

## Proračun konsolidacije ispod nasipa

Program: Slijeganje

Datoteka: Demo\_manual\_11.gpo

U ovom inženjerskom priručniku objasnit ćemo kako proračunati slijeganje ispod izgrađenog nasipa.

### Uvod

Konsolidacija tla uzima u obzir vrijeme slijeganja (proračun deformacije tla) pod utjecajem vanjskih (stalnih ili promjenjivih) opterećenja. Dodatno opterećenje dovodi do povećanja formiranja naprezanja tla i postepenog istiskivanja vode iz pora, tzv. Konsolidacija tla.

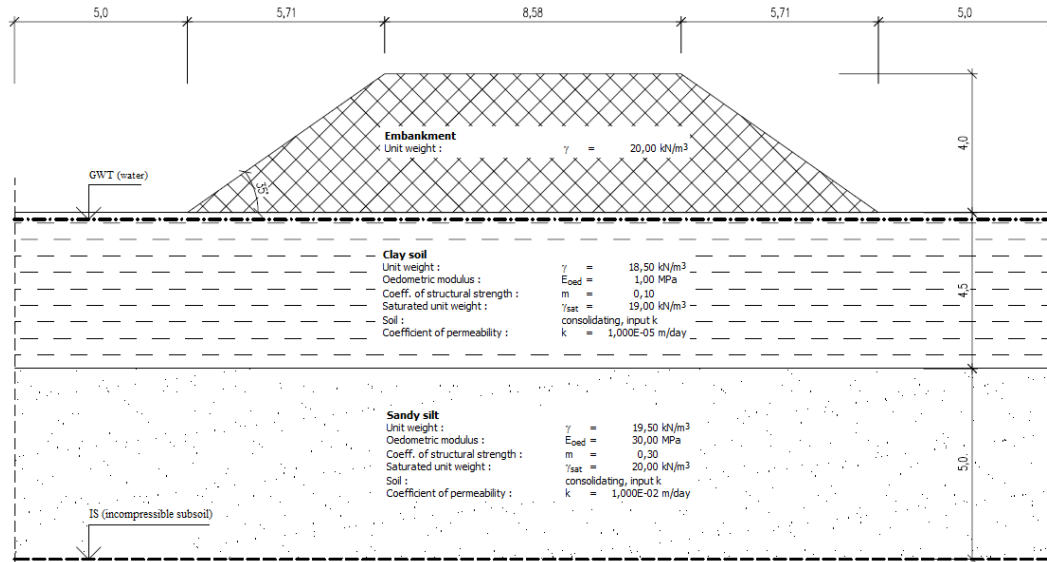
Primarna konsolidacija odgovara situaciji u kojoj postoji potpuna disipacija porenih pritisaka u tlu; sekundarna konsolidacija utječe reološke procese u kosturu tla (takozvani "efekt puzanja"). Ovaj proces ovisi o vremenu te na njega utječu mnogi faktori (npr. Propusnost tla i stlačivost, duljina odvodnih puteva, itd.). Ovisno o stupnju konsolidacije, razlikujemo sljedeće slučajeve slijeganja tla:

- Finalno slijeganje koje odgovara 100% konsolidaciji od danog dodatnog opterećenja
- Parcijalno slijeganje koje odgovara danom stupnju konsolidacije danog dodatnog opterećenja

Kako bismo proračunali vrijeme slijeganja, neophodno je specificirati koeficijent propusnosti " $k$ " ili koeficijent konsolidacije, " $c_v$ ", koji određuje brzinu konsolidacije. Ovaj parametar se može dobiti na temelju edometarskog pokusa (prema Casagrande-u ili Taylor-u).

## Zadatak

Odredite vrijednost slijeganja ispod središta nasipa izgrađenog na nepropusnoj glini jednu godinu i deset godina nakon njegove izgradnje. Provedite proračun prema CSN 73 1001 standardu (koristeći edometarski modul), te uzmite u obzir ograničenje zone utjecaja koristeći koeficijent čvrstoće konstrukcije.



