

Osiadanie kołowego fundamentu zbiornika

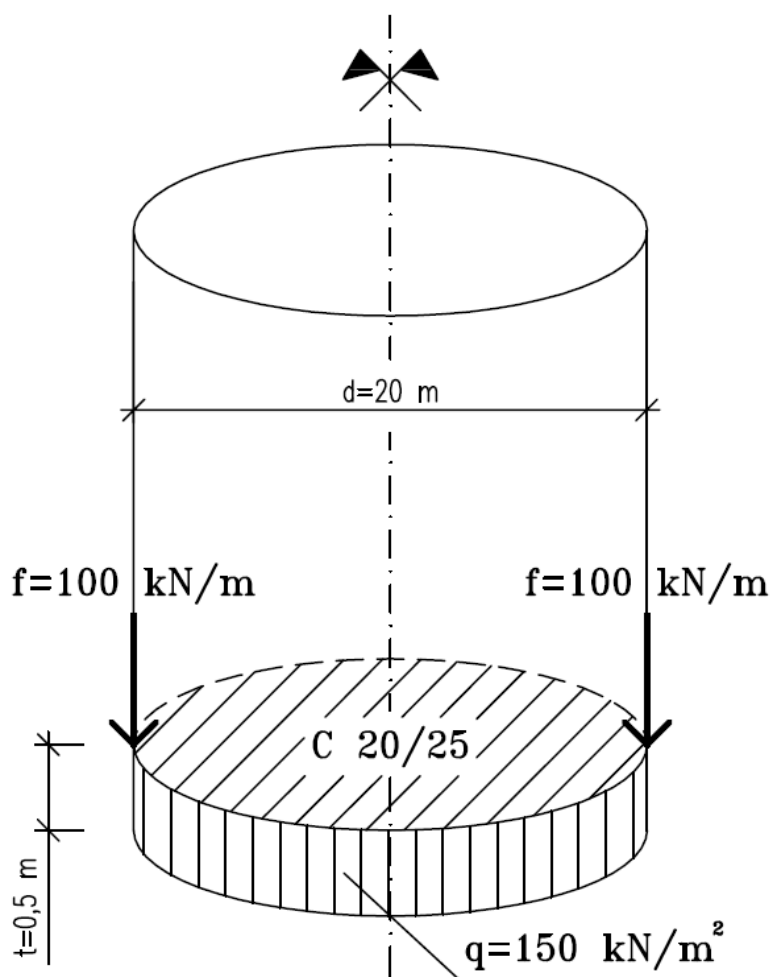
Program: MES

Plik powiązany: Demo_manual_22.gmk

Celem przedmiotowego przewodnika jest przedstawienie analizy osiadania kołowego fundamentu zbiornika z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych jako zadania w symetrii osiowej.

Sformułowanie zadania

Obliczyć osiadanie kołowego fundamentu zbiornika (grubość 0.5 m oraz średnica 20.0 m) wywołanego całkowitym wypełnieniem zbiornika tj. obciążeniem powierzchniowym $q = 150 \text{ kPa}$. Obliczyć następnie całkowite osiadanie zbiornika po jego opróżnieniu. Profil geologiczny terenu, włączając w to parametry gruntu, jest identyczny jak przedstawiony w poprzednim zadaniu (*Przewodnik Inżyniera nr 21 Analiza osiadania terenu*). Jako rodzaj zadania w tym przypadku należy wybrać opcję **symetria osiowa**. Kołowy fundament zbiornika wykonany jest z betonu zbrojonego klasy C20/25.



Schemat ogólny zadania – kołowy fundament zbiornika

Wartość całkowitego przemieszczenia pionowego d_z [mm] tj. osiadania zostanie obliczona w tym konkretnym przypadku z wykorzystaniem modelu gruntu Mohra-Coulomba. Porównanie zastosowania różnych modeli materiałowych gruntu przy różnych gęstościach siatek przeprowadzono w poprzednim rozdziale (*Przewodnik Inżyniera nr 21 Analiza osiadania terenu*).

Rozwiązanie

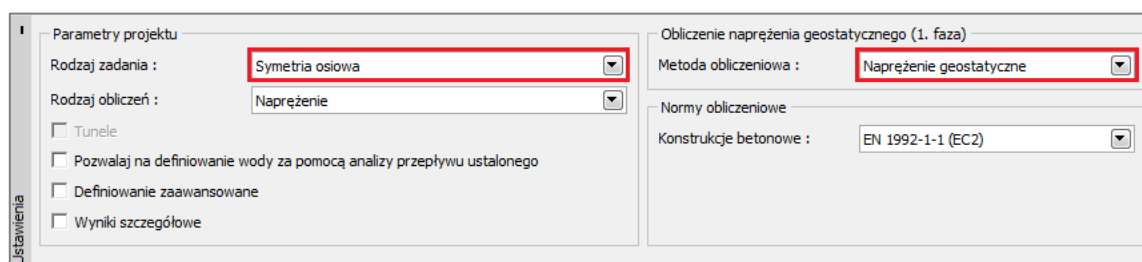
Aby wykonać zadanie skorzystaj z programu MES z pakietu GEO5. Przewodnik przedstawia kolejne kroki rozwiązania tego przykładu:

- Topologia: ustawienia oraz modelowanie zagadnienia (punkty swobodne).
- Faza nr 1: obliczanie naprężeń pierwotnych.
- Faza nr 2: modelowanie i obciążanie elementów belkowych, obliczenie osiadania fundamentu.
- Faza nr 3: zdejmowanie obciążenia, obliczenie osiadania terenu, wyznaczenie sił wewnętrznych w fundamencie.
- Analiza wyników: porównanie, wnioski.

Uwaga: W celu rozwiązania tego zadania zamodelujemy żelbetowy fundament zbiornika jako element belkowy bez elementów kontaktowych a zatem przy założeniu idealnej współpracy fundamentu z gruntem. Zagadnienie elementów kontaktowych zostanie omówione w Przewodniku Inżyniera nr 24 Analiza numeryczna ścianki szczelnej.

Topologia: ustawienia zadania

Pierwszym krokiem będzie przejście do ustawień zadania i wybranie ustawienia “Symetria osiowa” w polu rodzaj zadania. Pozostałe ustawienia pozostawimy jako domyślne.

