

## Analiza obudowy wykopu z pięcioma poziomami kotwienia

Program powiązany: Ściana analiza

Plik powiązany: Demo\_manual\_07.gp2

Niniejszy przewodnik inżyniera przedstawia problematykę projektowania obudowy wykopu z wieloma poziomami kotwienia. Opisywana ściana berlińska została zrealizowana podczas budowy stacji metra Prosek znajdującej się na linii C praskiego metra.

Więcej informacji na temat przedmiotowego projektu znajdziesz w poniższych dokumentach:

- [Broszura informacyjna](#)
- [Porównanie wyników obliczonych i uzyskanych z monitoringu obudowy](#)

### Wprowadzenie

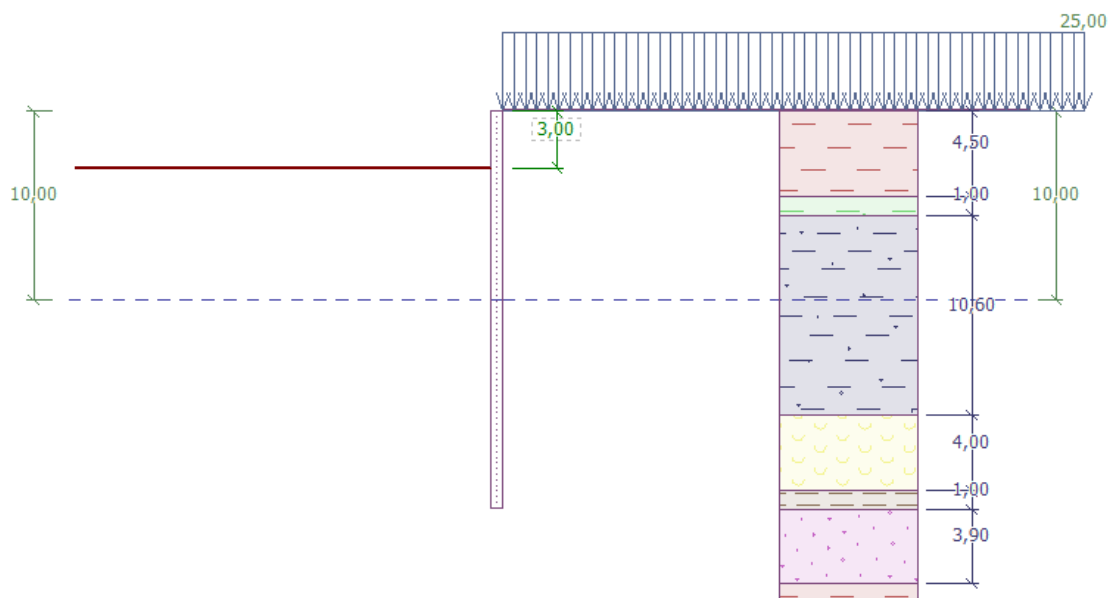
Podstawowym założeniem metody parć zależnych (metody modułu reakcji) jest to, że grunt lub skała w pobliżu ściany zachowuje się jak materiał idealnie sprężysto-plastyczny. Grunt (zgodnie z modelem Winkler'a) opisywany jest poprzez moduł reakcji podłoża  $k_n$ , który charakteryzuje odkształcenie w obszarze sprężystym oraz dodatkowo przez odkształcenia graniczne, po przekroczeniu których zakłada się, że grunt zachowuje się jak materiał idealnie plastyczny.

Stosuje się następujące założenia obliczeniowe:

- parcie działające na ścianę może przyjąć dowolną wartość pomiędzy granicznymarciem czynnym a biernym – ale nie może przekroczyć tych wartości,
- parcie spoczynkowe działa na nieodkształconą konstrukcję ( $w = 0$ ).

## Zadanie

Przeprowadzić obliczenia obudowy wykopu w postaci ściany berlińskiej z palami stalowymi wykonanymi z profilu IPN 400 o długości  $l = 21 \text{ m}$ . Głębokość wykopu wynosi  $h = 15 \text{ m}$ . Profil terenu za obudową jest poziomy. Obciążenie naziomu za ścianą berlińską przyjąć jako powierzchniowe o wartości  $25 \text{ kN/m}^2$ . Poziom zwierciadła wody gruntowej (ZWG) znajduje się  $10,0 \text{ m}$  poniżej poziomu terenu. Rozstaw osiowy pali wynosi  $a = 2 \text{ m}$ .



Schemat projektowanej ściany berlińskiej – Faza 1

Grunt (Klasyfikacja gruntu)	Mięższość warstwy [m]	Ciężar objętościowy $\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]}$	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego $\varphi_{ef} \text{ [}^\circ\text{]}$	Efektywna spójność gruntu $c_{ef} \text{ [kPa]}$	Kąt tarcia konstrukcja - grunt $\delta = \text{[}^\circ\text{]}$	Współcz. Poissona gruntu $\nu \text{ [-]}$
F6	4,5	19,5	20	16	7,5	0,4
F4	1	19,5	22	14	7,5	0,35
R3	10,6	22	40	100	15	0,25
R5 (1)	4	19	24	20	7,5	0,3
R5 (2)	1	21	30	35	14	0,25
R5 (3)	3,9	21	40	100	15	0,2

Tabela z parametrami gruntów i skał

Ciężar objętościowy gruntu nawodnionego  $\gamma_{sat}$  przyjąć taki sam jak ciężar objętościowy gruntu w stanie naturalnym  $\gamma$ . Stan naprężenia przyjmujemy jako **efektywny**, parcie spoczynkowe wyznaczane jest dla gruntów **niespoistych**. Ponadto, dla każdego gruntu obliczenia wyporu należy wybrać jako **standardowe**.

Wszystkie kotwy mają średnicę  $d = 32$  mm, moduł sprężystości podłużnej  $E = 210$  GPa. Rozstaw kotew wynosi  $b = 4$  m.

Numer kotwy	Poziom kotwienia $z$ [m]	Długość wolna $l$ [m]	Długość buławy $l_k$ [m]	Kąt nachylenia $\alpha$ [°]	Siła sprężająca $F$ [kN]	Faza kotwienia $v$ [-]
1	2,5	13	6	15	300	2
2	5,5	10	6	17,5	350	4
3	8,5	7	6	20	400	6
4	11	6	4	22,5	500	8
5	13	5	3	25	550	10

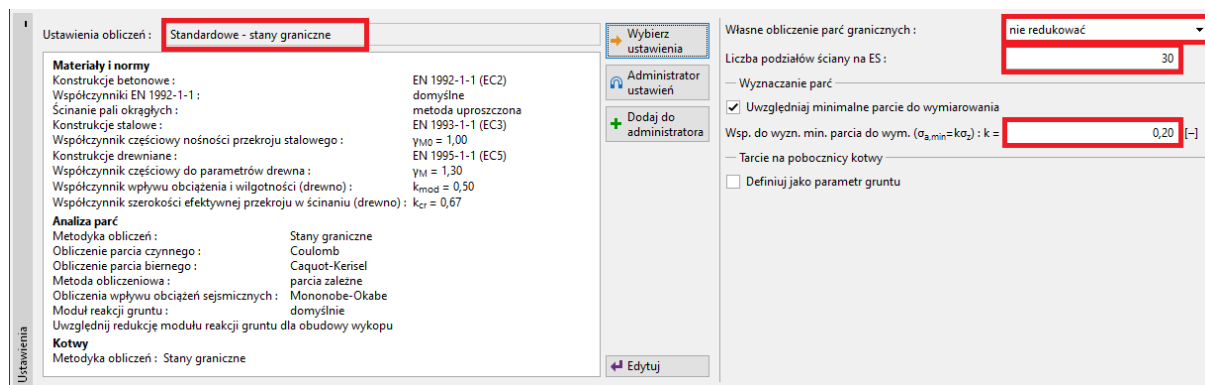
*Tabela z położeniem i parametrami geometrycznymi kotew*

Moduł reakcji podłoża  $K_h$  rośnie w sposób liniowy wraz z głębokością do poziomu 5,0m, gdzie osiąga wartość 10 MN/m<sup>3</sup>. Poniżej głębokości 5,0 m przyjmuje wartość stałą.

### Rozwiązanie

W celu rozwiązania zadania skorzystaj z programu GEO5 Ściana analiza. Obliczenia zostaną przeprowadzone bez redukcji parametrów materiałowych gruntów przez współczynniki częściowe, co pozwala na odzwierciedlenie rzeczywistej pracy konstrukcji.

W ramce "Ustawienia" naciśnij przycisk "Wybierz ustawienia", a następnie wybierz z listy dostępnych ustawień obliczeń numer 2 – "Standardowe – stany graniczne". Pozostaw domyślną wartość współczynnika minimalnego parcia do wymiarowania równą  $k = 0,2$ . Liczbę podziałów ściany na elementy skończone przyjmij jako 30 (patrz rysunek).



Ramka "Ustawienia"

*Uwaga: W przypadku złożonych zadań, jak chociażby obudowa wykopu z wieloma poziomami kotwienia, zaleca się przeprowadzenie obliczeń parć granicznych bez redukcji parametrów materiałowych gruntów lub odpowiednio bez współczynników częściowych redukujących wartości parcia gruntu. Metoda parć zależnych bez redukcji parametrów materiałowych gruntów lepiej odzwierciedla rzeczywistą pracę konstrukcji (uzyskujemy przemieszczenia konstrukcji bliższe rzeczywistym) i daje wyniki zbliżone do rozwiązania MES. (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).*

Następnie, w zakładce Ustawienia, za pomocą przycisku „Edytuj” otwórz okno dialogowe „Edycja ustawień bieżącego zadania” i wybierz sposób określania modułu reakcji podłoża jako „definiuj”. Odznacz także opcję „Uwzględnij redukcję modułu reakcji gruntu dla obudowy wykopu” (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij F1).