Shema zadatka – konsolidacija

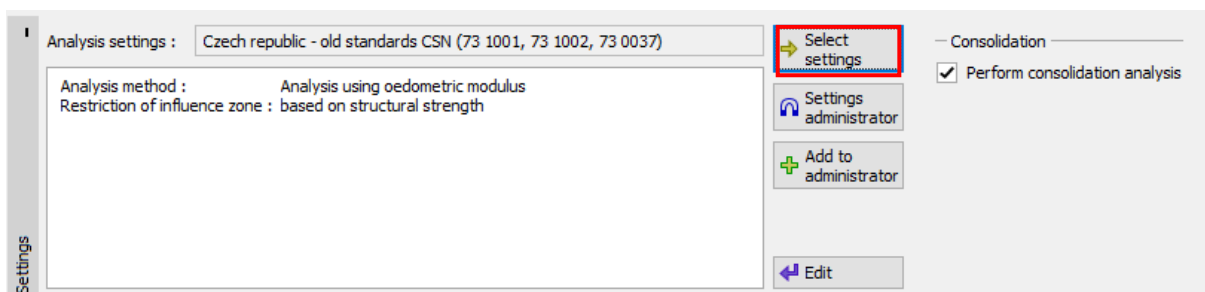
## Rješenje

Kako bismo riješili ovaj zadatak koristit ćemo GEO5 modul Slijeganje. Modelirat ćemo ovaj primjer korak po korak:

- 1. faza konstrukcije – modeliranje granica terena, proračun početnih geostatičkih naprezanja
- 2. faza konstrukcije – dodavanje dodatnog opterećenja u vidu nasipa
- 3. do 5. faza konstrukcije – proračun konsolidacije nasipa u raznim vremenskim intervalima (prema zadatku)
- Procjena rezultata (zaključak).

## Faza 1

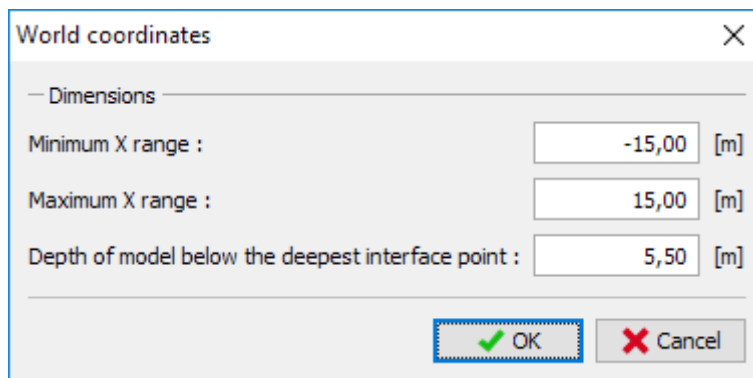
Najprije provjerite je li uključena opcija "Perform consolidation analysis" u donjem desnom uglu kartice "Settings". Zatim kliknite na "Select settings" i odaberite opciju Br. 8 "Czech republic – old standards CSN". Ova norma opisuje metodu proračuna slijeganja i ograničenje zone utjecaja.



Kartica "Settings"


*Napomena: Ovaj proračun uzima u obzir tzv. primarnu konsolidaciju (disipacija pornih pritisaka). Sekundarno slijeganje (puzanje), koje se uglavnom može pojaviti s nekonsolidiranim i organskim tlima, se ne uzima u obzir u ovom primjeru.*

Zatim unosimo granice slojeva tla u kartici "Interface". Neophodno je unijeti dva sloja. Konsolidacija se provodi između ova dva sloja. Najprije definiramo gabarite zadatka koristeći tipku "Setup ranges".



Gabariti zadatka

Zatim definiramo sloj između slojeva tla na dubini od 4,5 m koristeći tipku "Add interface" te dodavajući točke teksturalnim unosom.


 Add points textually

— New interface points —

No.	x [m]	z [m]
1	-15,00	0,00
➤ 2	15,00	0,00

☒ OK  
Add interface
   
☐ Cancel

*Dodavanje granice 1*

 Add points textually

— New interface points —


No.	x [m]	z [m]
1	-15,00	-4,50
➤ 2	15,00	-4,50

☒ OK  
Add interface
   
☐ Cancel

*Dodavanje granice 2*

*Napomena: Ako postoji homogeno tlo, zatim proračun konsolidacije, potrebno je unijeti fiktivni sloj (koristeći parametre za dva sloja tla koja su odvojena originalnom granicom), preferirano na dubini zone deformacija.*

Zatim idemo na karticu "Incompressible subsoil", gdje ćemo unijeti novo nestišljivo tlo na dubini od 10 m korištenjem tipke "input incompressible subsoil" i dodavanjem točaka tla na sličan način kako su unesene točke granica slojeva tla. Nema slijeganja ispod nestišljivog tla.

