

## Analiza konsolidacji gruntu pod nasypem

Program powiązany: Osiadanie

Plik powiązany: Demo\_manual\_11.gpo

Niniejszy rozdział przedstawia zagadnienie analizy konsolidacji gruntu pod wykonanym nasypem.

### Wprowadzenie

Konsolidacja to osiadanie gruntu pod wpływem (stałego lub zmiennego) obciążenia zewnętrznego zależne także od czasu osiadania gruntu. Obciążenie gruntu prowadzi do zwiększenia wartości naprężeń w gruncie i stopniowego wypierania wody z porów gruntu, to jest - konsolidacji gruntu.

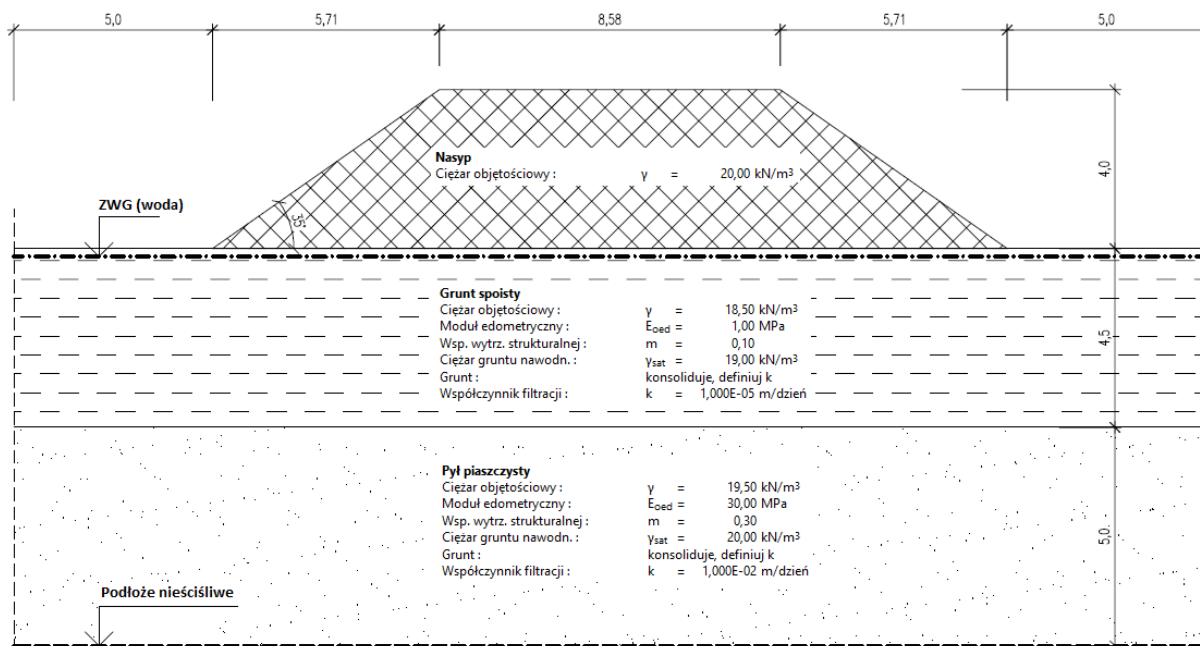
Konsolidacja pierwotna odpowiada sytuacji, w której dochodzi do całkowitej dyssypacji wody z porów gruntu, natomiast konsolidacja wtórna jest zjawiskiem reologicznym zachodzącym w szkielecie gruntowym (pełzanie szkieletu gruntowego). Jest to proces zależny od czasu oraz wielu czynników, takich jak przepuszczalność, ścisłość i długość drogi filtracji. W zależności od stopnia konsolidacji gruntu wyróżnia się następujące osiadania:

- osiadanie całkowite odpowiadające 100% konsolidacji gruntu pod wpływem danego obciążenia,
- osiadanie niecałkowite (częściowe) odpowiadające określonemu stopniowi konsolidacji gruntu pod wpływem danego obciążenia.

W celu wyznaczenia czasu osiadania konieczne jest zdefiniowanie współczynnika filtracji „ $k$ ” lub współczynnika konsolidacji " $C_v$ ", który determinuje prędkość konsolidacji. Parametr ten można określić w badaniu edometrycznym (według Casagrande lub Taylora).

## Zadanie

Określić wartość osiadania poniżej środka nasypu zbudowanego na nieprzepuszczalnej glinie w czasie 1 roku oraz 10 lat po zakończeniu budowy. Obliczenia przeprowadź zgodnie z normą CSN 73 1001 z wykorzystaniem modułu edometrycznego, a jako sposób ograniczenia głębokości aktywnej wybierz metodę z zastosowaniem wytrzymałości strukturalnej.