Edycja ustawień bieżącego zadania : Ściana analiza

Materiały i normy   Analiza parć   Kotwy

Metodyka obliczeń : Stany graniczne

Obliczenie parcia czynnego : Coulomb

Obliczenie parcia biernego : Caquot-Kerisel

Metoda obliczeniowa : parcia zależne

Obliczenia wpływu obciążeń sejsmicznych : Mononobe-Okabe

Moduł reakcji gruntu : definiuj

☐ Uwzględnij redukcję modułu reakcji gruntu dla obudowy wykopu

☐ Definiuj różne kąty tarcia konstrukcja/grunt w strefie parcia czynnego i odporu

☐ Wsp.  $\gamma_{mq}$  redukuje tangens kąta tarcia wewnętrznego  $\varphi$

Trwała sytuacja obliczeniowa   Przejściowa sytuacja obliczeniowa   Wyjątkowa sytuacja obliczeniowa   Sejsmiczna sytuacja obliczeniowa

— Współczynniki redukcji parametrów gruntów —

Współczynnik redukcji kąta tarcia wewn. :  $\gamma_{mq} = 1,10$  [-]

Współczynnik redukcji spójności :  $\gamma_{mc} = 1,40$  [-]

Współczynnik redukcji wsp. Poisson'a :  $\gamma_{mv} = 1,00$  [-]

Współczynnik redukcji ciężaru obj. za konstrukcją :  $\gamma_{my} = 1,00$  [-]

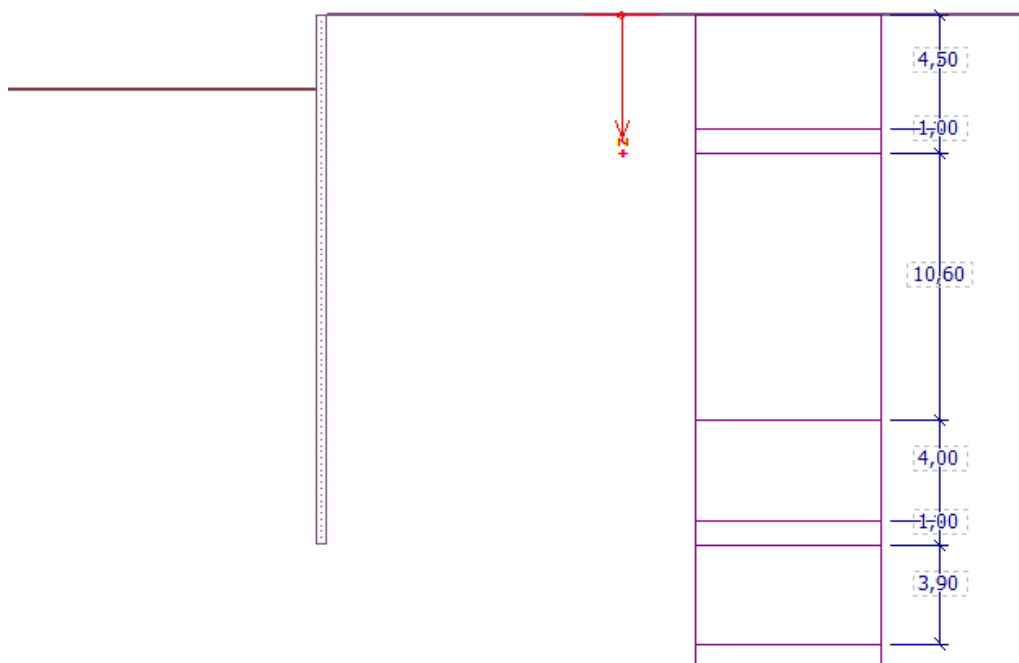
Współczynnik redukcji ciężaru obj. przed konstrukcją :  $\gamma_{my} = 1,00$  [-]

Współczynnik redukcji stateczności wewnętrznej kotew :  $\gamma_{Ris} = 1,10$  [-]

Współczynnik redukcji nośności przy zniszczeniu hydraulicznym :  $\gamma_h = 1,30$  [-]

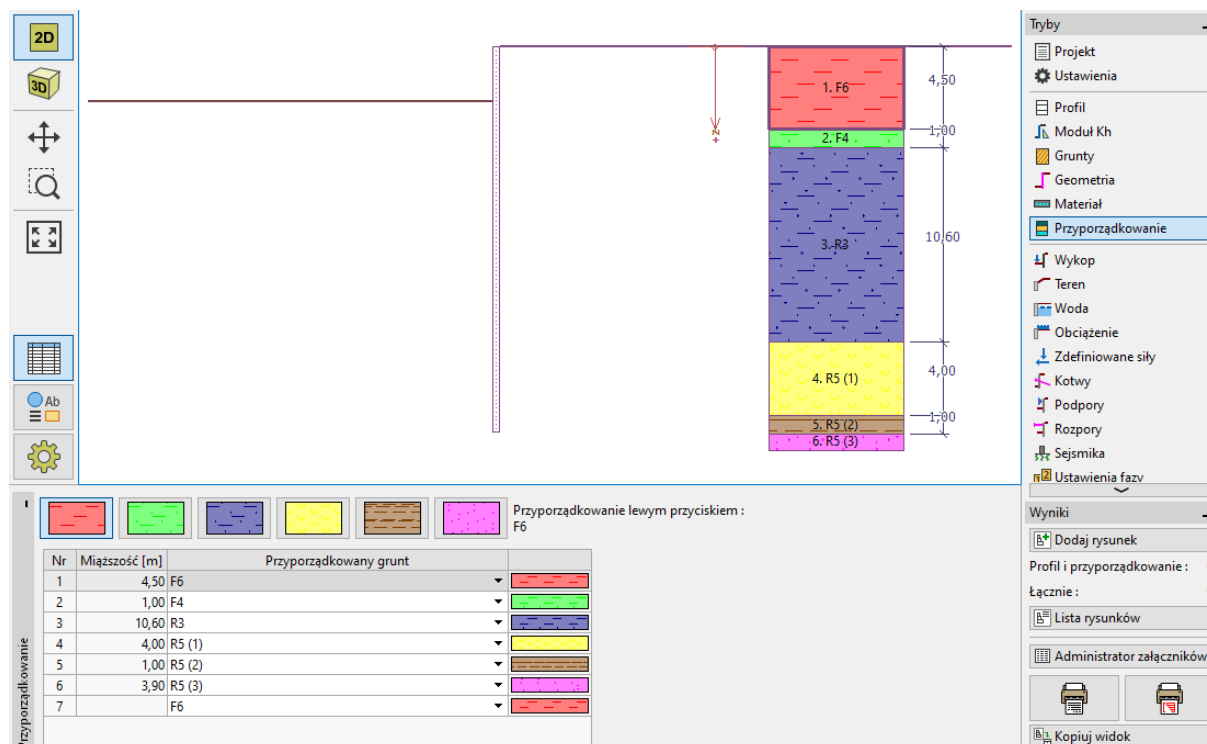
Okno dialogowe „Edycja ustawień bieżącego zadania”

W ramach „Profil”, „Grunty” i „Przyporządkowanie” zdefiniuj profil geologiczny zadania zgodnie z tabelą i informacjami zawartymi w opisie powyżej. W pierwszej kolejności w ramce „Profil” dodaj 4 nowe warstwy na głębokościach pokazanych na poniższym rysunku.



Ramka „Profil” – dodawanie warstw

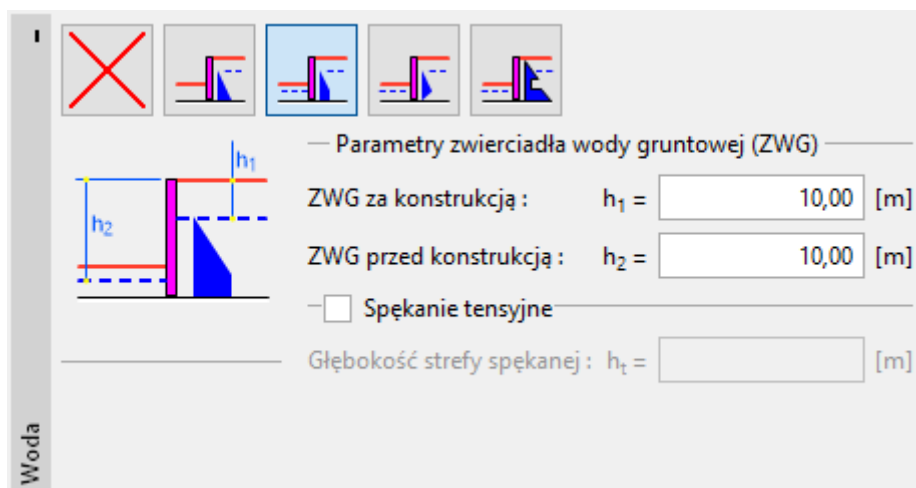
Następnie, w ramce „Grunty” dodaj 6 nowych gruntów wraz z parametrami zgodnie z danymi podanymi w tabeli powyżej i przyporządkuj je do odpowiednich warstw w ramce „Przyporządkowanie”.



Nr	Mięszczość [m]	Przyporządkowany grunt
1	4,50	F6
2	1,00	F4
3	10,60	R3
4	4,00	R5 (1)
5	1,00	R5 (2)
6	3,90	R5 (3)
7		F6

Ramka „Przyporządkowanie” – grunty przyporządkowane do profilu

Dodaj jeszcze zwierciadło wody gruntowej w ramce „Woda”. W pierwszej fazie budowy zagłębienie ZWG poniżej poziomu terenu będzie jednakowe od strony wykopu i za ścianą i wyniesie 10 m p.p.t.



— Parametry zwierciadła wody gruntowej (ZWG) —

ZWG za konstrukcją:  $h_1 = 10,00$  [m]

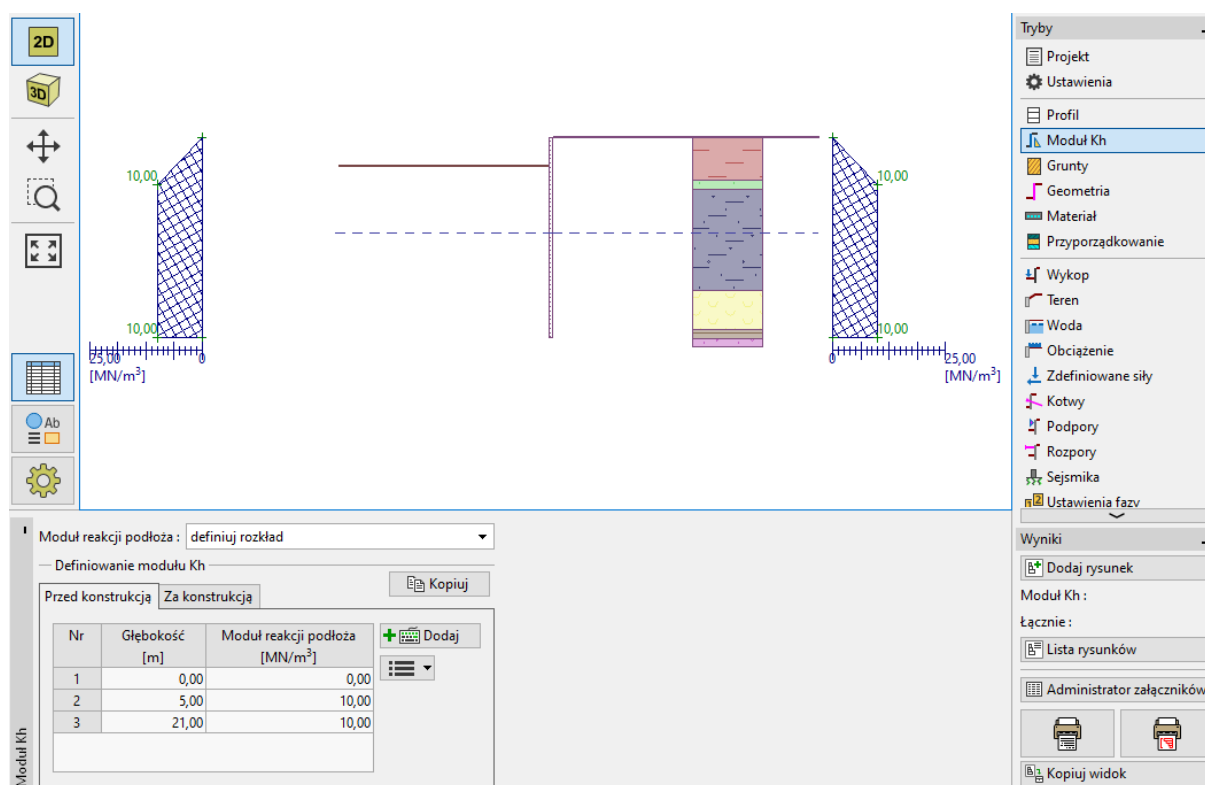
ZWG przed konstrukcją:  $h_2 = 10,00$  [m]

☐ Spężanie tensyjne

Głębokość strefy spężanej:  $h_t = 10,00$  [m]

Ramka „Woda” – definiowanie parametrów ZWG

Następnie przejdź do ramki "Moduł  $K_h$ " i wprowadź wartość modułu reakcji podłoża – liniowo rosnący do głębokości 5,0 m, a głębiej stały o wartości 10 MN/m<sup>3</sup>. Moduł definiowany jest do głębokości konstrukcji. Jeśli długość konstrukcji zostanie zmieniona moduł będzie automatycznie poprawiony. W tym zadaniu, poniżej głębokości 5 m moduł będzie stały na całej długości konstrukcji (21m). Jeśli wartości  $K_h$  nie są znane, można wykorzystać znane parametry gruntów do ich wyznaczenia (np. przy zastosowaniu metody Schmitta – na podstawie modułu edometrycznego  $E_{oed}$  lub modułu odkształcenia  $E_{def}$ ). Więcej informacji na temat modułu  $K_h$  i metod jego wyznaczania można znaleźć w pomocy programu – F1.