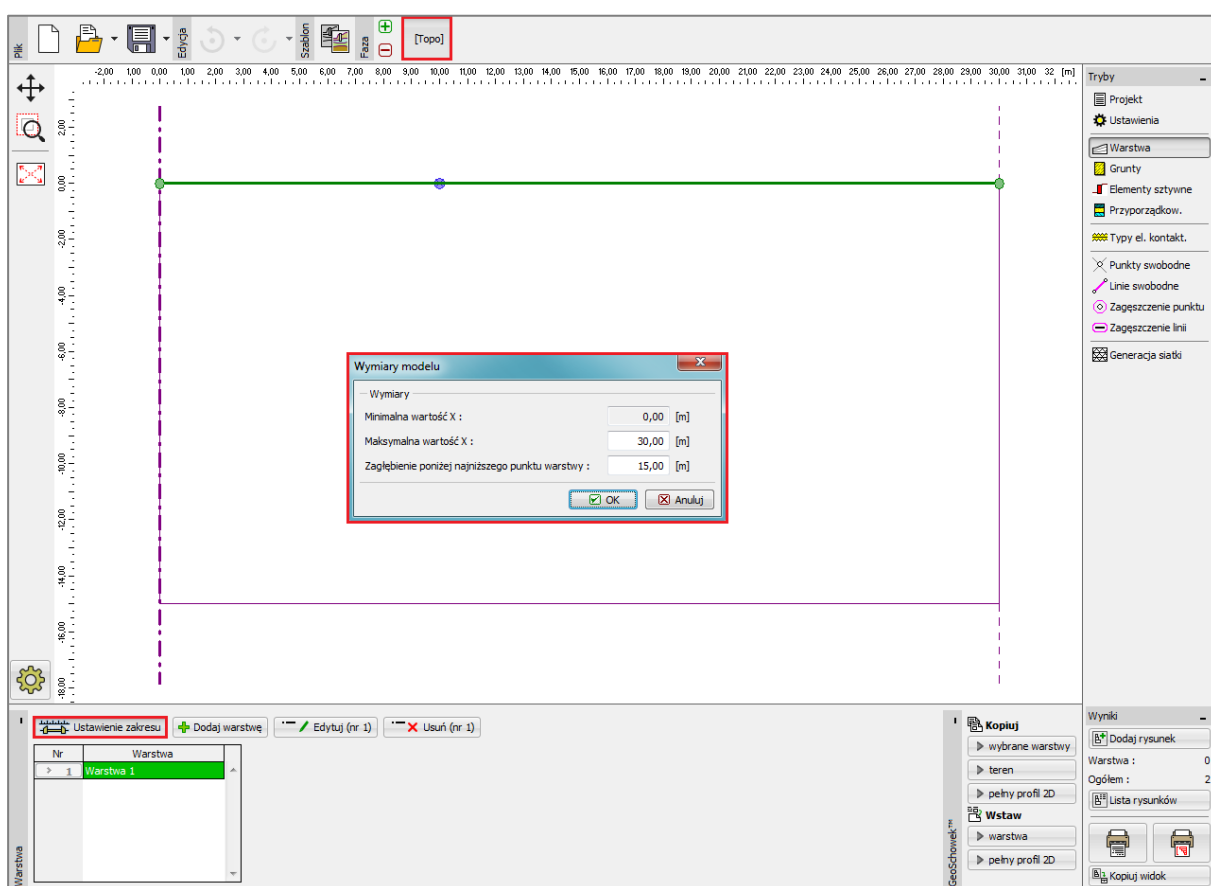


Ramka “Ustawienia”

*Uwaga: **Symetria osiowa** może być stosowana w przypadku zagadnień kołowo-symetrycznych. Przyjęte założenie musi być spełnione zarówno przez geometrię, jak i obciążenie konstrukcji. Przedmiotowe zadanie – kołowy fundament zbiornika – jest zatem właściwym przykładem takiego problemu.*

Obliczenia prowadzone są wtedy w odniesieniu do wycinka łuku odpowiadającego rozwarości kąta 1rad łuku o promieniu $x(r)$. Środek symetrii odpowiada zawsze położeniu początku układu współrzędnych $x(r)$. Składowe tensora odkształcenia związane z obrotem ze względu na zadanie obrotowo symetryczne można zaniedbać – pomijamy odkształcenie kątowe. Uwzględniane jest zatem w obliczeniach występowanie składowych naprężeń i odkształceń normalnych obwodowych oraz składowych naprężeń i odkształceń występujących w płaszczyźnie przekroju (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).

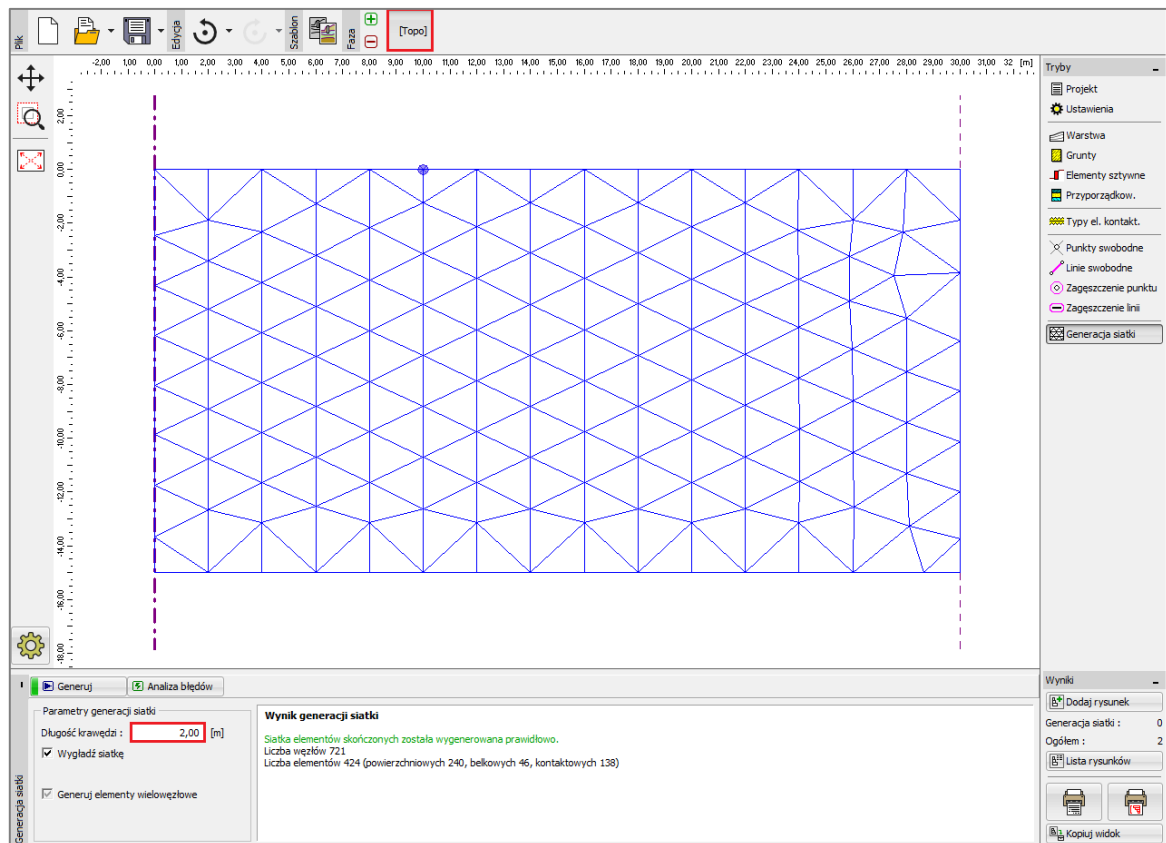
Przejdziemy teraz do ramki “Warstwa”, gdzie wprowadzimy wymiary modelu. Podamy następnie współrzędne pierwszego punktu warstwy o współrzędnych $[0,0]$. Kolejny punkt warstwy (na końcu) zostanie dodany przez program automatycznie.



