opisuje charakter pracy rzeczywistej konstrukcji (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1). Procedura obliczania sztywności sprężyn pionowych jest następująca:*

- a) Obciążenie typowe rozkładane jest na poszczególne pale.*
- b) Wartość sztywności sprężyn pionowych wzdłuż poboczniczy pala oraz pod podstawą pala obliczana jest osobno dla poszczególnych pali w zależności od obciążenia oraz parametrów gruntu.*

*Wpływ obciążenia na obliczaną sztywność jest bardzo istotny – przykładowo, sztywność sprężyny pod podstawą pala rozciąganego wynosi zawsze zero. W konsekwencji korzystnym w niektórych sytuacjach może być przeprowadzenie obliczeń dla kilku różnych obciążeń typowych.*

## Analiza: Metoda sprężysta

Przechodząc do ramki “Analiza” przeprowadzimy obliczenia grupy pali przyjmując początkowe ustawienia obliczeń (**stały** rozkład modułu reakcji poziomej podłoża) i wyświetlimy wyniki wraz z siłami wewnętrznymi.



### Ramka „Analiza” – metoda sprężysta (stały rozkład modułu reakcji podłoża)

*Uwaga: Sztywność pali w grupie pali jest automatycznie modyfikowana w zależności od położenia danego pala w grupie. Pale znajdujące się na obrzeżach oraz w środku grupy mają zredukowaną sztywność poziomą oraz sztywność na ścinanie sprężyn w stosunku do pojedynczego pala. Sprężyny w podstawie pala nie podlegają redukcji (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).*

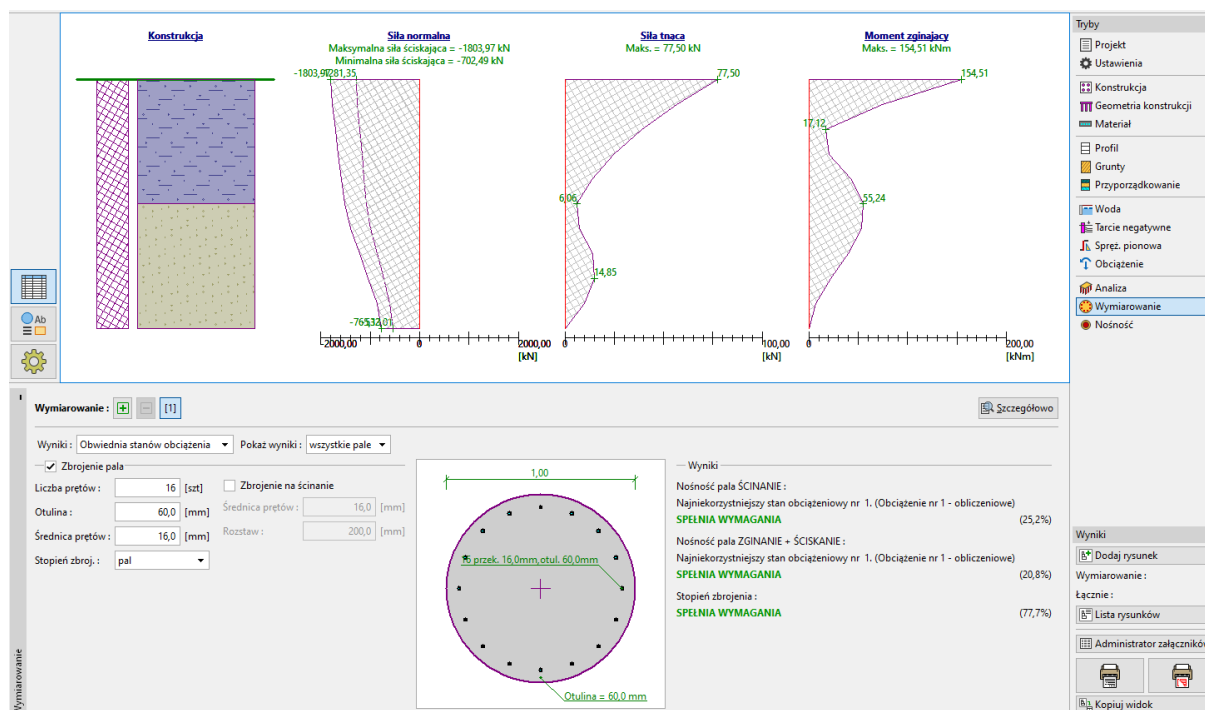
Wyniki obliczeń z zastosowaniem początkowych ustawień obliczeń (dla maksymalnego przemieszczenia) przedstawiają się następująco:

- Maksymalne osiadanie: 19.4 mm
- Maksymalne przemieszczenie poziome płyty: 2.6 mm
- Maksymalny obrót płyty:  $1.5 \times 10^{-2}^\circ$

## Wymiarowanie

Następnie przejdziemy do ramki "Wymiarowanie" i podobnie jak w *Przewodniku Inżyniera nr 16 Analiza nośności poziomej pojedynczego pala* przyjmujemy i zweryfikujemy główne zbrojenie podłużne pali. Założymy takie samo zbrojenie dla wszystkich pali w grupie – **16 Ø 16 mm** oraz otulinę minimalną grubości **60mm**, co odpowiada klasie ekspozycji XC1.

Stopień zbrojenia dla typowo obciążonej grupy pali powinien być określany zgodnie z normą CSN EN 1536:1999 (podobnie jak w rozdziale 16). Program uwzględni powyższe wymagania, jeśli w pozycji Stopień zbrojenia wybierzemy opcję „pal” (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).



Ramka „Wymiarowanie” – wyniki obliczeń wszystkich pali w grupie dla obwiedni stanów obciążenia

Poziom wykorzystania przekroju dla wszystkich pali w grupie ze względu zginanie i ścinanie dla obwiedni stanów obciążenia oraz warunek minimalnego stopnia zbrojenia wygląda następująco:

- Nośność pala ŚCIANANIE: 25.2 % **SPEŁNIA WYMAGANIA**
- Nośność pala ZGINANIE+ŚCISKANIE: 20.8 % **SPEŁNIA WYMAGANIA**
- Stopień zbrojenia: 77.7 % **SPEŁNIA WYMAGANIA**

## Wyniki obliczeń

Sposób postępowania w przypadku wybrania innych metod obliczeniowych jest dokładnie taki sam jak przedstawiono powyżej. Do kolejnych obliczeń będziemy kolejno modyfikować metodę wyznaczania modułu reakcji podłoża w ramce "Ustawienia", a także parametry gruntów w zakładce „Grunty” w miarę potrzeby (zgodnie z tabelą parametrów). A następnie, w każdym przypadku będziemy ponownie przeprowadzać analizę grupy pali w ramach "Analiza" i "Wymiarowanie". Wyniki obliczeń zebrane zostały w poniższych tabelach.

Moduł reakcji podłoża $k_h$ [ $MN/m^3$ ]	Siła ściskająca (maksymalna, minimalna) [ $kN$ ]	Maksymalny moment zginający [ $kNm$ ]	Maksymalna siła tnąca [ $kN$ ]
STAŁY	-1803,97	154,51	77.50
	-532,01		
LINIOWY (Bowlesa)	-1822,08	190,74	77.50
	-526,06		
według CSN 73 1004	-1815,70	177,97	77.50
	-528,18		
według VESICA	-1827,92	202,41	77.50
	-524,15		

*Podsumowanie wyników (siły wewnętrzne) – analiza grupy pali (metoda sprężysta)*

Moduł reakcji podłoża $k_h$ [ $MN/m^3$ ]	Maksymalne osiadanie [ $mm$ ]	Maksymalne przemieszczenie poziome [ $mm$ ]	Maksymalny kąt obrotu płyty [ $^\circ$ ]	Stopień wykorzystania nośności [%]
STAŁY	19.4	2,6	$1,5 \cdot 10^{-2}$	20,8
LINIOWY (Bowlesa)	19,8	3,5	$2 \cdot 10^{-2}$	22,1
według CSN 73 1004	19,6	3,3	$1,8 \cdot 10^{-2}$	21,6
według VESICA	19,9	4,7	$2,2 \cdot 10^{-2}$	22,6

*Podsumowanie wyników – przemieszczenie oraz wymiarowanie grupy pali*

## Wnioski

Wartości maksymalnego osiadania grupy pali, przemieszczenia oraz kąta obrotu oczepu palowego mieszczą się w zakresie wartości dopuszczalnych.

Przeprowadzona analiza pokazuje, że uzyskane wartości sił wewnętrznych wzdłuż pojedynczych pali oraz maksymalne wartości maksymalnych przemieszczeń w poziomie głowicy pali w grupie różnią się nieznacznie, ale wpływ wyboru metody wyznaczania rozkładu modułu reakcji podłoża  $k_h$  nie jest istotny.

Zaproponowane zbrojenie pali jest wystarczające. Warunek minimalnego stopnia zbrojenia pali również jest spełniony.