 Add points textually

— New incompressible subsoil points —

No.	x [m]	z [m]
1	-15,00	-10,00
➤ 2	15,00	-10,00

☒ OK  
Input incompressible subsoil
   
☐ Cancel

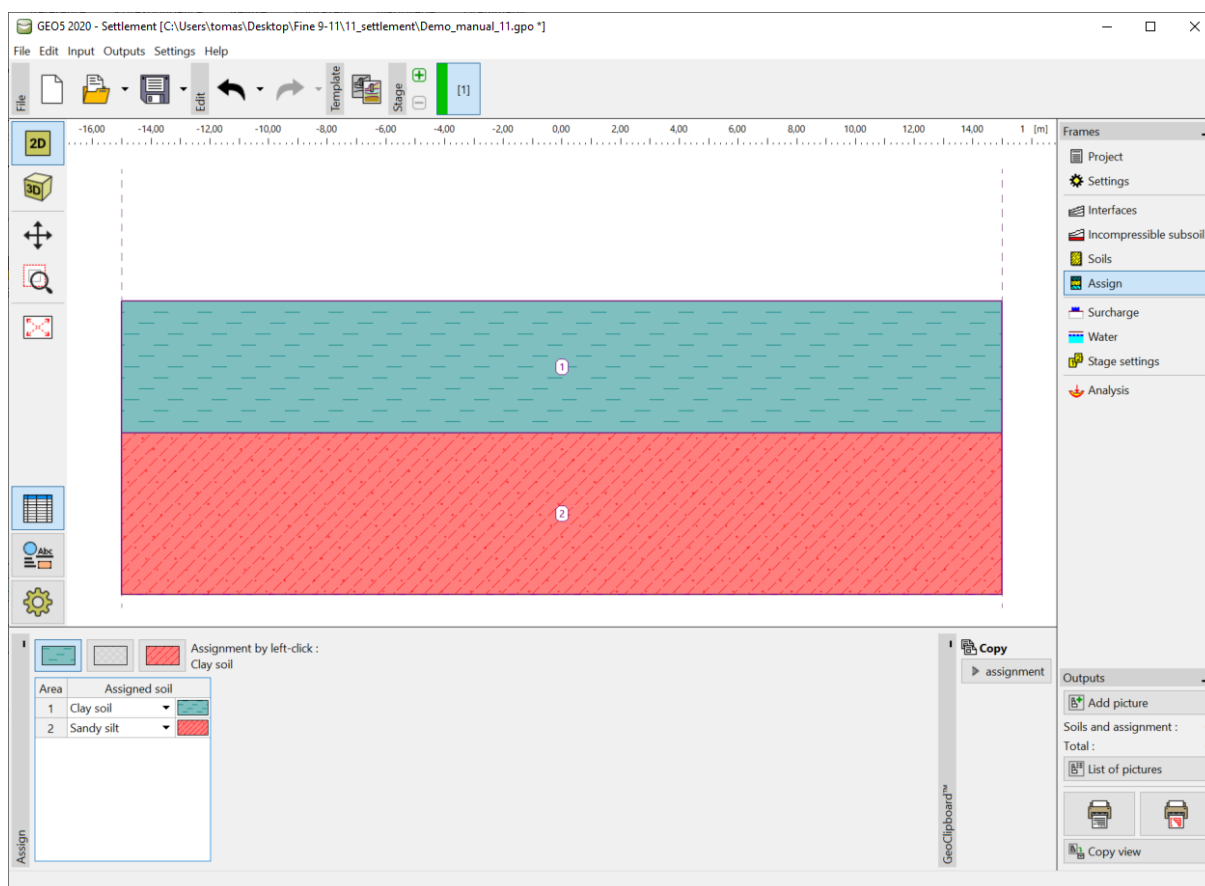
*Kartica „Incompressible subsoil“*

U sljedećem koraku, otvorite karticu "Soils", gdje unosimo podatke o tlu. Za tla koja su konsolidirana, potrebno je definirati ili koeficijent propusnosti " $k$ " ili koeficijent konsolidacije " $c_v$ ". Aproksimativne vrijednosti možete pronaći u help-u (F1).