Ramka “Warstwa” + okno dialogowe “Wymiary modelu”

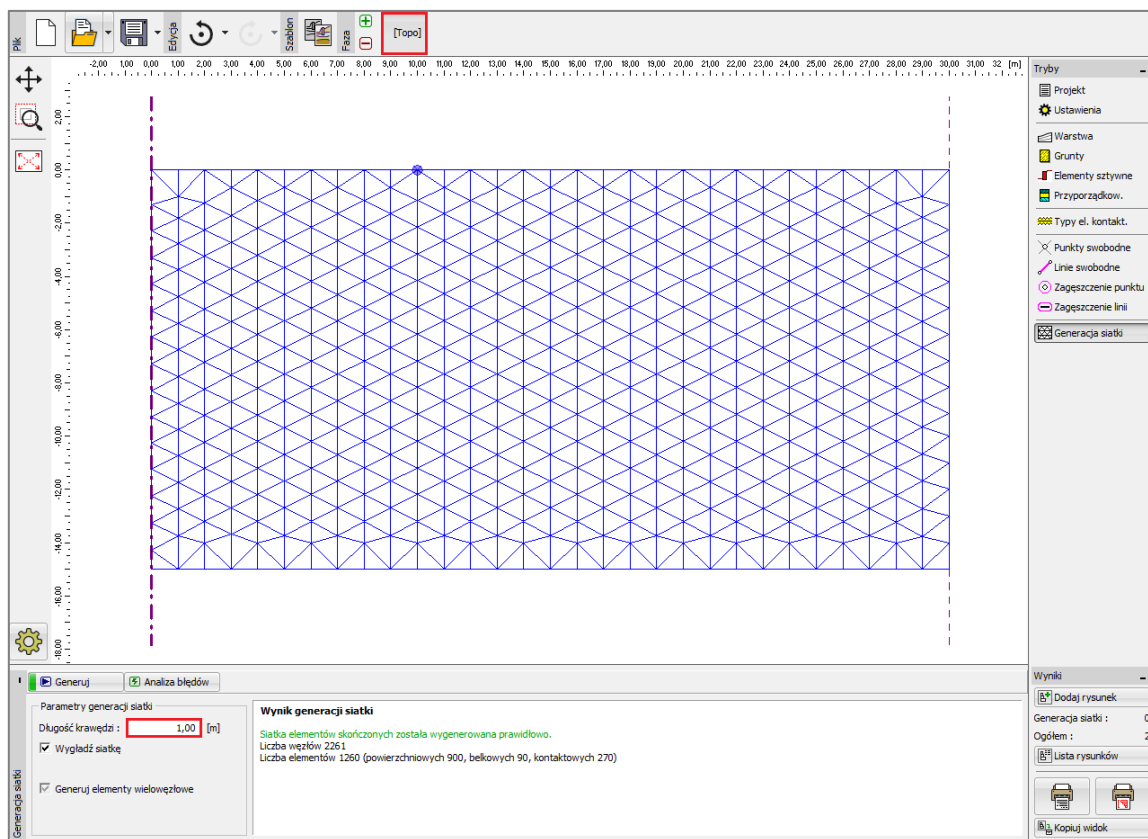
Wprowadzimy następnie parametry gruntu i przyporządkujemy go do utworzonej wcześniej warstwy nr 1. W przedmiotowym przypadku nie będziemy definiować żadnych elementów sztywnych ani kontaktowych.

Do wygenerowania siatki elementów skończonych przyjmijmy długość krawędzi elementu 2.0 m.



Ramka “Generacja siatki” – siatka trójkątna z elementami o krawędzi długości 2.0 m

Oglądając wygenerowaną siatkę można dojść do wniosku, że dla analizowanego problemu jest ona zbyt rzadka. Z tego powodu zmienimy długość krawędzi elementów skończonych przyjmując do dalszych obliczeń 1.0 m.

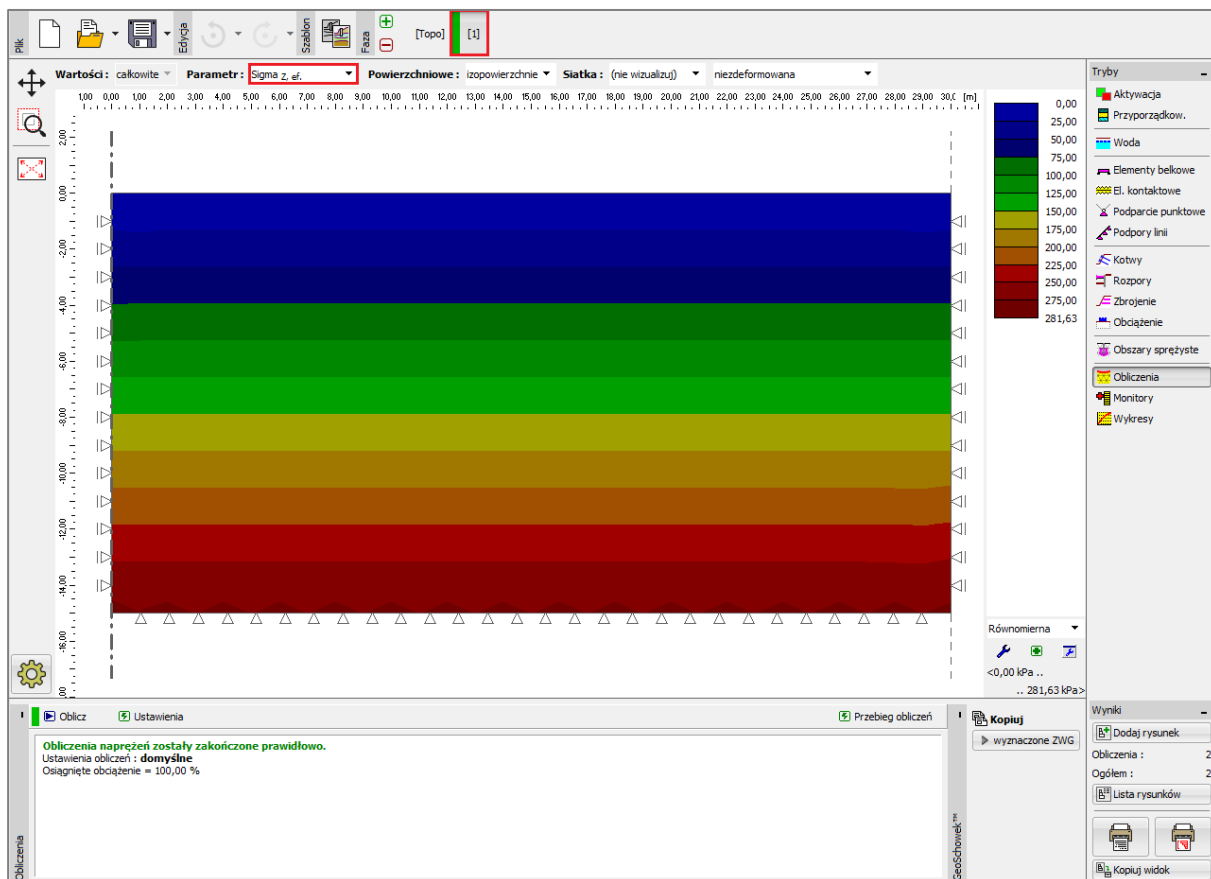


Ramka "Generacja siatki" – siatka trójkątna z elementami o krawędzi długości 1.0 m