Ramka "Moduł  $k_h$ "

Teraz, przejdź do ramki "Geometria" i określ parametry ściany berlińskiej – rodzaj ściany i wysokość odcinka jako  $l = 21$  m. Skorzystaj z katalogu przekrojów dwuteowych i wybierz profil **IPN 400**. Rozstaw osiowy pali wynosi  $a = 2$  m. W tym oknie należy również zdefiniować współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu, w tym przypadku przyjmijmy równy 0,5.

*Uwaga: Współczynnik redukcji parcia poniżej dna wykopu zmniejsza wartość parcia gruntu poniżej dna wykopu. W przypadku ściany ciągłej, współczynnik ten wynosi 1.0 i nie występuje wtedy redukcja parcia, natomiast w przypadku ściany berlińskiej jest mniejszy bądź równy 1.0. Wartość współczynnika zależy od szerokości pali i ich rozstawu osiowego. (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).*

Rodzaj ściany : Ściana berlińska (profil I - stalowy)

Nazwa przekroju : profil I : I(IPN) 400, a = 2,00 m ☐ Użytkownika

Wysokość odcinka :  $l =$  21,00 [m]

Wsp. redukcji parcia poniżej dna wykopu : definiuj 0,50 [-]

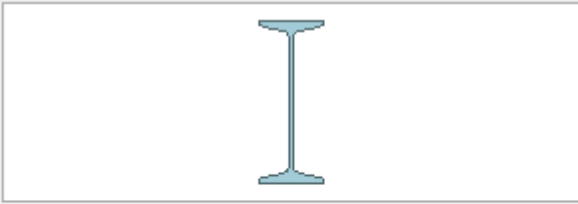
— Geometria konstrukcji —

Rozstaw osiowy profili :  $a =$  2,00 [m]

— Przekrój —

Katalog Spawany


Nazwa : **I(IPN) 400**



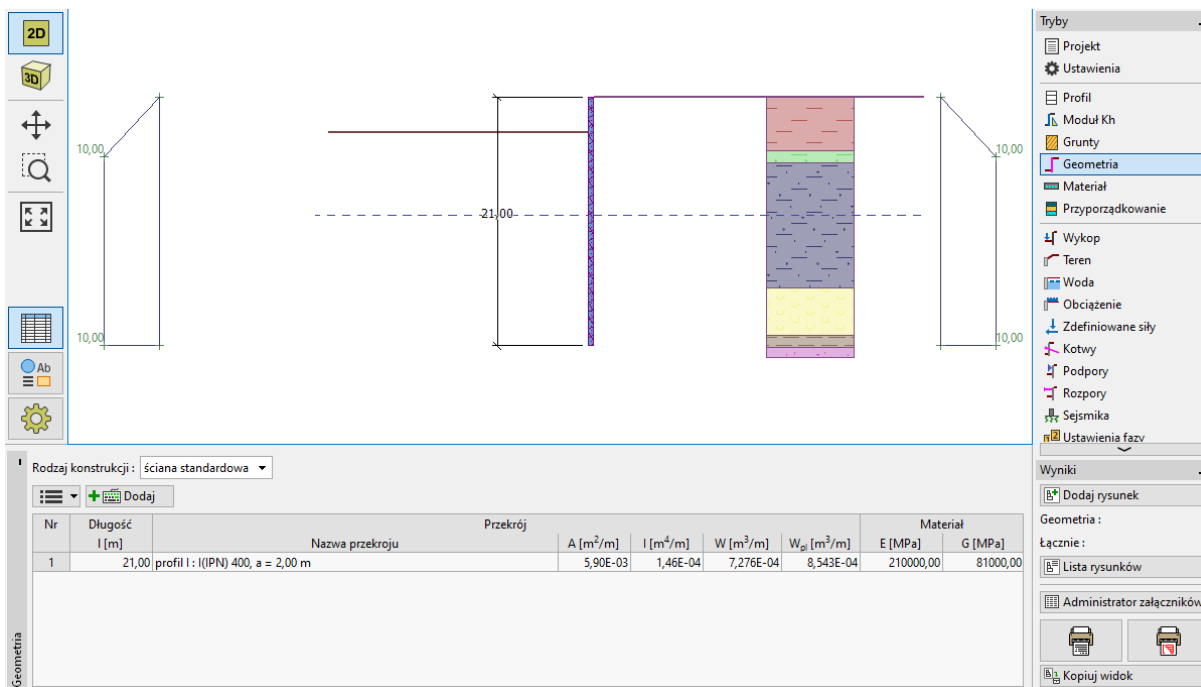
— Informacje —

$A = 5,90E-03$  [m<sup>2</sup>/m]  $I = 1,46E-04$  [m<sup>4</sup>/m]

$W_{y1} = 7,276E-04$  [m<sup>3</sup>/m]  $W_{pl,y} = 8,543E-04$  [m<sup>3</sup>/m]

 Katalog użytkownika OK Anuluj

Okno dialogowe "Nowy odcinek"



Rodzaj konstrukcji : ściana standardowa

Dodaj

Nr	Długość $l$ [m]	Nazwa przekroju	Przekrój	$A$ [m <sup>2</sup> /m]	$I$ [m <sup>4</sup> /m]	$W$ [m <sup>3</sup> /m]	$W_p$ [m <sup>3</sup> /m]	Material	$E$ [MPa]	$G$ [MPa]
1	21,00	profil I : I(IPN) 400, a = 2,00 m		5,90E-03	1,46E-04	7,276E-04	8,543E-04		210000,00	81000,00

Wyniki

Dodaj rysunek

Geometria : 0

Łącznie : 0

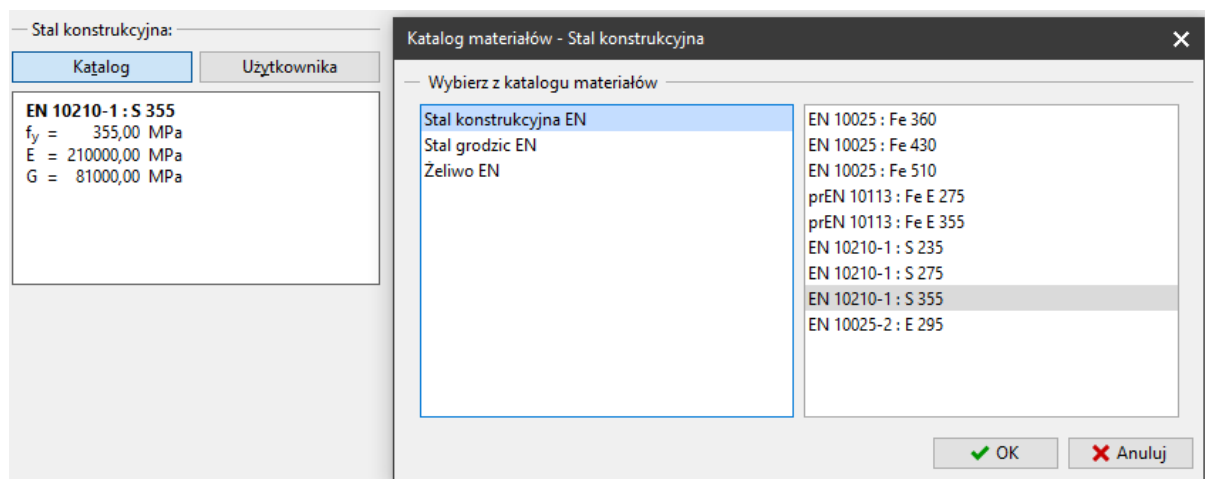
Lista rysunków

Administrator załączników

Kopiuj widok

Ramka "Geometria" – dodawanie nowego odcinka ściany

W ramce "Materiał" wybierz z katalogu materiałów odpowiednią klasę stali konstrukcyjnej pali ściany berlińskiej. W tym przypadku wybierz klasę stali **EN 10210-1: S 355**.



*Okno dialogowe "Katalog materiałów"*

Przedstawimy teraz sposób realizacji wykopu w obudowie ze ścianą berlińską kotwionej z uwzględnieniem kolejnych faz budowy. Postaramy się wykonać model konstrukcji odzwierciedlający etapy budowy realizowane w rzeczywistości. Wartości sił wewnętrznych i przemieszczeń należy analizować osobno dla każdej fazy budowy.

Jeżeli stateczność obudowy nie jest zachowana lub dopuszczalne wartości przemieszczeń projektowanej ściany berlińskiej są przekroczone w dowolnej fazie budowy należy zmodyfikować konstrukcję – zwiększyć zagłębienie ściany w gruncie, wykonać płytszy wykop lub zwiększyć siły sprężające w kotwach itp.

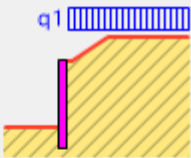
W pierwszej fazie budowy, w ramce "Obciążenia", zdefiniujemy stałe obciążenie naziomu za ścianą berlińską w postaci obciążenia powierzchniowego o wartości  $q = 25 \text{ kN/m}^2$ .