*Schemat zadania – konsolidacja*

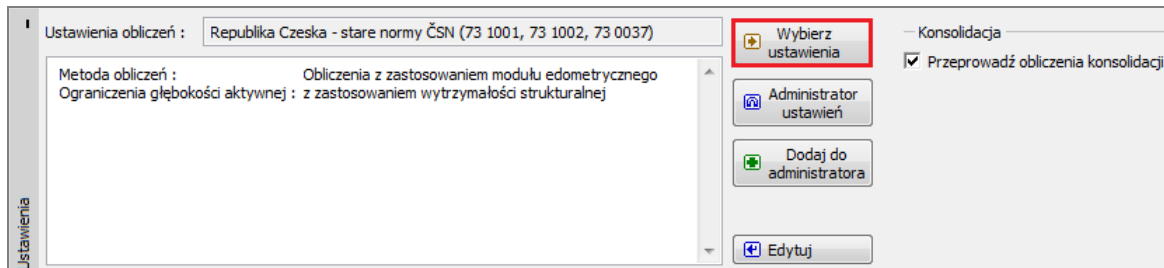
## Rozwiązanie

W celu wykonania zadania skorzystaj z programu GEO5 Osiadanie. Przewodnik przedstawia kolejne kroki obliczania przykładu:

- Faza 1 – definiowanie modelu, obliczanie pierwotnych naprężeń geostatycznych,
- Faza 2 – wprowadzanie obciążenia w postaci nasypu,
- Faza 3 do 5 – obliczanie konsolidacji nasypu dla różnych odstępów czasowych (zgodnie z założeniami zadania),
- Interpretacja wyników (podsumowanie).

## Faza 1

Na początek, przejdź do ramki "Ustawienia" i w dolnym prawym rogu ramki zaznacz opcję "Przeprowadź obliczenia konsolidacji". Następnie wybierz ustawienia obliczeń do obliczania osiadania klikając przycisk "Wybierz ustawienia". Określimy tu metodę obliczania osiadań i ograniczania głębokości aktywnej.

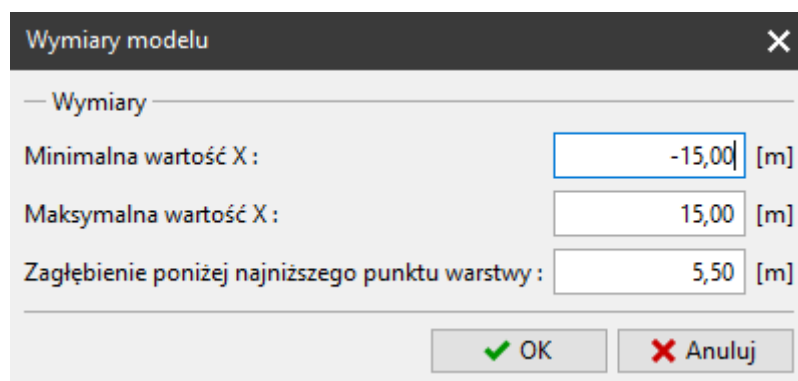


Ramka "Ustawienia"

*Uwaga: Niniejszy przykład przedstawia obliczenia tzw. konsolidacji pierwotnej (dyssypacja wody z porów gruntu). Konsolidacja wtórna (pełzanie gruntu), która zachodzi jedynie w przypadku gruntów nieskonsolidowanych lub organicznych, nie jest obliczana w przedmiotowym przykładzie.*

Następnie w zakładce „Linie warstw” zdefiniuj warstwy i powierzchnię terenu. Konieczne jest zdefiniowanie przynajmniej dwóch warstw, pomiędzy którymi dojdzie do konsolidacji gruntu.

Najpierw zdefiniujemy wymiary modelu uruchamiając okno dialogowe przy pomocy przycisku „Ustawienie zakresu”.



Definiowanie wymiarów modelu

Następnie zdefiniujemy linię powierzchni terenu i linię pomiędzy warstwami podłoża gruntowego na głębokości -4,5m, za pomocą przycisku „Dodaj warstwę” i „Dodaj punkty tekstowo”.