Uwaga: Rozsądnym rozwiązaniem byłoby dogęszczenie siatki elementów skończonych bezpośrednio pod kołowym fundamentem zbiornika wykorzystując opcję zagęszczenie linii (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1). Możliwość zagęszczenia siatki wzdłuż linii zostanie dokładnie przedstawiona w Przewodniku Inżyniera nr 23 Analiza obudowy sztolni.

Faza nr 1: obliczanie naprężeń geostatycznych

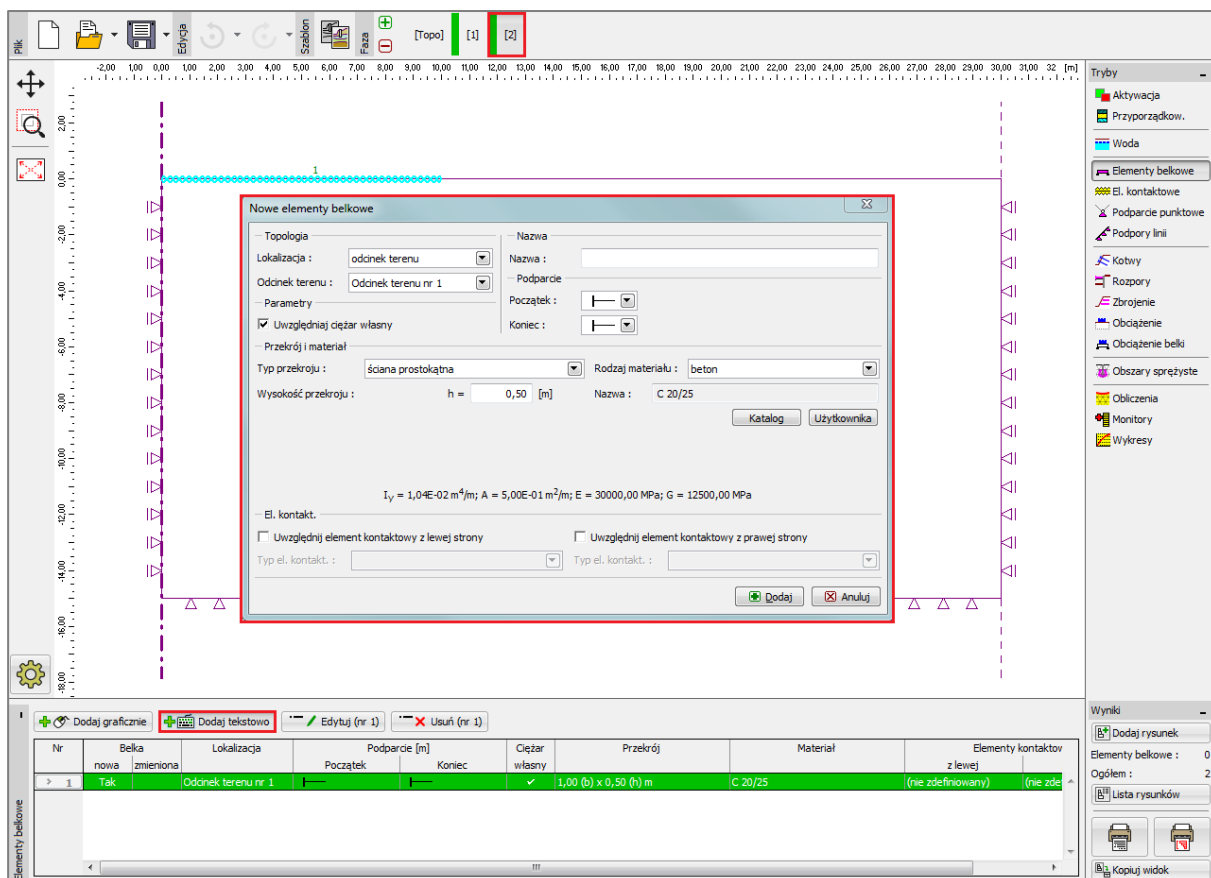
Po wygenerowaniu siatki ES przejdziemy do fazy nr 1 i przeprowadzimy obliczenia naprężeń geostatycznych w gruncie. Pozostawimy “Ustawienia domyślne” obliczeń (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).



Ramka “Obliczenia” – faza nr 1

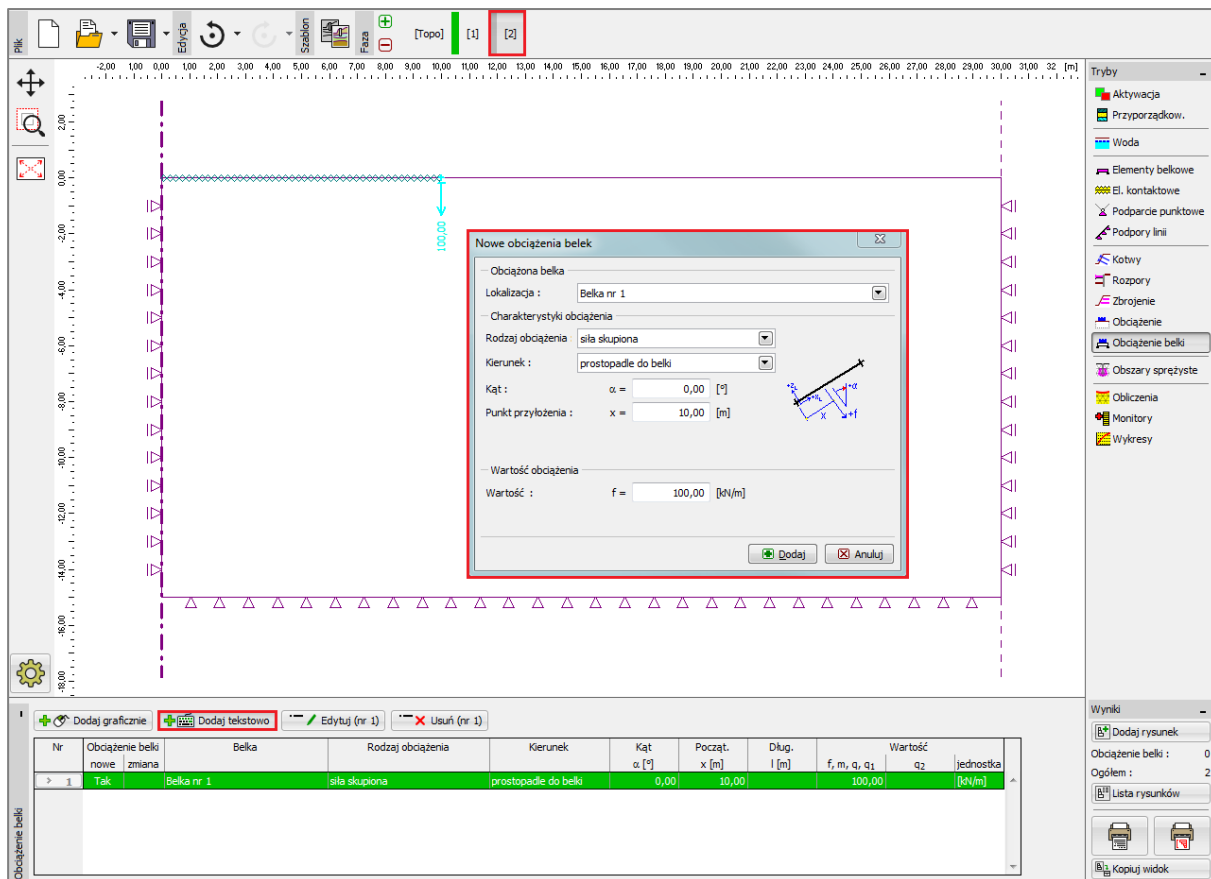
Faza nr 2: modelowanie i obciążanie elementów belkowych