*Tablica parametara tla*

Tlo (Klasifikacija tla)	Jedinična težina $\gamma$ [ $kN/m^3$ ]	Poissonov omjer $\nu$ [-]	Edometarski modul $E_{oed}$ [ $MPa$ ]	Koef. Čvrstoće konstrukcije $m$ [-]	Saturirana jedinična težina $\gamma$ [ $kN/m^3$ ]	Koef. propusnosti $k$ [ $m/day$ ]
Glinovito tlo	18,5	0,35	1,0	0,1	19,0	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Nasip	20,0	0,3	30,0	0,3	20,0	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Pjeskoviti mulj	19,5	0,3	30,0	0,3	20,0	$1,0 \cdot 10^{-2}$

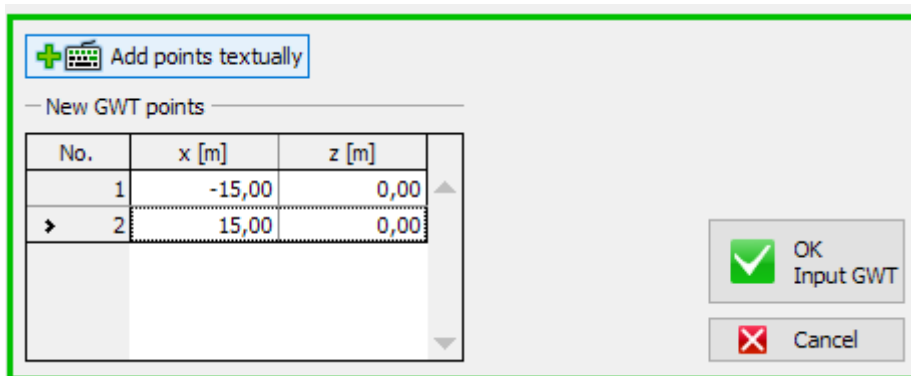
Zatim idemo u karticu "Assignment", gdje dodjeljujemo tla profilu prema slici:



*Kartica "Assignment"*

Karticu "Surcharge" ne uzimamo u obzir u prvoj fazi konstrukcije jer ćemo u ovom primjeru postaviti stvarno tijelo nasipa (u fazama 2 do 5).

U sljedećem koraku otvorite karticu "Water", gdje unosimo podzemnu vodu (tzv. "GWT") dodavanjem točaka granice tekstualno, u našem slučaju, u razini tla.



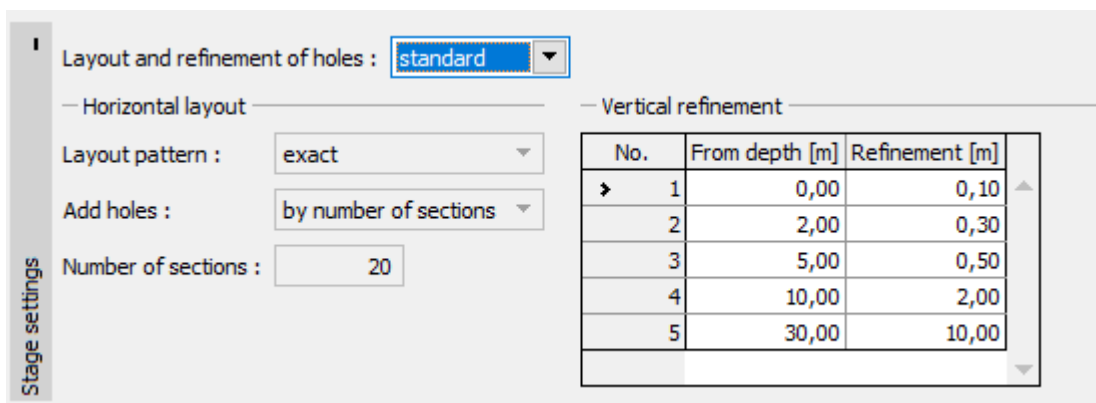
— New GWT points

No.	x [m]	z [m]
1	-15,00	0,00
2	15,00	0,00

OK Input GWT  
Cancel

*GWT unos*

U kartici "Stage settings", možete jedino modificirati položaj i ugađenost rupa. U ovom slučaju ostavit ćemo standardne postavke.