Linie warstw

☰ + Dodaj punkty tekstowo

— Edytowane punkty linii —

Nr ^	x [m]	z [m]
1	-15,00	0,00
2	15,00	0,00

OK Edytuj linia

Anuluj

Dodawanie warstwy 1 (powierzchni terenu)

Linie warstw

☰ + Dodaj punkty tekstowo

— Edytowane punkty linii —

Nr ^	x [m]	z [m]
1	-15,00	-4,50
2	15,00	-4,50

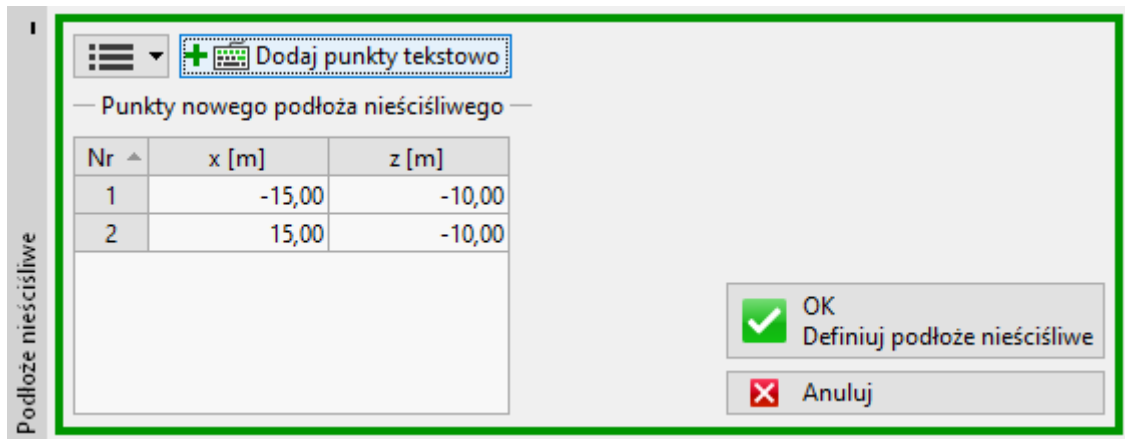
OK Edytuj linia

Anuluj

Dodawanie warstwy 2

*Uwaga: Jeżeli podłoże gruntowe nie jest uwarstwione, wtedy do przeprowadzenia obliczeń konsolidacji gruntu niezbędne jest wprowadzenie fikcyjnej warstwy (przypisując takie same wartości parametrów dla obydwu warstw), najlepiej na głębokości odpowiadającej zasięgowi strefy aktywnej.*

W kolejnym kroku przejdziemy do ramki "Podłoże nieściśliwe", w której zdefiniujemy nowe podłoże nieściśliwe na głębokości 10m za pomocą przycisku „Definiuj podłoże nieściśliwe”, wprowadzając współrzędne analogicznie jak przy modelowaniu warstw podłoża. Podłoże nieściśliwe stanowi granicę, do której mogą wystąpić osiadania w gruncie.



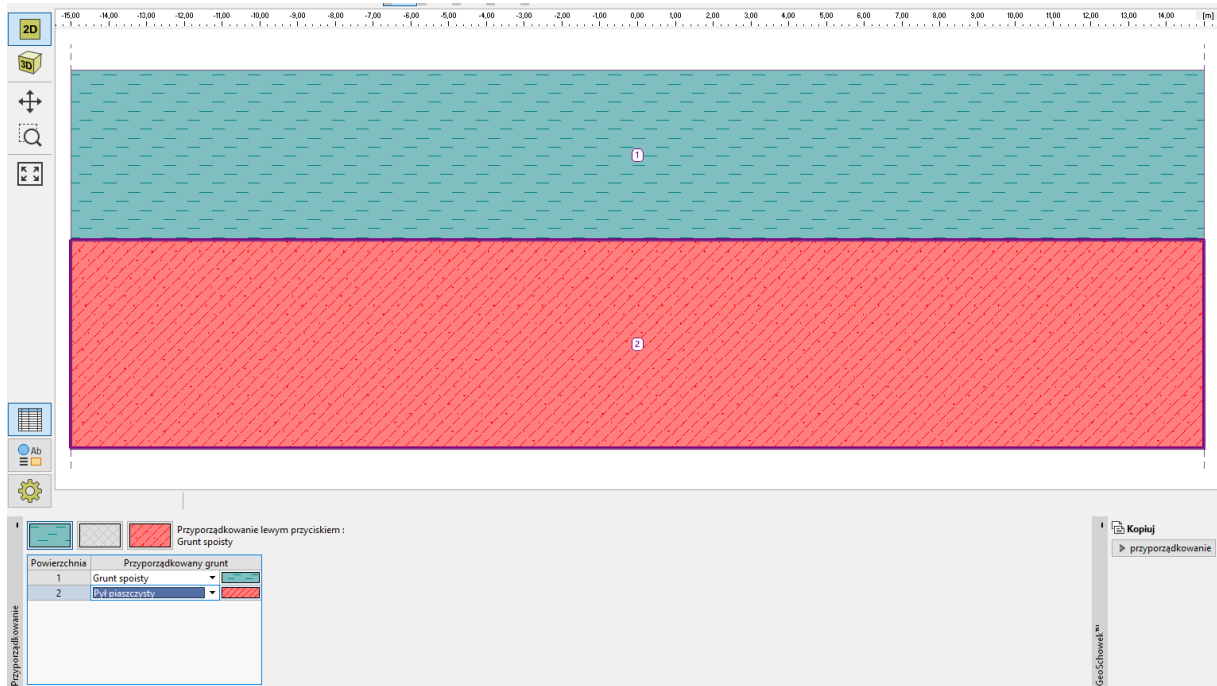
Ramka "Podłoże nieściśliwe"