Kolejnym krokiem będzie dodanie fazy budowy nr 2. Przejdziemy następnie do ramki “Elementy belkowe”, gdzie zdefiniujemy następujące parametry wprowadzanej belki: lokalizacja, rodzaj materiału i klasę betonu, wysokość przekroju (0.5m) oraz sposób podparcia na końcach (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).



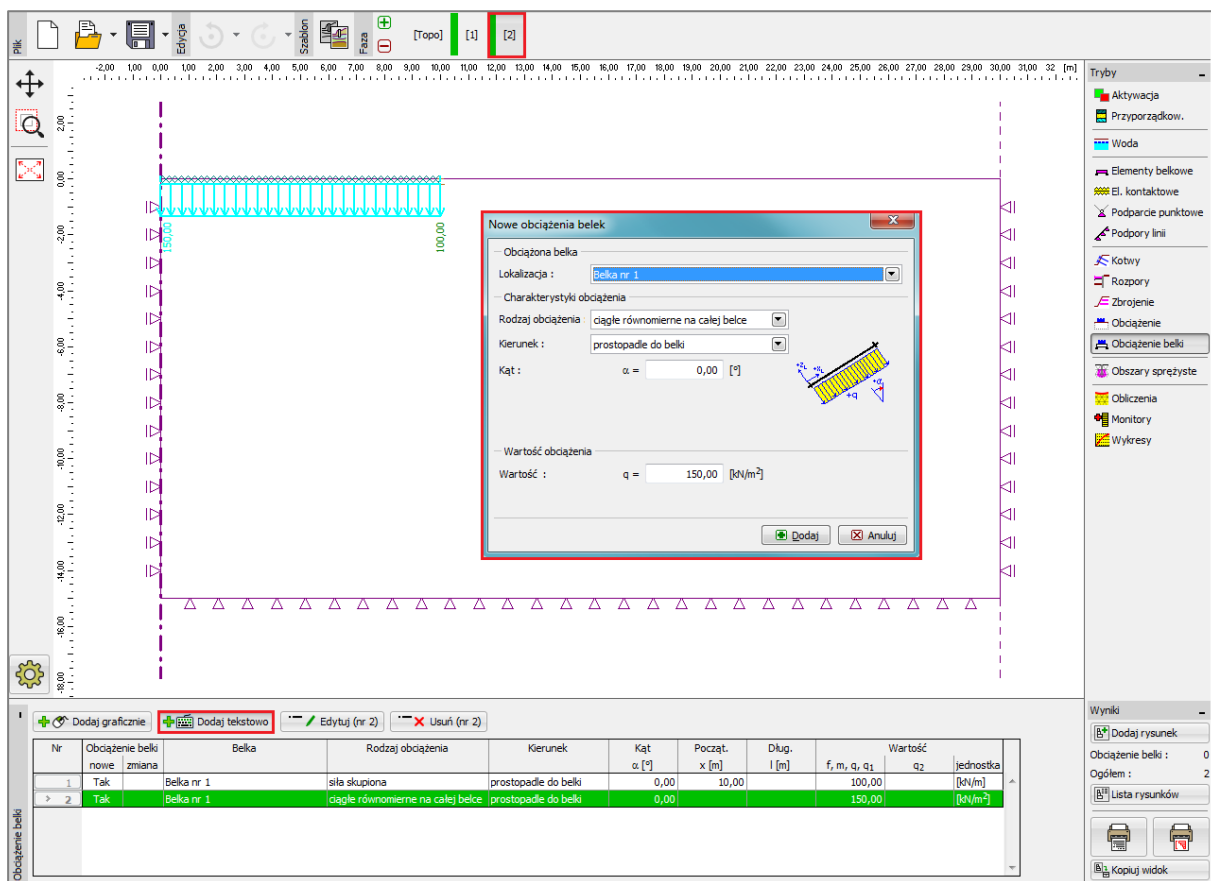
Okno dialogowe “Nowe elementy belkowe” – faza nr 2

Następnie przejdziemy do ramki “Obciążenia belki”, gdzie zdefiniujemy obciążenie o wartości $f = 100 \text{ kN/m}$, które ma odzwierciedlać ciężar ścian zbiornika oddziałujących na fundament.