Nazwa : Stałe obciążenie powierzchniowe

— Charakterystyka obciążenia —





Rodzaj : Powierzchniowe

Rodzaj oddziaływania : stałe



— Wartość obciążenia —

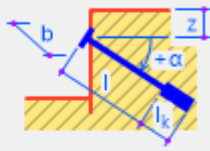
Wartość :  $q = 25,00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

OK +  OK +   OK  Anuluj

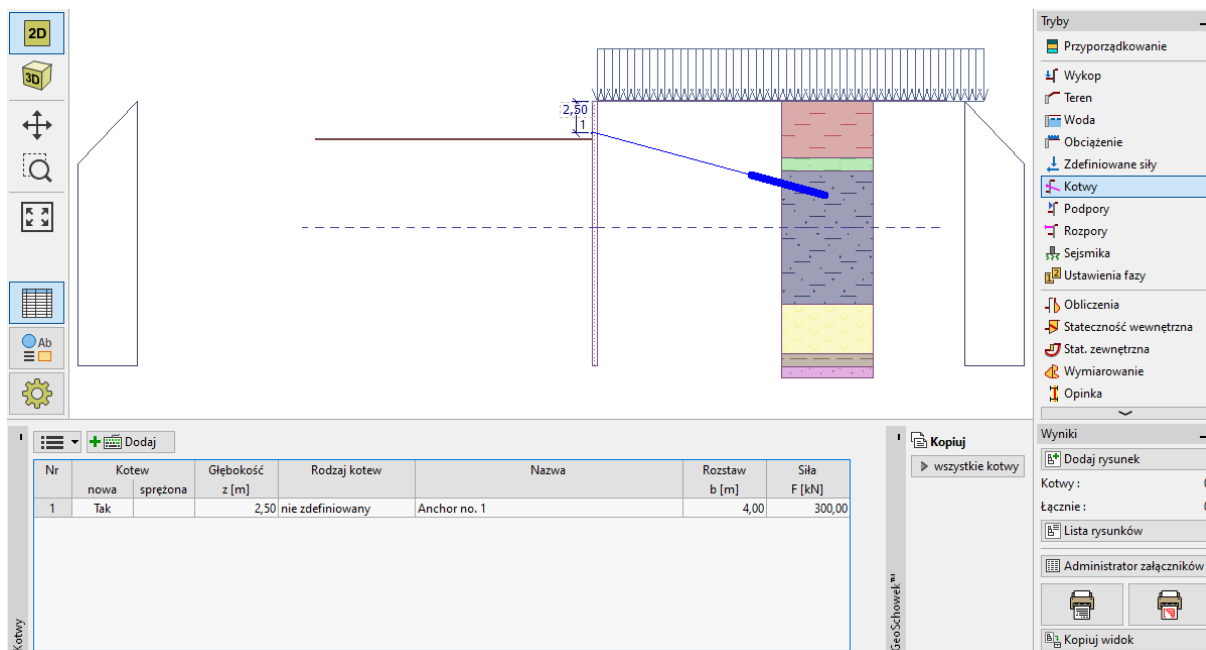
*Ramka "Obciążenie"*

Głębokość wykopu w 1. fazie budowy wynosi  $h = 3 \text{ m}$ . Poziom zwierciadła wody gruntowej jest na głębokości  $h_1 = h_2 = 10 \text{ m}$  poniżej poziomu terenu z obydwu stron ściany. Wykonaj obliczenia i dodaj kolejną fazę budowy. W 2. Fazie, w ramce „Kotwy”, dodaj nowy, pierwszy poziom kotew gruntowych na głębokości  $z = 2,5 \text{ m}$ .

Rodzaj kotew :	nie zdefiniowany	
Nazwa :	Anchor no. 1	
— Parametry kotwy —		
Głębokość :	$z =$	2,50 [m]
Długość wolna :	$l =$	13,00 [m]
Długość buławy :	$l_k =$	6,00 [m]
Nachylenie :	$\alpha =$	15,00 [°]
Rozstaw :	$b =$	4,00 [m]
— Sztywność —		
Sposób definiowania :	definiuj średnicę	
Średnica :	$d_s =$	32,0 [mm]
Moduł sprężystości :	$E =$	210000,00 [MPa]
Siła sprężenia wstępnego : $F =$ 300,00 [kN]		
<div>OK + ↑</div> <div>OK + ↓</div> <div>✓ OK</div> <div>✗ Anuluj</div>		



Ramka „Kotwy” – dodaj nową kotew (faza budowy nr 2)



Ramka "Kotwy" – Faza budowy nr 2

Wykonaj obliczenia i dodaj kolejną fazę budowy (3). W fazie 3, w zakładce „Wykop” zmienimy głębokość wykopu na  $h = 6,5 \text{ m}$ . W tej fazie nie dodamy nowego rzędu kotew. Ponownie wykonaj obliczenia i dodaj kolejną fazę budowy (4). W fazie 4, dodamy nowy, drugi poziom kotew gruntowych na głębokości  $z = 5,5 \text{ m}$ . Poziom zwierciadła swobodnego wody gruntowej na razie nie ulega zmianie.

Rodzaj kotew : nie zdefiniowany

Nazwa : Anchor no. 2

— Parametry kotwy —

Głębokość :  $z = 5,50 \text{ [m]}$

Długość wolna :  $l = 10,00 \text{ [m]}$

Długość buławy :  $l_k = 6,00 \text{ [m]}$

Nachylenie :  $\alpha = 17,50 \text{ [°]}$

Rozstaw :  $b = 4,00 \text{ [m]}$

— Sztynność —

Sposób definiowania : definiuj średnicę

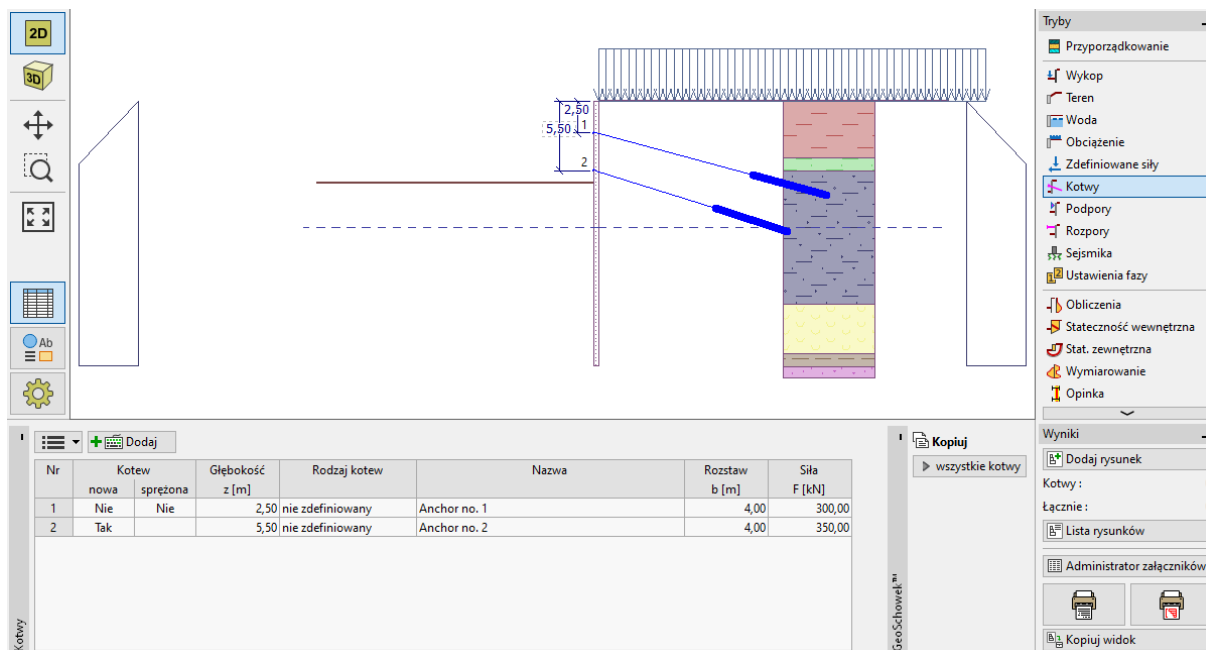
Średnica :  $d_s = 32,0 \text{ [mm]}$

Moduł sprężystości :  $E = 210000,00 \text{ [MPa]}$

Siła sprężenia wstępnego :  $F = 350,00 \text{ [kN]}$

OK + OK + OK Anuluj

Ramka "Kotwy" – dodaj nową kotew (faza budowy nr 4)



Ramka "Kotwy" – Faza budowy nr 4

Dodaj kolejną, piątą fazę budowy. W tej fazie zamodelujemy wykonanie wykopu do głębokości  $h = 9 \text{ m}$ . Następnie po przeliczeniu tej fazy dodaj kolejną fazę budowy (6). W fazie 6 dodaj trzeci, nowy poziom kotew gruntowych na głębokości  $z = 8,5 \text{ m}$ . Poziom zwierciadła swobodnego wody gruntowej nadal nie ulega zmianie.

Rodzaj kotew : nie zdefiniowany

Nazwa : Anchor no. 3

— Parametry kotwy —

Głębokość :  $z = 8,50 \text{ [m]}$

Długość wolna :  $l = 7,00 \text{ [m]}$

Długość buławy :  $l_k = 6,00 \text{ [m]}$

Nachylenie :  $\alpha = 20,00 \text{ [°]}$

Rozstaw :  $b = 4,00 \text{ [m]}$

— Sztywność —

Sposób definiowania : definiuj średnicę

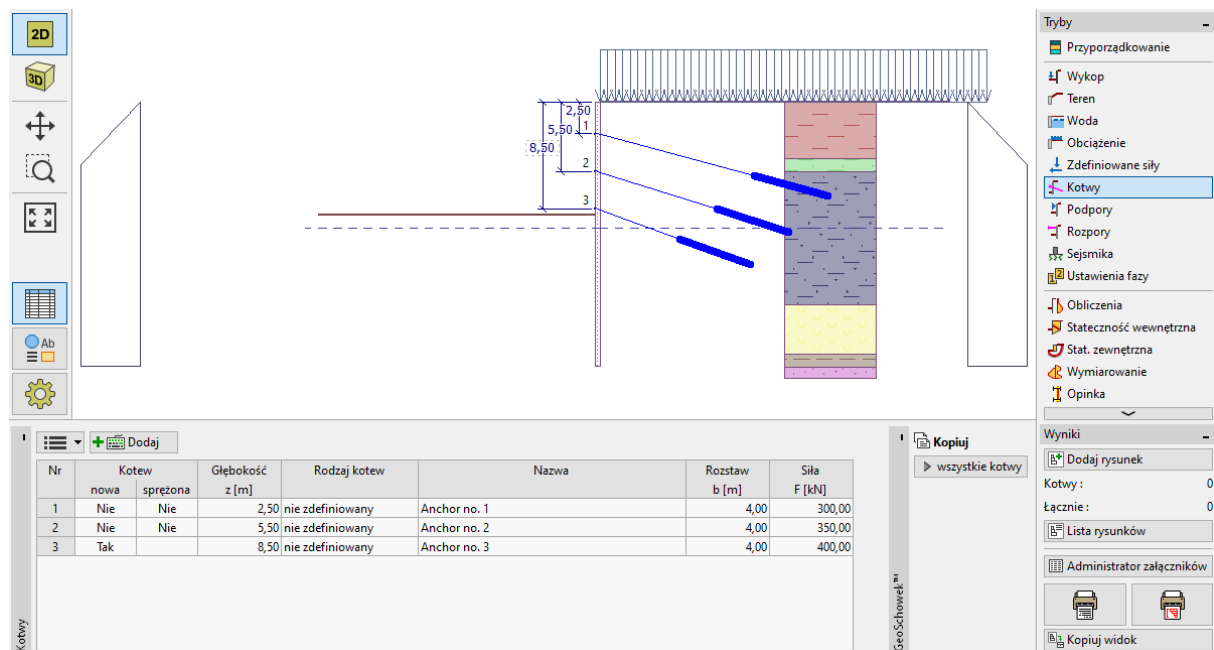
Średnica :  $d_s = 32,0 \text{ [mm]}$

Moduł sprężystości :  $E = 210000,00 \text{ [MPa]}$

Siła sprężenia wstępnego :  $F = 400,00 \text{ [kN]}$

OK + OK + OK Anuluj

Ramka "Kotwy" – dodaj nową kotew (faza budowy nr 6)



*Ramka "Kotwy" – Faza budowy nr 6*

Dodaj kolejną fazę budowy (7). W fazie 7 zmień głębokość wykopu na  $h = 11,5 \text{ m}$ . W tej fazie należy także zmienić poziom zwierciadła wody gruntowej od strony wykopu. Przejdź do ramki „Woda” i zmień poziom ZWG przed ścianą na  $h_2 = 12 \text{ m}$  poniżej poziomu terenu (tj. 0,5 m poniżej dna wykopu w tej fazie). Poziom ZWG za ścianą nie ulega zmianie. Wykonaj obliczenia tej fazy i dodaj kolejną fazę budowy (8). W fazie 8 zamodelujemy nowy, czwarty poziom kotew gruntowych na głębokości  $z = 11 \text{ m}$ .