Następnym krokiem będzie zdefiniowanie parametrów gruntów w ramce „Grunty”. W przypadku gruntów ulegających konsolidacji niezbędne jest dodatkowo zdefiniowanie współczynnika filtracji " $k$ " lub współczynnika konsolidacji " $c_v$ ". Przybliżone wartości współczynników można znaleźć w pomocy do programu – naciśnij przycisk F1.

Tabela z parametrami gruntu

Grunt (Klasyfikacja gruntu)	Ciężar objętościowy $\gamma$ [ $kN/m^3$ ]	Wsp. Poissona $\nu$ [-]	Moduł edometryczny $E_{def}$ [ $MPa$ ]	Wsp. wytrzymałości strukturalnej $m$ [-]	Ciężar objętościowy gruntu nawodnionego $\gamma$ [ $kN/m^3$ ]	Wsp. filtracji $k$ [ $m/day$ ]
Grunt spoisty	18,5	0,35	1,0	0,1	19,0	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Nasyp	20,0	0,3	30,0	0,3	20,0	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Pył piaszczysty	19,5	0,3	30,0	0,3	20,0	$1,0 \cdot 10^{-2}$

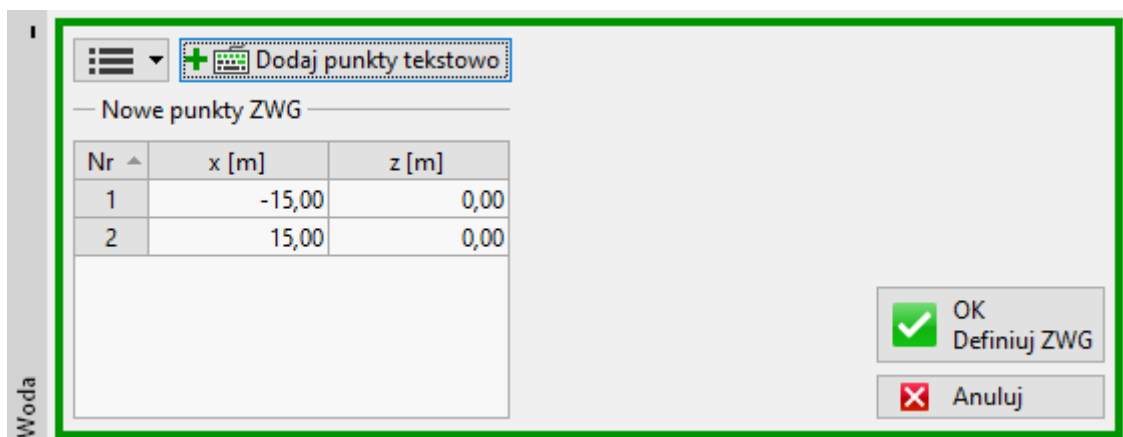
Następnie w ramce „Przyporządkowanie” przyporządkuj grunty do odpowiednich warstw podłoża w sposób następujący:



Ramka „Przyporządkowanie”

Zakładka "Obciążenie" nie ma zastosowania w 1. fazie budowy, ponieważ w tym przykładzie obciążeniem jest ciężar wybudowanego nasypu (w fazach 2 do 5).

Następnym krokiem będzie określenie poziomu zwierciadła wody gruntowej (ZWG) w zakładce „Woda” przy pomocy tekstowego definiowania punktów warstwy – w naszym zadaniu ZWG pokrywa się z poziomem terenu.



Definiowanie ZWG w ramce „Woda”

W ramce "Ustawienia fazy" można zmienić rozmieszczenie i zagęszczenie przekrojów – pozostaw domyślne ustawienia.

**Ustawienia fazy**

Rozmieszczenie i zagęszczenie przekrojów :

— Rozmieszczenie poziome —      — Zagęszczenie pionowe —

Sposób rozmieszczenia :

Dodawanie przekrojów :

Liczba odcinków :

Nr	Od głębokości [m]	Zagęszczenie [m]
1	0,00	0,10
2	2,00	0,30
3	5,00	0,50
4	10,00	2,00
5	30,00	10,00

Ramka „Ustawienia fazy“

Ramka "Obliczenia", w pierwszej fazie budowy przedstawia naprężenia pierwotne na początku budowy, przed wzniesieniem nasypu. Jednakże, w tej fazie, należy zdefiniować podstawowe warunki brzegowe do obliczeń konsolidacji w kolejnych fazach obliczeniowych. Zdefiniuj górną i dolną granicę gruntu podlegającego konsolidacji oraz kierunek wypływu wody z warstwy, czyli drogę filtracji.