Okno dialogowe “Nowe obciążenia belek” – obciążenie od ścian działające na fundament kołowy

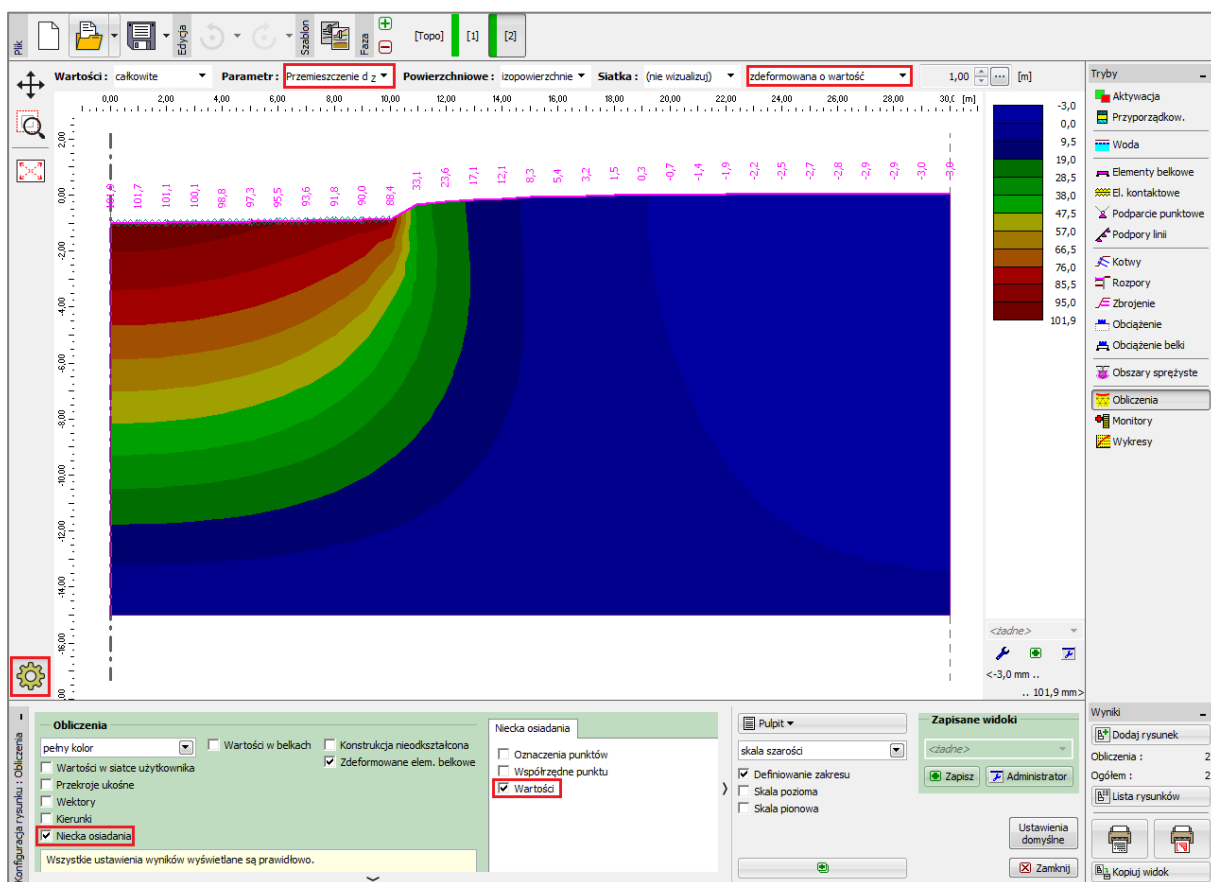
Kolejnym krokiem będzie wprowadzenie obciążenia ciągłego o wartości $q = 150 \text{ kN/m}^2$, które ma odzwierciedlać ciężar własny zawartości zbiornika działający na jego dno, a zarazem górną płaszczyznę fundamentu.



Okno dialogowe "Nowe obciążenia belek" – obciążenie od zawartości zbiornika działające na fundament kołowy

Na tym etapie przeprowadzimy ponowne obliczenia i przeanalizujemy uzyskane wyniki zaczynając od pionowego przemieszczenia d_z [mm]. Maksymalna uzyskana wartość przemieszczenia pionowego wynosi 102.0 mm, co odczytano z rysunku. Aby lepiej zrozumieć zachowanie masywu gruntowego przedstawimy wyniki na tle zdeformowanej siatki elementów skończonych (lista rozwijana w prawym górnym rogu ekranu).

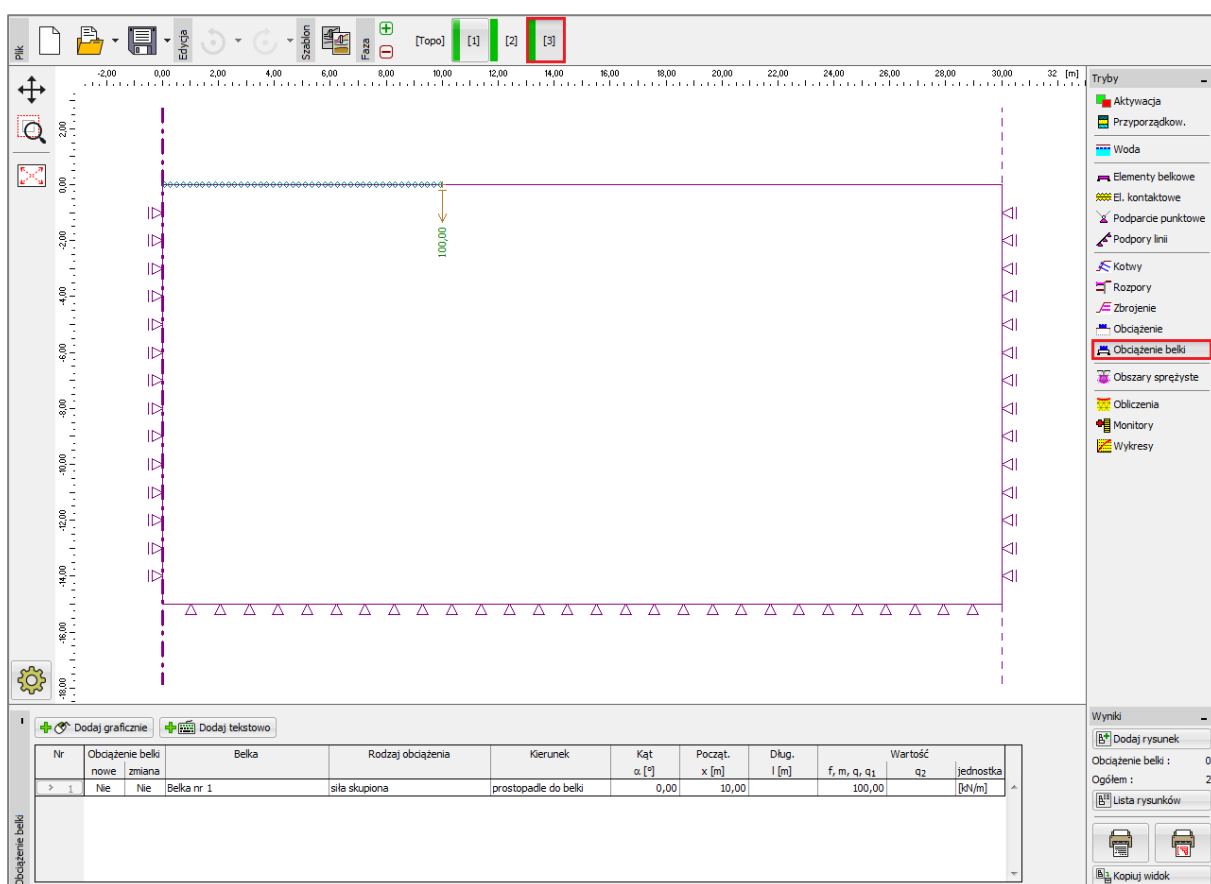
Następnie wybierzemy przycisk “Ustawienia” i zaznaczymy opcję “Wartości” w zakładce “Niecka osiadania” (więcej informacji w pomocy programu – naciśnij przycisk F1).