Rodzaj kotew : nie zdefiniowany

Nazwa : Anchor no. 4

— Parametry kotwy —

Głębokość :  $z =$  11,00 [m]

Długość wolna :  $l =$  6,00 [m]

Długość buławy :  $l_k =$  4,00 [m]

Nachylenie :  $\alpha =$  22,50 [°]

Rozstaw :  $b =$  4,00 [m]

— Sztywność —

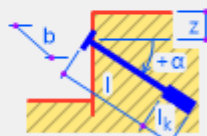
Sposób definiowania : definiuj średnicę

Średnica :  $d_s =$  32,0 [mm]

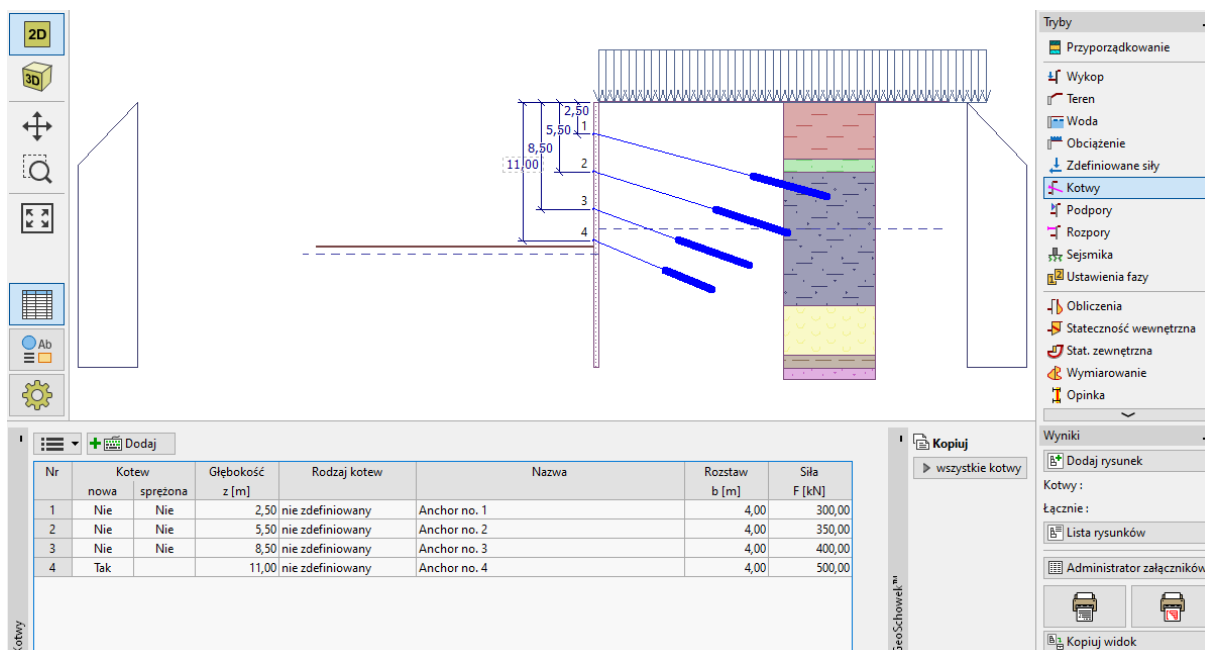
Moduł sprężystości :  $E =$  210000,00 [MPa]

Siła sprężenia wstępnego :  $F =$  500,00 [kN]

OK + ↑ OK + ↓ ✓ OK ✗ Anuluj



Ramka "Kotwy" – dodaj nową kotwę (faza budowy nr 8)



Nr	Kotew nowa	Kotew sprężona	Głębokość z [m]	Rodzaj kotew	Nazwa	Rozstaw b [m]	Siła F [kN]
1	Nie	Nie	2,50	nie zdefiniowany	Anchor no. 1	4,00	300,00
2	Nie	Nie	5,50	nie zdefiniowany	Anchor no. 2	4,00	350,00
3	Nie	Nie	8,50	nie zdefiniowany	Anchor no. 3	4,00	400,00
4	Tak	Nie	11,00	nie zdefiniowany	Anchor no. 4	4,00	500,00

Ramka "Kotwy" – Faza budowy nr 8

Dodaj kolejną fazę budowy (9). W fazie 9 zamodeluj wykonanie wykopu do głębokości  $h = 13,5 \text{ m}$ . Zmień także poziom zwierciadła wody gruntowej od strony wykopu na  $h_2 = 15,5 \text{ m}$  poniżej poziomu terenu. Poziom ZWG za ścianą nie ulega zmianie. Przelicz tę fazę budowy i dodaj kolejną (10). W fazie 10 dodamy ostatni nowy, piąty poziom kotew gruntowych na głębokości  $z = 13 \text{ m}$ .

Rodzaj kotew :

Nazwa :

— Parametry kotwy —

Głębokość :  $z =$   [m]

Długość wolna :  $l =$   [m]

Długość buławy :  $l_k =$   [m]

Nachylenie :  $\alpha =$   [°]

Rozstaw :  $b =$   [m]

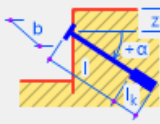
— Sztynność —

Sposób definiowania :

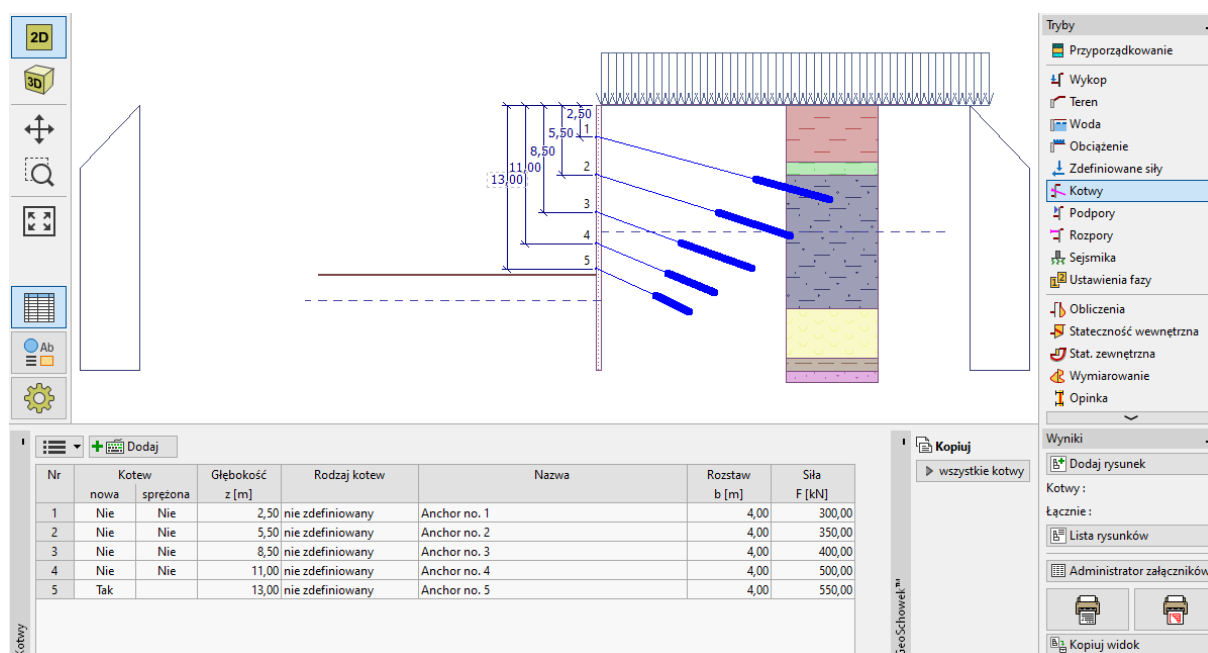
Średnica :  $d_s =$   [mm]

Moduł sprężystości :  $E =$   [MPa]

Siła sprężenia wstępnego :  $F =$   [kN]



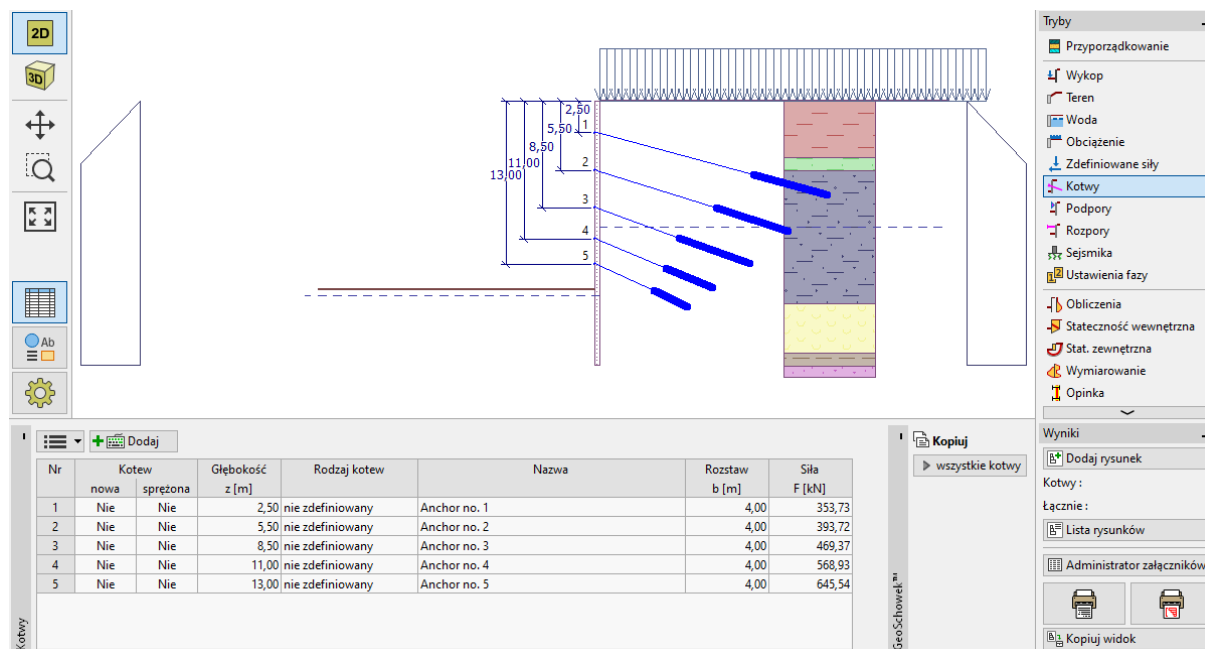
Ramka "Kotwy" – dodaj nową kotew (faza budowy nr 10)