Layout and refinement of holes : standard

— Horizontal layout —

Layout pattern : exact

Add holes : by number of sections

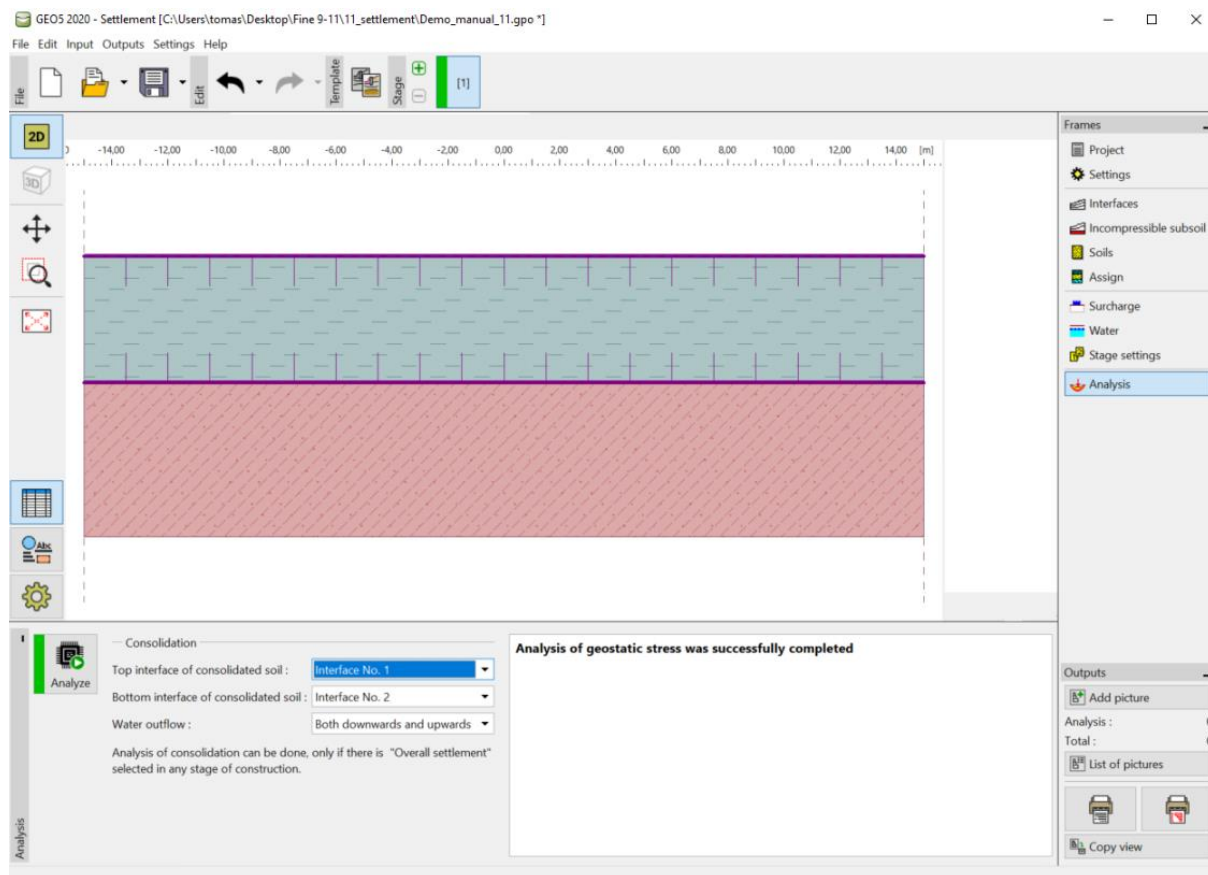
Number of sections : 20

— Vertical refinement —

No.	From depth [m]	Refinement [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

*Kartica "Stage settings"*

Prva faza predstavlja geostatičko naprezanje u početnom vremenu izgradnje konstrukcije. Potrebno je specificirati osnovne rubne uvjete za proračun konsolidacije u sljedećim fazama. Unesite gornju i donju granicu konsolidiranog tla kao i smjer protoka vode iz ovog sloja – tj. put za drenažu.