Ramka “Obliczenia” – faza nr 2 (przemieszczenie pionowe d_z oraz niecka osiadania)

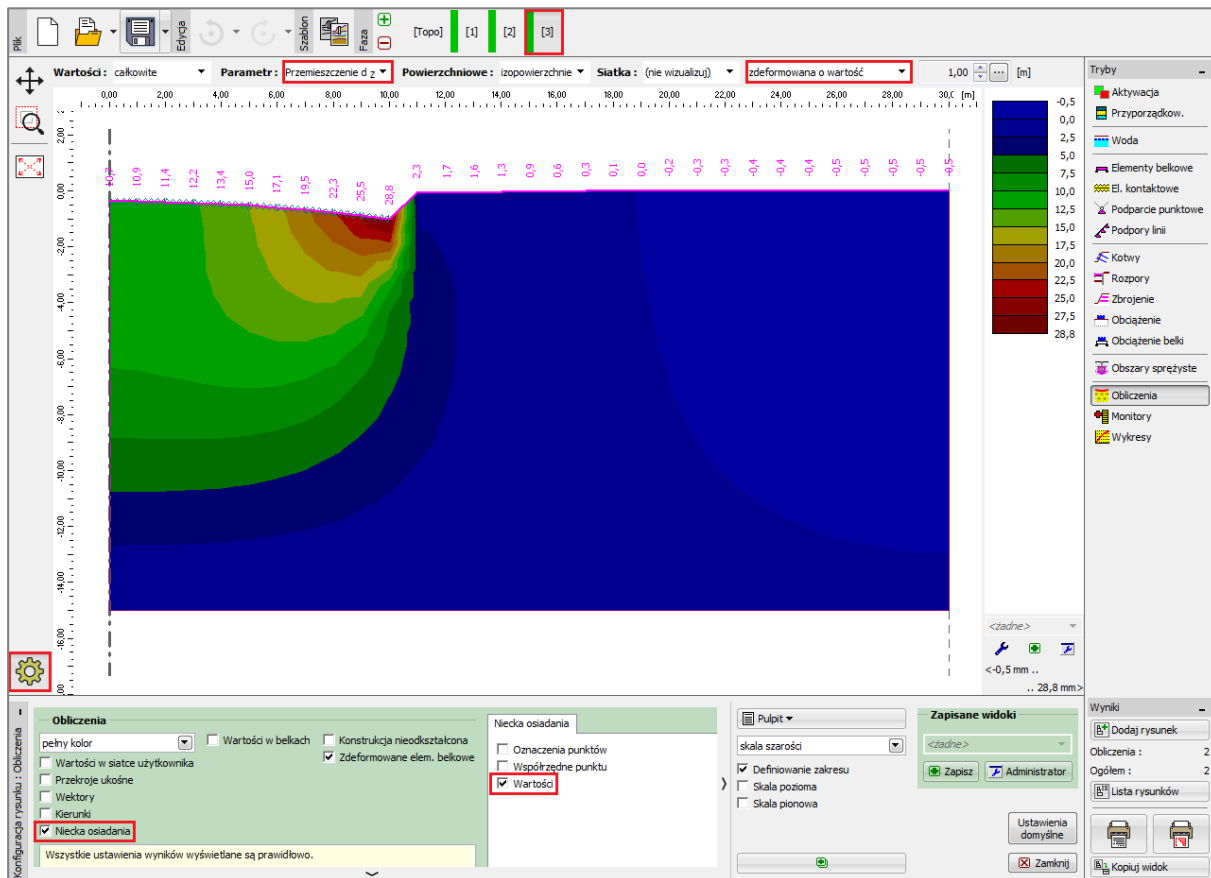
Faza nr 3: odciążenie zbiornika, siły wewnętrzne w fundamencie

Kolejnym krokiem będzie dodanie fazy budowy nr 3. Na tym etapie usuniemy obciążenie ciągłe działające na fundament. Do dalszych obliczeń uwzględnimy jedynie obciążenie pochodzące od ciężaru własnego ścian zbiornika, które wynosi $f = 100 \text{ kN/m}$ – identycznie jak w poprzedniej fazie obliczeń.