Nr	Kotew	Głębokość z [m]	Rodzaj kotew	Nazwa	Rozstaw b [m]	Siła F [kN]
1	Nie	2,50	nie zdefiniowany	Anchor no. 1	4,00	300,00
2	Nie	5,50	nie zdefiniowany	Anchor no. 2	4,00	350,00
3	Nie	8,50	nie zdefiniowany	Anchor no. 3	4,00	400,00
4	Nie	11,00	nie zdefiniowany	Anchor no. 4	4,00	500,00
5	Tak	13,00	nie zdefiniowany	Anchor no. 5	4,00	550,00

Ramka "Kotwy" – Faza 10

Dodaj ostatnią (11) fazę budowy. W tej fazie zamodeluj wykonanie wykopu do rzędnej docelowej  $h = 15 \text{ m}$ . Nie wykonujemy nowego poziomu kotwienia. Poziom zwierciadła wody gruntowej przed ścianą nie zmienił się od fazy 9 budowy i pozostaje na głębokości  $h_2 = 15,5 \text{ m}$  poniżej poziomu terenu, a poziom ZWG za ścianą nadal wynosi  $h_1 = 10 \text{ m}$ .

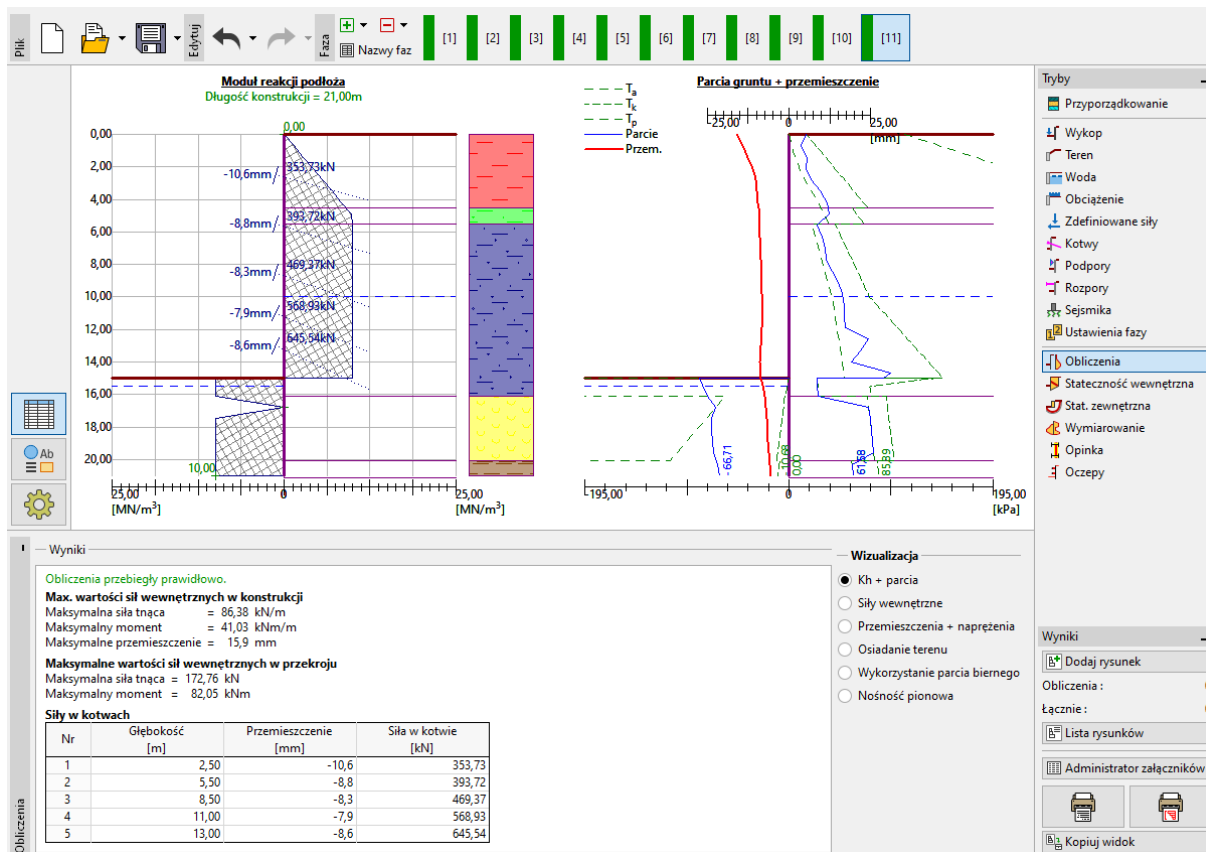


Ramka "Kotwy" – Faza budowy nr 11

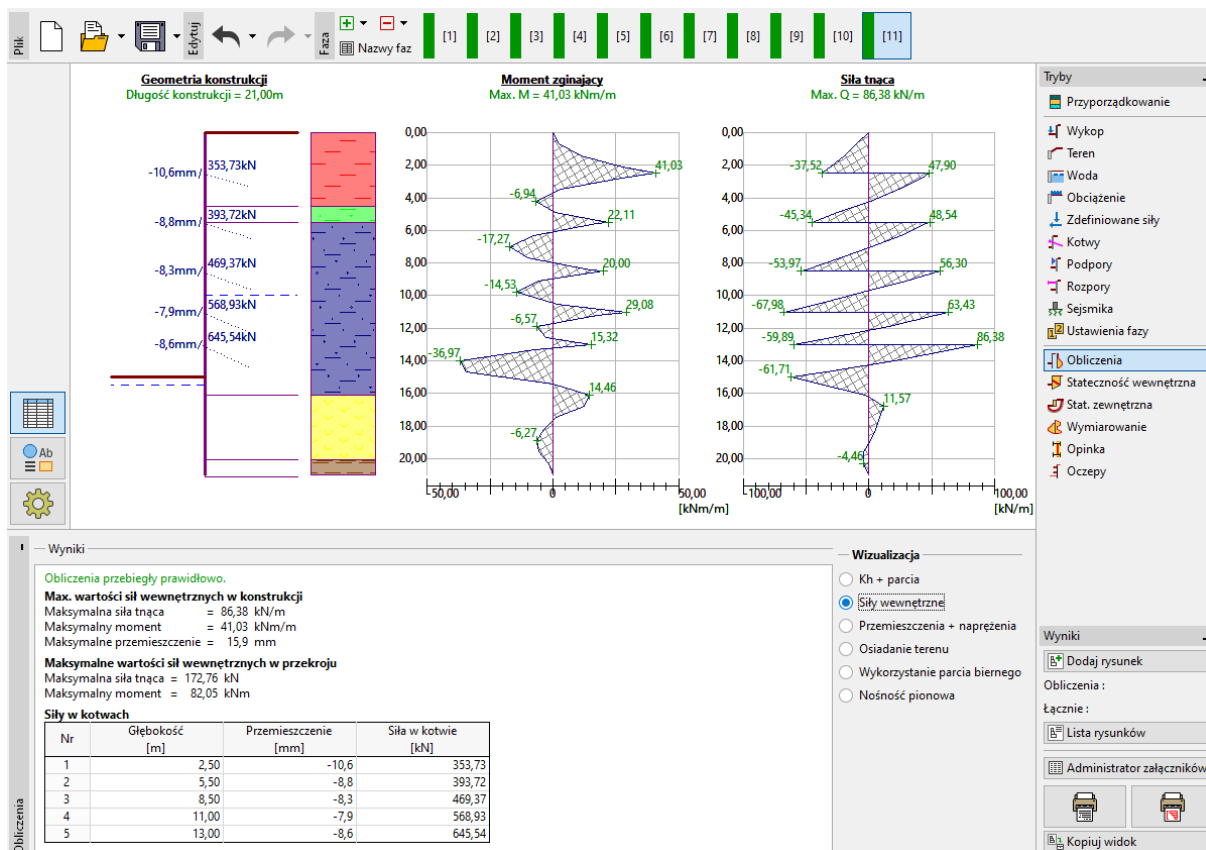
*Uwaga: Odkształcenie konstrukcji ściany powoduje zmianę sił normalnych w kotwach. Zmiana siły w kotwach zależy od sztywności kotew i odkształceń głowicy kotwy. Wartość siły normalnej w kotwie może zmaleć (ze względu na straty siły sprężającej) lub wzrosnąć. Kotew może zostać doprężona na dowolnym etapie wznoszenia konstrukcji do wymaganej wartości siły sprężającej.*