*"Analysis" Postavke – Faza konstrukcije 1*

## Faze 2 do 5

Sad dodajemo 2. fazu konstrukcije koristeći alatnu traku pri vrhu sučelja.

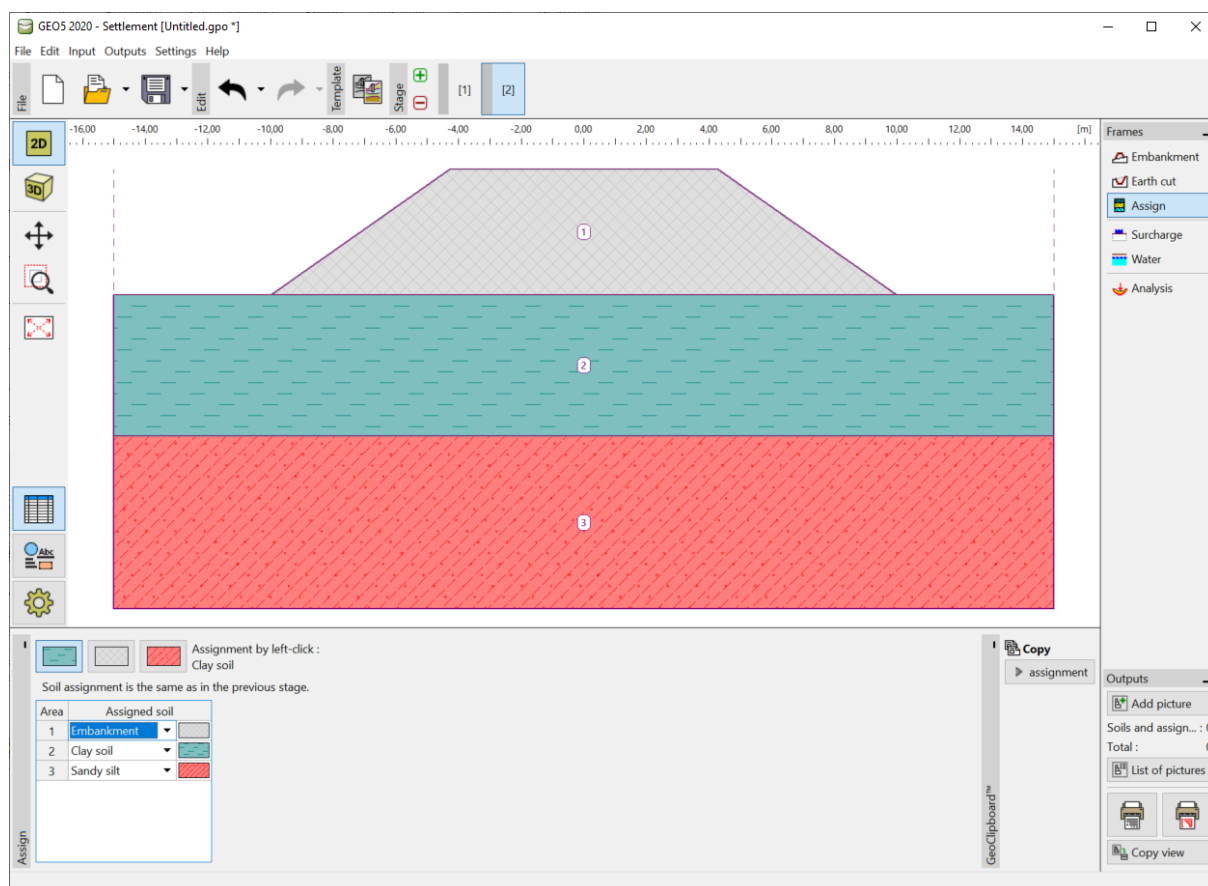


*"Construction stage" alatna traka*

U drugoj fazi definirat ćemo nasip unosom koordinata točaka u kartici "Embankment":

- Točka Br. 1:  $x = -10,0 \text{ m}$   $z = 0,0 \text{ m}$
- Točka Br. 2:  $x = -4,29 \text{ m}$   $z = 4,0 \text{ m}$
- Točka Br. 3:  $x = 4,29 \text{ m}$   $z = 4,0 \text{ m}$
- Točka Br. 4:  $x = 10,0 \text{ m}$   $z = 0,0 \text{ m}$

Zatim idemo u karticu "Assign", gdje dodjeljujemo vrstu tla nasipu.