2D    Wartości : całkowite    Parametr : Sigma Z, ef.    Powierzchniowe : (nie rysuj)

— Konsolidacja

Górna granica gruntu podlegającego konsolidacji :

Dolna granica gruntu podlegającego konsolidacji :

Wypływ wody :

Obliczenie naprężeń geostaticznych przebiegło prawidłowo

Ramka "Obliczenia" – Faza 1, ustawienia obliczeń konsolidacji

## Fazy od 2 do 5

Następnie dodaj nową fazę budowy w obrębie zadania korzystając z paska narzędzi znajdującego się w lewym górnym rogu ekranu. Kliknij zielony przycisk „plus”, aby dodać fazę budowy.

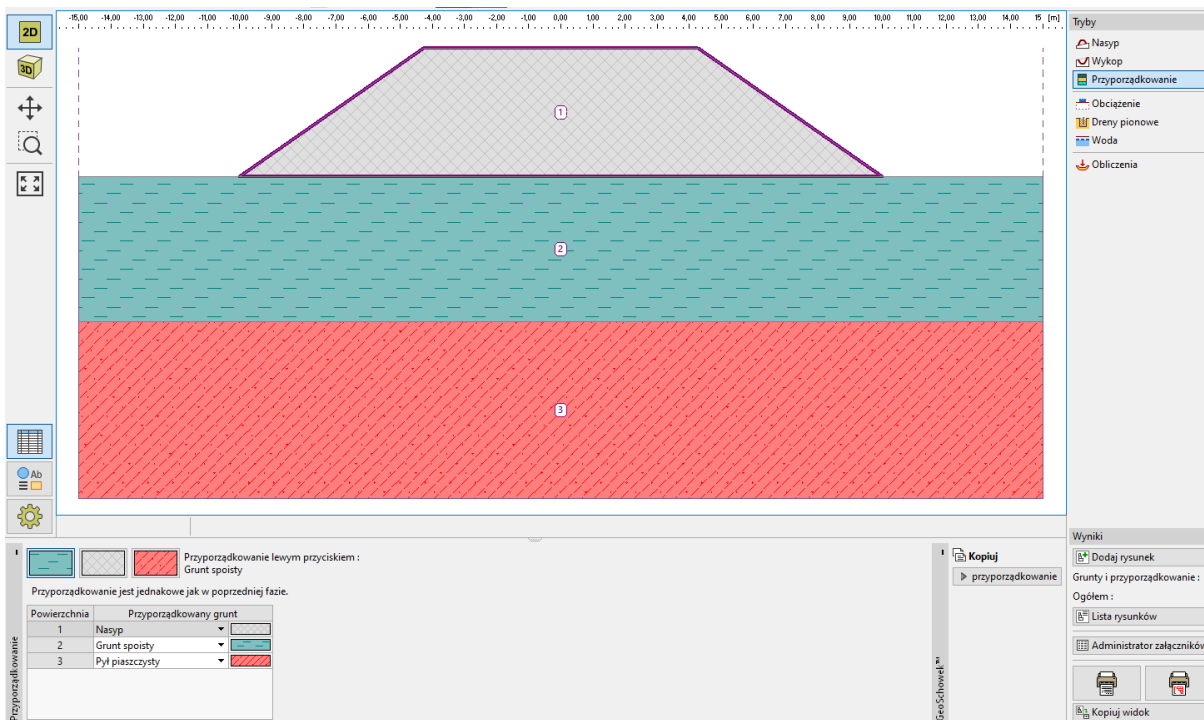


*Pasek narzędzi "Faza budowy"*

W drugiej fazie budowy zdefiniujemy geometrię nasypu, wprowadzając współrzędne następujących punktów:

- Punkt nr 1:  $x = -10,0$  m  $z = 0,0$  m
- Punkt nr 2:  $x = -4,29$  m  $z = 4,0$  m
- Punkt nr 3:  $x = 4,29$  m  $z = 4,0$  m
- Punkt nr 4:  $x = 10,0$  m  $z = 0,0$  m

Następnie przejdź do ramki „Przyporządkowanie” i przyporządkuj odpowiedni grunt („Nasyp”) warstwie nasypu.