## Wyniki obliczeń

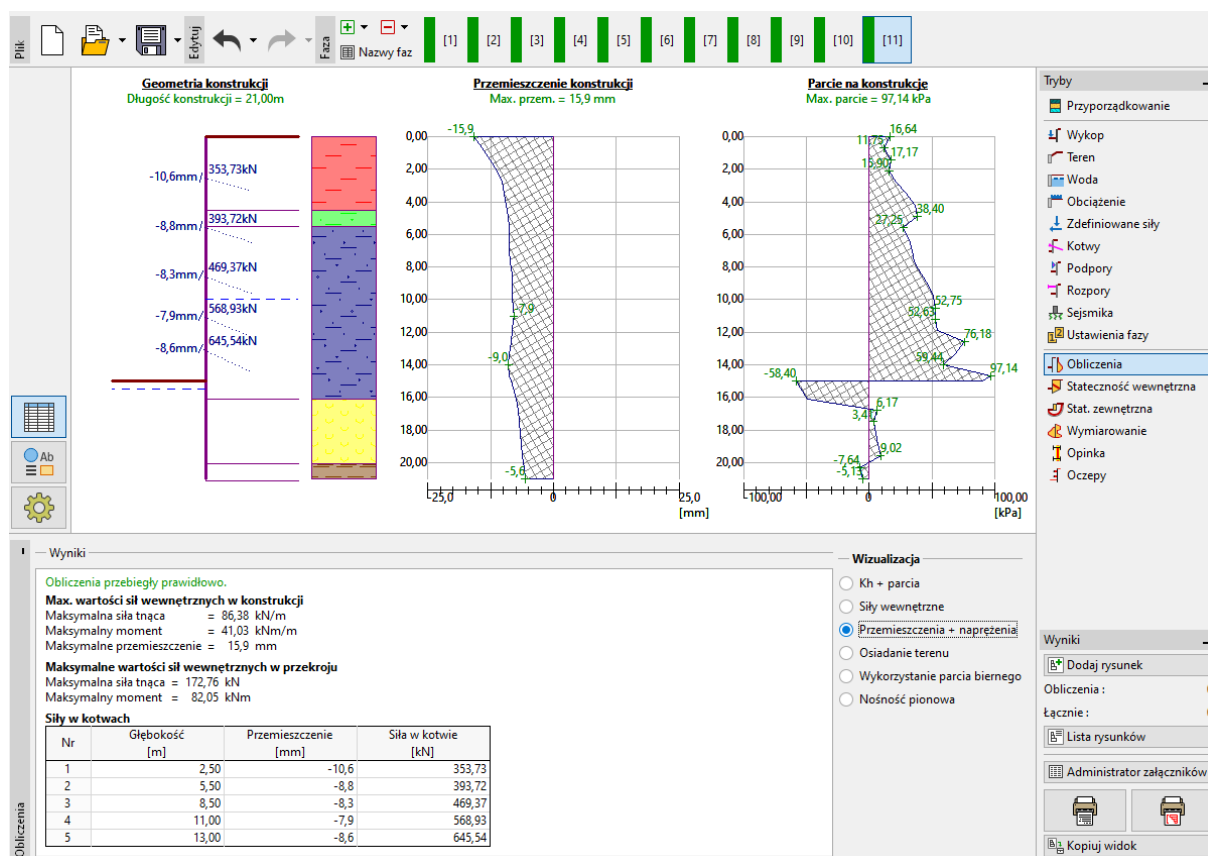
Wyniki obliczeń (siły wewnętrzne – moment zginający i siła tnąca, przemieszczenie konstrukcji oraz parcia gruntu) w ostatniej fazie budowy – faza 11 – przedstawione zostały na poniższych rysunkach.



Ramka "Obliczenia" – Faza 11 (Moduł reakcji podłoża i wykresy parć)



Ramka "Obliczenia" – Faza 11 (Siły wewnętrzne)



Ramka "Obliczenia" – Faza 11 (Przemieszczenia i naprężenia)

Przeanalizowane zostały wszystkie fazy głębienia wykopu w obudowie z kotwionej ściany berlińskiej, co oznacza, że projektowana konstrukcja jest stateczna we wszystkich fazach budowy. Należy ponadto sprawdzić, czy przemieszczenia jakich doznaje ściana są mniejsze od wartości dopuszczalnych oraz czy wartość siły normalnej w kotwach nie przekracza ich nośności (użytkownik musi dokonać tego sprawdzenia samodzielnie, gdyż nie jest ono automatycznie wykonywane przez program Ściana analiza). Wyniki obliczeń w ostatniej fazie budowy (faza 11) są następujące:

- Maksymalna siła tnąca:  $Q_{max} = 86,38 \text{ kN/m}$
- Maksymalny moment zginający:  $M_{max} = 41,03 \text{ kNm/m}$
- Maksymalne przemieszczenie:  $u_{max} = 15,9 \text{ mm}$

## Wymiarowanie przekroju pała ściany berlińskiej

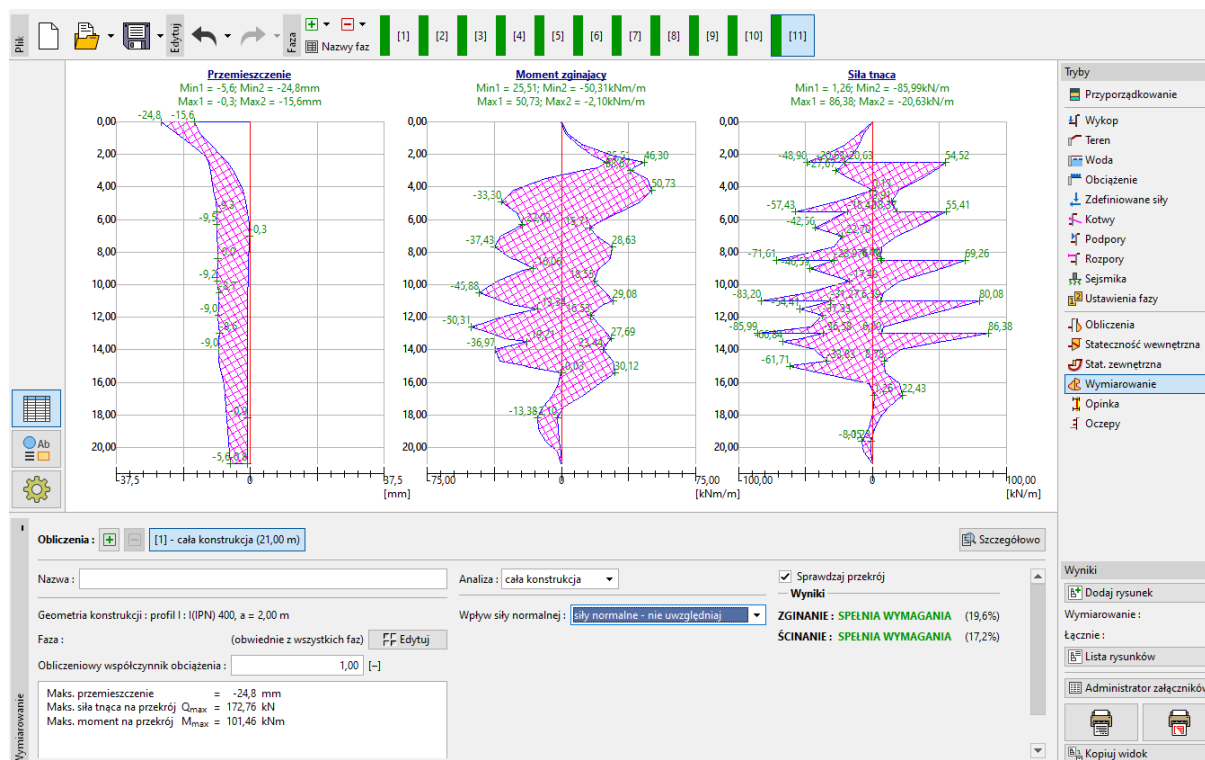
W ostatniej fazie budowy, przejdź do ramki "Wymiarowanie". W tej ramce możesz odczytać wartości maksymalne i minimalne sił wewnętrznych (obwiednia sił wewnętrznych) w pału (z uwzględnieniem zdefiniowanego rozstawu pali)

- Maksymalna siła tnąca:  $Q_{max} = 172,76 \text{ kN}$
- Maksymalny moment zginający:  $M_{max} = 101,46 \text{ kNm}$

Program przeprowadza obliczenia pali ściany berlińskiej (przekrój stalowy typu IPN) uwzględniając ekstremalne wartości sił wewnętrznych zgodnie z EN 1993-1-1 (Eurokod 3).

Zostawmy chwilowo obliczeniowy współczynnik obciążenia o wartości 1,00. Wyniki obliczeń są następujące:

- Nośność przekroju na zginanie:  $M_{Rd} = 516,61 \text{ kNm} \geq M_{Ed,max} = 101,46 \text{ kNm}$ .
- Wykorzystanie nośności przekroju: **19,6 %** Przekrój IPN 400 spełnia wymagania.



Ramka "Wymiarowanie" – Faza 11 (Sprawdzenie nośności przekroju IPN 400)

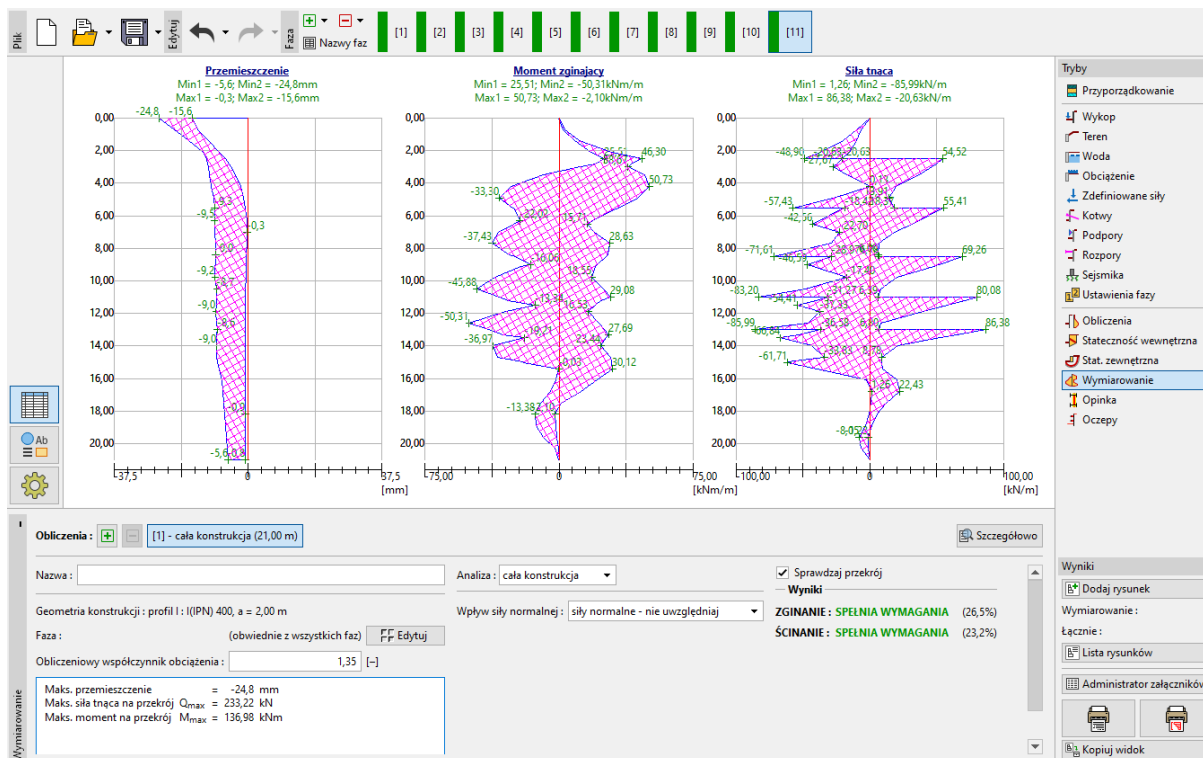
Prowadząc obliczenia nie dokonaliśmy redukcji wartości parć granicznych, co prowadzi do niższych wartości obciążeń niż wynikałoby to z obliczeń prowadzonych zgodnie z normą EN 1997-1. Niemniej jednak obliczone siły wewnętrzne powinny odzwierciedlać rzeczywistą pracę konstrukcji. Redukcja wartości parć granicznych gruntów prowadzi do zwiększenia bezpieczeństwa konstrukcji, lecz zaburza wyniki obliczeń. Z tego względu do wymiarowania przekroju pala zastosowany zostanie współczynnik zwiększający wartość efektu oddziaływania.