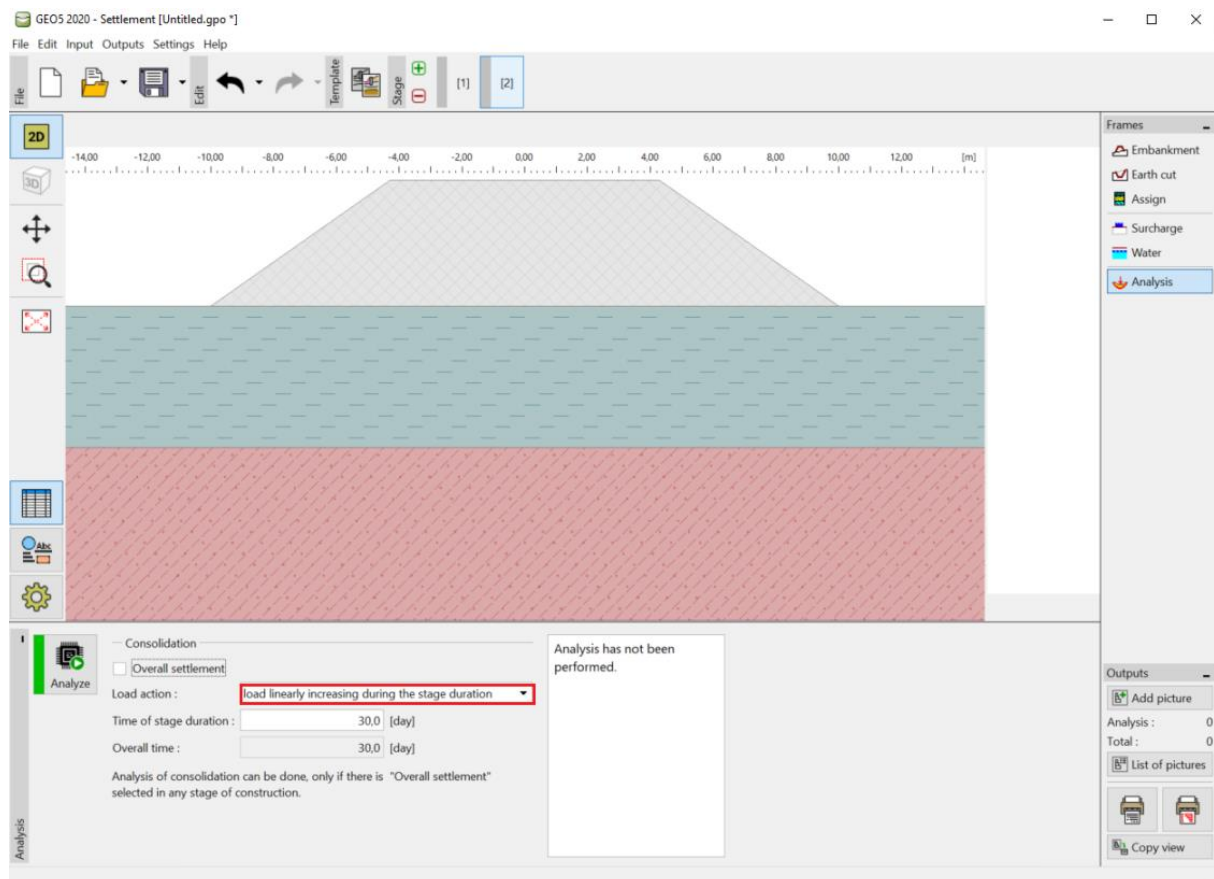


## "Faza 2 – Nasip + dodjela tla"

*Napomena: Nasip djeluje kao dodatno opterećenje na originalnu površinu tla. Pretpostavlja se da dobro izgrađen (optimalno kompaktan) nasip se prema toriji ne sliježe. U praksi može doći do slijeganja (slaba kompaktnost, puzanje tla), no program Slijeganje to ne uzima u obzir.*

U kartici "Analysis", unesite vrijeme trajanja **2. faze** (30 dana) koje odgovara stvarnom vremenu izgradnje nasipa. Stvarni proračun slijeganja se ne može još provesti, jer je prilikom određivanja konsolidacije najprije potrebno poznavati cijelu povijest opterećenja od zemljanih radova, tj., sve faze izgradnje konstrukcije. Kako se nasip postepeno gradi, uzimamo u obzir **linearni porast opterećenja** u 2. fazi konstrukcije.