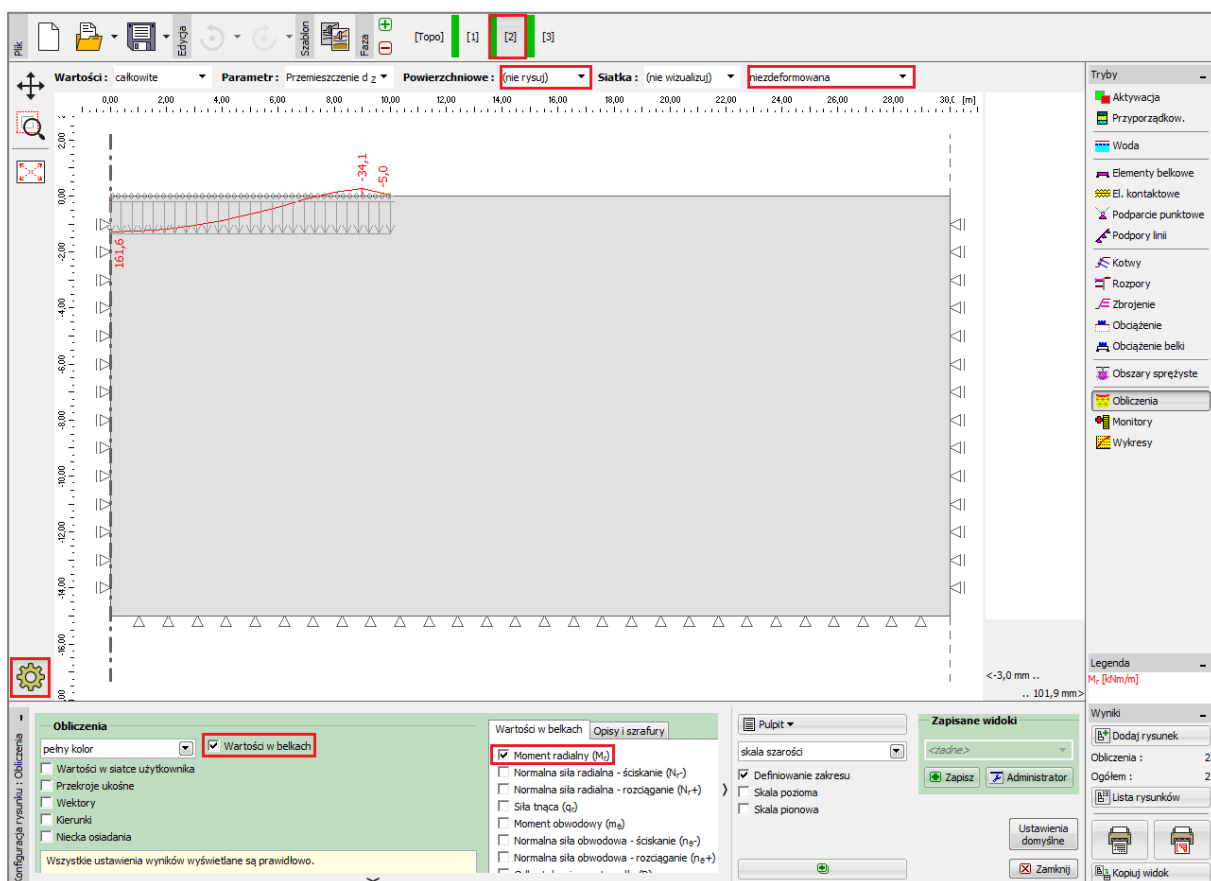
Ramka "Obciążenie belki" – faza nr 3

Przeprowadzimy następnie ponowne obliczenia i wyznaczmy wartości przemieszczenia. Całkowite osiadanie d_z po opróżnieniu zbiornika wynosi 28.8 mm.

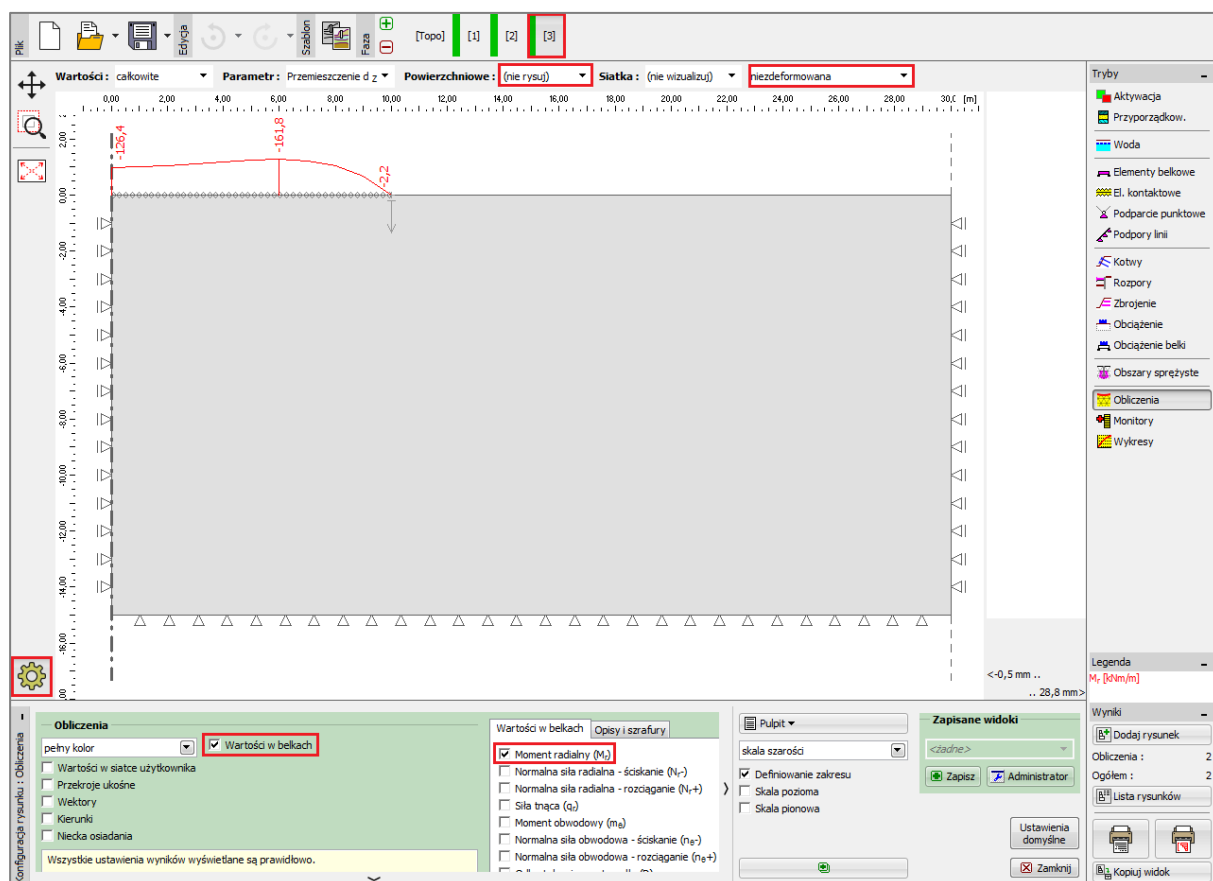


Ramka "Obliczenia" – faza nr 3 (przemieszczenie pionowe d_z oraz niecka osiadania)

Przeanalizujemy następnie przebieg momentu radialnego M_r [kNm/m] w fazach nr 2 oraz 3 (wyberzymy przycisk “Ustawienia” i zaznaczymy opcję “Moment radialny M_r ” w zakładce “Wartości w belkach”) i zapiszemy ekstremalne wartości momentu w tabeli. Zbrojenie główne kołowego fundamentu zbiornika można zaprojektować z wykorzystaniem tych wartości w dowolnym programie do statyki liniowej (np. FIN EC – CONCRETE 2D).



Ramka “Obliczenia” – faza nr 2 (przebieg wykresu momentu radialnego M_r)



Ramka "Obliczenia" – faza nr 3 (przebieg wykresu momentu radialnego M_r)

Analiza wyników

Przedstawiona poniżej tabela zawiera wyniki przemieszczenia pionowego d_z [mm] oraz momentu radialnego M_r [kNm/m] dla faz nr 2 oraz 3, w których zamodelowano obciążenie i odciążenie kołowego fundamentu zbiornika. Obliczenia przeprowadzone zostały przy zastosowaniu modelu materiałowego gruntu Mohra-Coulomba oraz trójkątnej siatki elementów skończonych o długości krawędzi wynoszącej 1.0 m.

Model materiału	Faza 2	Faza 3	Faza 2	Faza 3
Siatka	d_z [mm]	d_z [mm]	M_r [kNm/m]	M_r [kNm/m]
Mohra-Coulomba (1.0 m)	101.9	28.8	+ 161.6	---
			– 34.1	-161.8

Wyniki całkowitego osiadania d_z oraz momentu radialnego M_r dla kolejnych faz

Wnioski

Wyniki obliczeń osiadania całkowitego i momentu radialnego pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Gdy zbiornik jest napełniony (obciążenie ciągłe równomiernie rozłożone) dodatni moment zginający pojawia się na długości belki w obszarach, gdzie rozciągane są dolne włókna.
- Po opróżnieniu zbiornika (odciążenie zbiornika) kołowy fundament zbiornika obciążony jest jedynie ciężarem własnym ścian zbiornika. Ujemny moment zginający pojawia się na długości belki w obszarach, gdzie rozciągane są górne włókna.