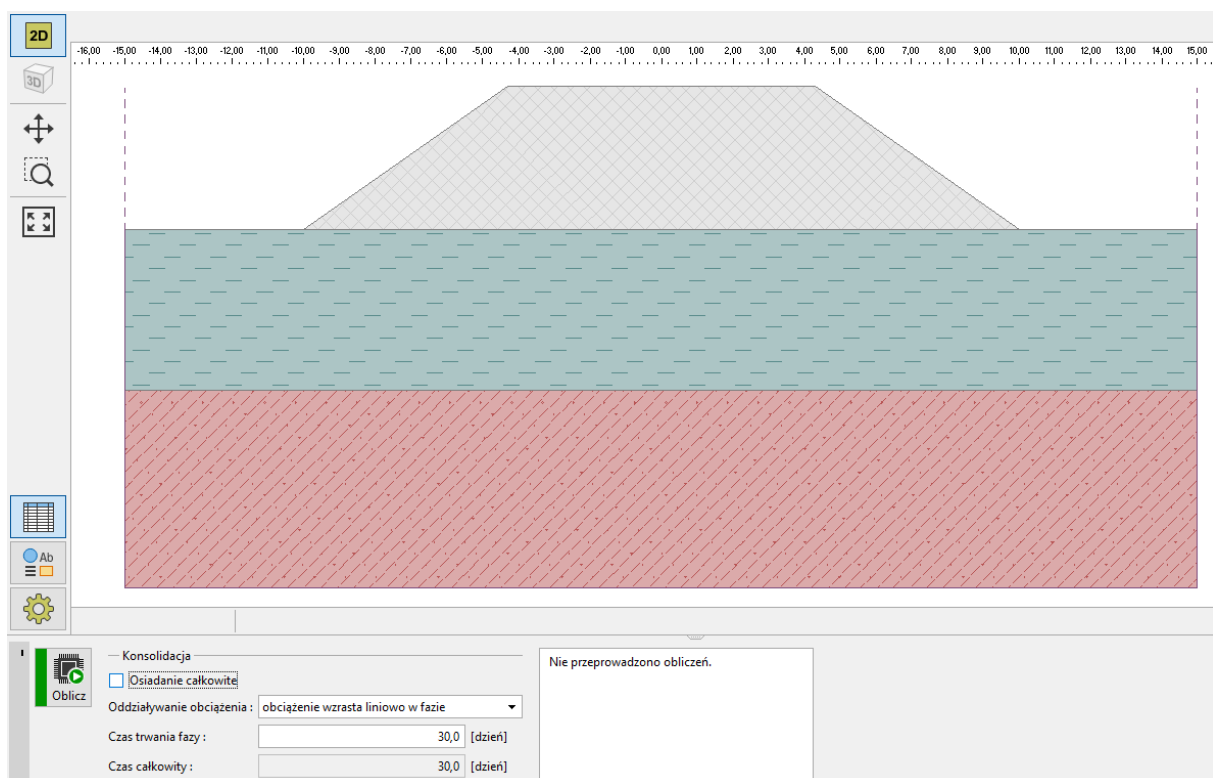


*Faza 2 – Nasyp + Przyporządkowanie gruntu do nasypu*



*Uwaga: Nasyp działa jak obciążenie przyłożone do pierwotnej powierzchni terenu. Zakłada się, że prawidłowo wykonany (optymalnie zagęszczony) nasyp – teoretycznie – nie osiada. W praktyce, może wystąpić osiadanie nasypu ze względu na słabe zagęszczenie lub pęczanie szkieletu gruntowego, ale program Osiadanie nie pozwala na analizę tego zjawiska.*

Następnie przejdź do ramki "Obliczenia" i ustaw czas trwania **fazy 2** na 30 dni, co odpowiada czasowi wznoszenia nasypu. Rzeczywiste obliczenia osiadań gruntu nie mogą zostać jeszcze przeprowadzone, gdyż podczas analizowania konsolidacji konieczne jest zamodelowanie całej historii obciążenia, to jest wszystkich obliczanych faz. Biorąc pod uwagę, że nasyp budowany jest stopniowo, uwzględnimy **liniowy przyrost obciążenia** w 2. fazie budowy.