*Uwaga: Norma EN 1997-1 określa wartość współczynnika częściowego dla obciążenia stałego jako  $\gamma_G = 1,35$ , a dla obciążenia zmiennego jako  $\gamma_Q = 1,5$ . Biorąc pod uwagę, że w analizowanym przykładzie wszystkie obciążenia zdefiniowano jako oddziaływania stałe do dalszych obliczeń przyjęto współczynnik częściowy obliczeń jak dla obciążenia stałego  $\gamma_G$  o wartości 1,35.*

*W przypadku występowania kombinacji oddziaływań stałych i zmiennych należy oszacować wartość współczynnika częściowego obliczeń, w zakresie od 1,35 do 1,50, w zależności od tego, który typ oddziaływania jest dominujący.*

Zmienimy teraz współczynnik modyfikujący efekt oddziaływań na 1,35.

- Maksymalna siła tnąca do wymiarowania:  $Q_{Ed,max} = 233,22 \text{ kN}$ ,
- Maksymalny moment zginający do wymiarowania:  $M_{Ed,max} = 136,98 \text{ kNm}$ .



## Ramka "Wymiarowanie" – Faza 11 (Ponowne sprawdzenie nośności przekroju IPN 400)

W tym przypadku (obliczenia przeprowadzono z uwzględnieniem wpływu współczynnika zwiększającego efekt oddziaływania o wartości 1,35) wyniki obliczeń są następujące:

- Nośność przekroju na zginanie:  $M_{c,Rd} = 516,61 \text{ kNm} \geq M_{Ed,max} = 136,98 \text{ kNm}$
- Wykorzystanie nośności przekroju: **26,5 %** OK
- Nośność przekroju na ścinanie:  $V_{c,Rd} = 1005,29 \text{ kN} \geq Q_{Ed,max} = 233,22 \text{ kN}$
- Wykorzystanie nośności przekroju: **23,2 %** OK

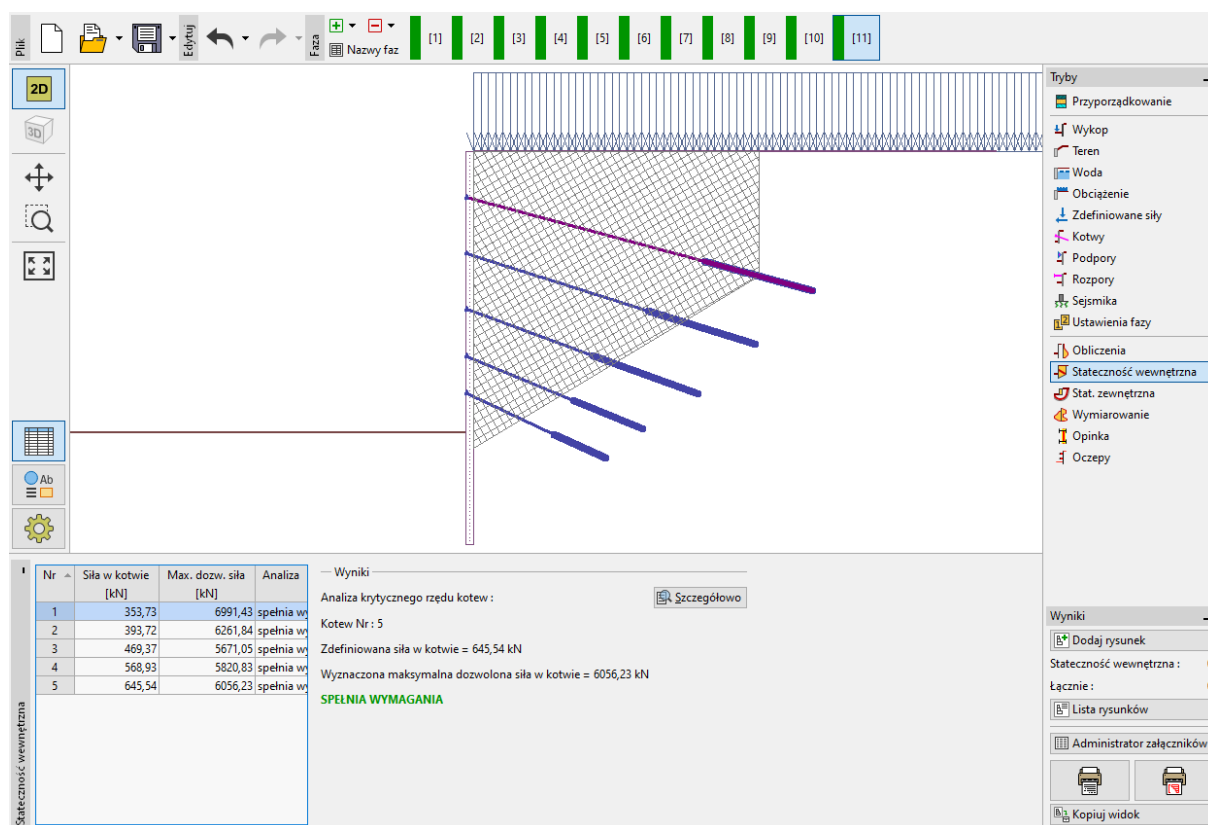
## Sprawdzenie stateczności wewnętrznej układu kotew

Następnie przejdź do ramki "Stateczność wewnętrzna" w ostatniej fazie budowy i sprawdź maksymalne dopuszczalne wartości sił normalnych w poszczególnych kotwach.

*Uwaga: Sprawdzenie stateczności wewnętrznej układu kotew przebiega następująco – obliczana jest iteracyjnie siła w każdej kotwie, dzięki czemu otrzymujemy układ zrównoważonych sił oddziałujących na rozpatrywany blok gruntu. Blok gruntu jest to obszar wydzielony zarysem ściany, terenu, linii łączącej posadowienie ściany ze środkiem buławy kotwy. (Więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1). Jeżeli kotew nie spełnia wymagań projektowych najlepiej zwiększyć długość kotwy lub zmniejszyć wartość siły sprężającej w kotwie.*

Maksymalna obliczona wartość siły normalnej w kotwie uzyskana została dla piątego poziomu kotwienia (645,54 kN), a wykorzystanie nośności kotew wynosi:

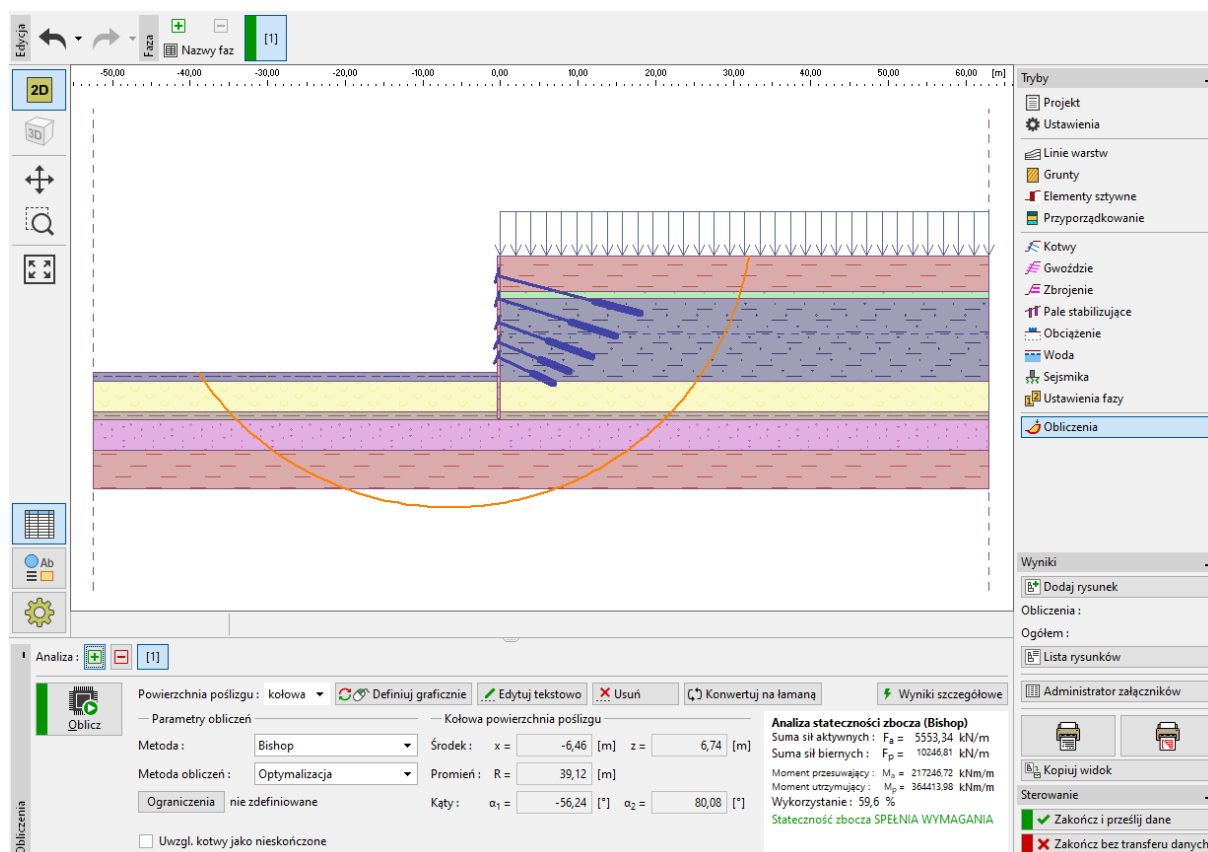
– Stateczność wewnętrzna: **10,66 %**       **$F = 645,54 \text{ kN} < F_{\text{max}} = 6056,23 \text{ kN}$**       **OK**



*Ramka "Stateczność wewnętrzna" – Faza 11*

## Sprawdzenie stateczności zewnętrznej (ogólnej) konstrukcji

Ostatnią czynnością do wykonania jest sprawdzenie stateczności ogólnej konstrukcji. Wybierz przycisk "Stateczność zewnętrzna", co spowoduje otwarcie programu Stateczność zbocza. Przejdź do ramki "Obliczenia" i naciśnij przycisk "Oblicz". Stateczność ogólna konstrukcji jest zachowana.



Program "Stateczność zbocza" – met. Bishopa z optymalizacją krytycznej kołowej powierzchni poślizgu

## Wnioski, podsumowanie wyników

Ściana berlińska została prawidłowo zaprojektowana, a maksymalne przemieszczenie konstrukcji wynosi 24,8 mm co jest zadowalającym wynikiem dla tego typu obudowy. Co więcej, dopuszczalne siły normalne w kotwach nie zostały przekroczone.

- |                           |                |   |           |
|---------------------------|----------------|---|-----------|
| – Wykorzystanie nośności: | <b>26.5 %</b>  | $516,61 \text{ kNm} \geq 136,9 \text{ kNm}$             | <b>OK</b> |
| – Stateczność wewnętrzna: | <b>10,66 %</b> | $F = 645,54 \text{ kN} < F_{\max} = 6056,23 \text{ kN}$ | <b>OK</b> |
| – Stateczność ogólna:     | <b>59,6 %</b>  | Metoda Bishopa (optymalizacja)                          | <b>OK</b> |

Zaprojektowana ściana berlińska spełnia wszystkie wymagania projektowe.