*Ramka "Obliczenia" – Faza budowy 2*

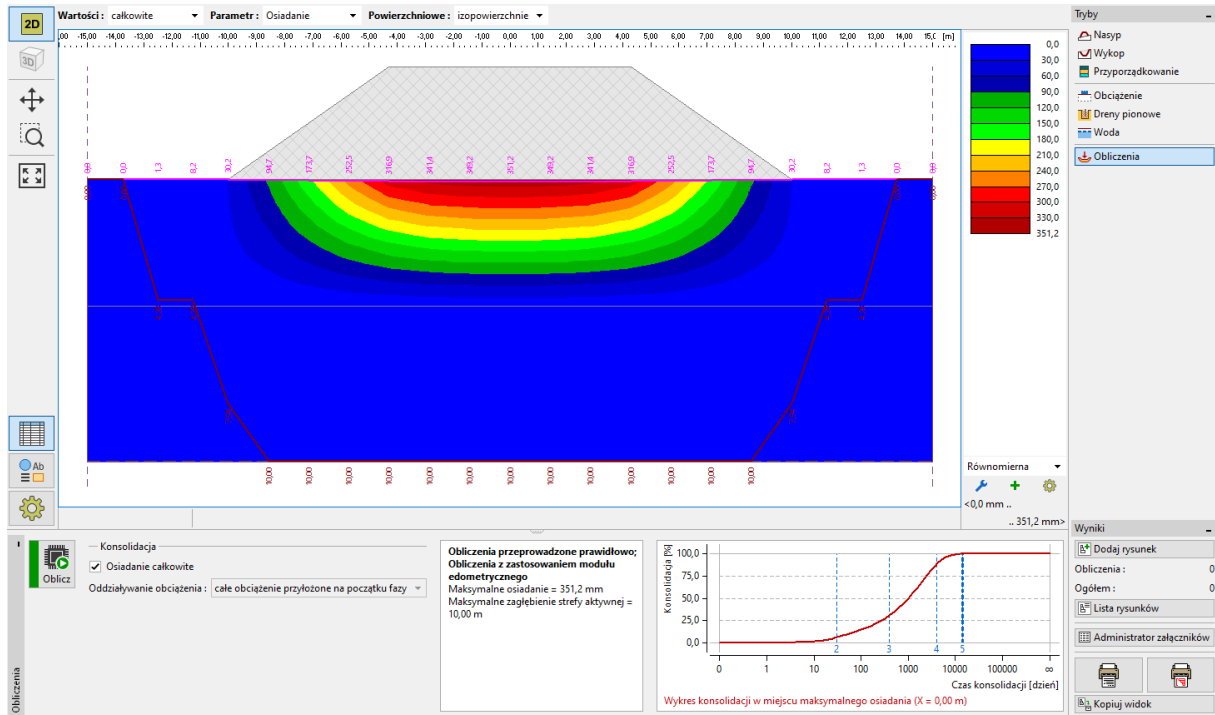
W podobny sposób dodaj 3 kolejne fazy budowy.

W kolejnych fazach zdefiniuj czas trwania fazy:

- w **3. fazie** - 1 rok, tj. 365 dni
- w **4. fazie** - 10 lat, tj. 3650 dni
- w **5. fazie** - osiadanie całkowite dla

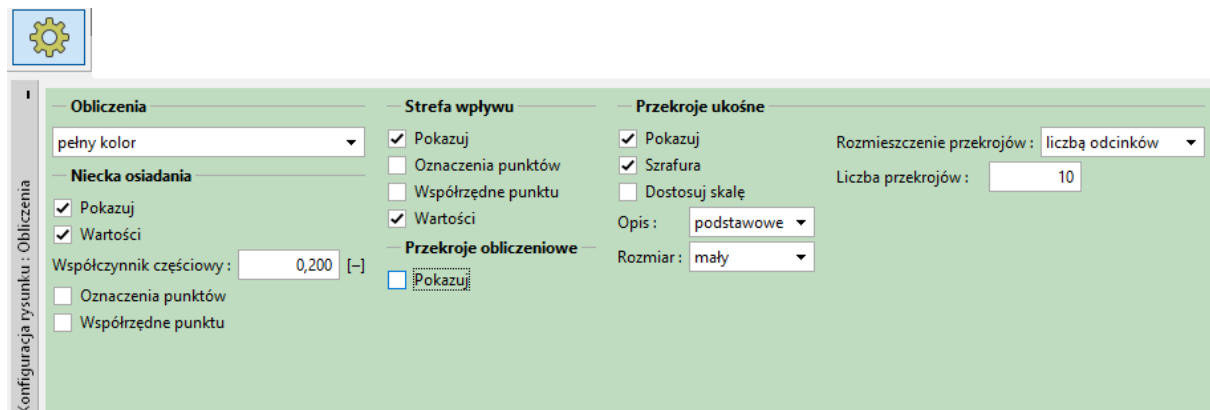
Oddziaływanie obciążenia nie jest istotne w tym przypadku (nie dodaje się nowego obciążenia w kolejnych fazach budowy), dlatego oddziaływanie obciążenia możemy zdefiniować jako „całe obciążenie przyłożone na początku fazy”.

Obliczenia przeprowadz po wprowadzeniu ostatniej fazy budowy, w której opcja "Osiadanie całkowite" jest włączona (możesz wybrać tę opcję w dowolnej fazie budowy z wyjątkiem pierwszej).



Ramka "Obliczenia" – Faza budowy 5

W górnym pasku narzędzi można wybierać zmienne prezentowane na ekranie. Można także dostosowywać konfigurację rysunku (np. wyświetlanie niecki osiadania, głębokości aktywne, przekrojów ukośnych) klikając na ikonę z kołem zębatym po lewej stronie ekranu.



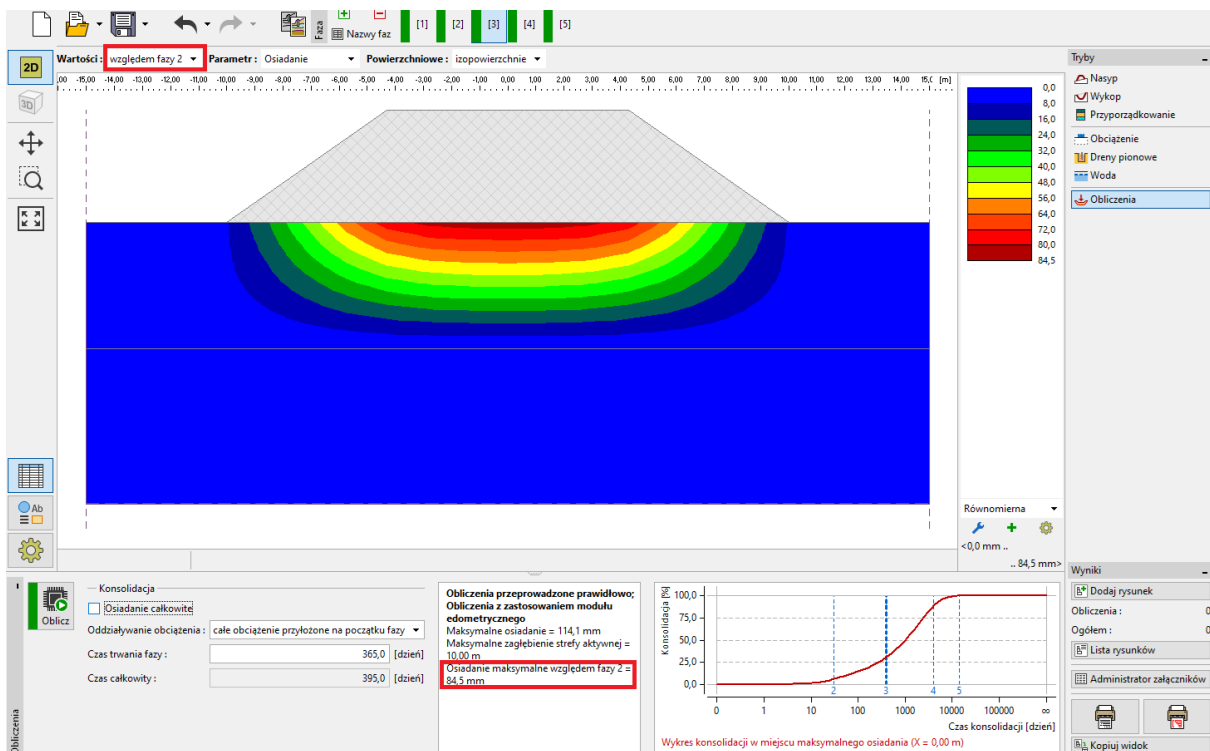
Konfiguracja rysunku

## Wyniki obliczeń

Przeprowadzone obliczenia całkowitego osiadania pozwalają na etapową analizę konsolidacji gruntu poniżej środka nasypu. Uzyskaliśmy następujące maksymalne wartości osiadań w kolejnych fazach budowy:

- Faza 1: tylko naprężenie geostatyczne – osiadania nie są wyznaczane
- Faza 2 (obciążenie nasypem): dla 30 dni → 29.2 mm
- Faza 3 (bez zmian): dla 365 dni → 113.7 mm
- Faza 4 (bez zmian): dla 3650 dni → 311.7 mm
- Faza 5: całkowite osiadanie → 351.2 mm

Interesują nas wartości osiadań nasypu po zakończeniu jego wznoszenia, więc przechodzimy do prezentacji wyników w trzeciej oraz czwartej fazie budowy – klikamy przycisk "Wartości" i wybieramy opcję "względem fazy 2", która powoduje obliczenie poszukiwanej różnicy osiadań.



*Ramka "Obliczenia" – Osiedlenie (porównanie w stosunku do fazy 2)*

## Podsumowanie:

Osiadanie nasypu (poniżej środka nasypu) po jednym roku od wybudowania wyniesie 84.5 mm, (= 113.7 – 29.2) natomiast po dziesięciu latach od zakończenia budowy wyniesie 282.5 mm (= 311.7 – 29.2)