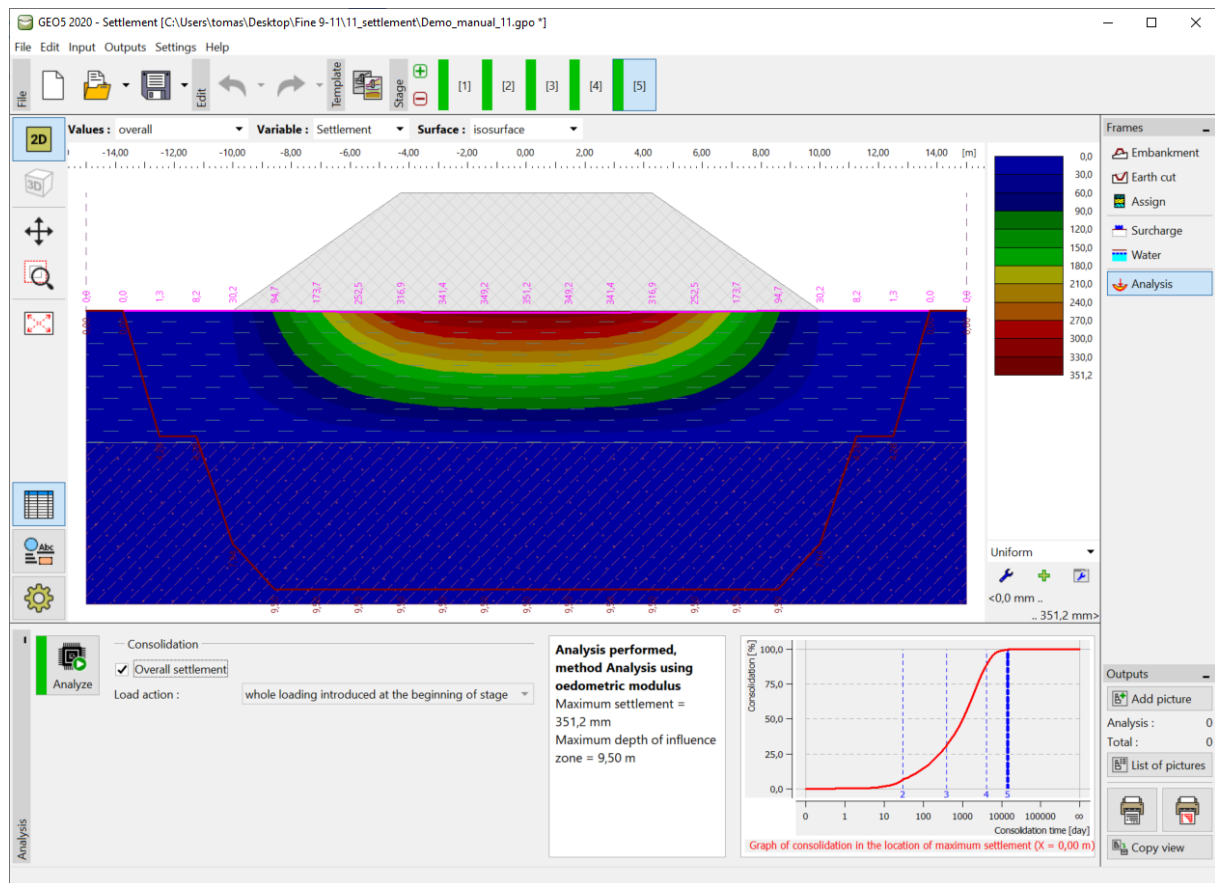
## "Kartica Analysis – Faza konstrukcije 2"

Dodajemo još 3 faze. U sljedećim fazama, unesite trajanje svake faze:

- **3. faza** - 1 godina, tj 365 dana
- **4. faza** - 10 godina, tj. 3,650 dana
- **5. faza** – ukupno slijeganje

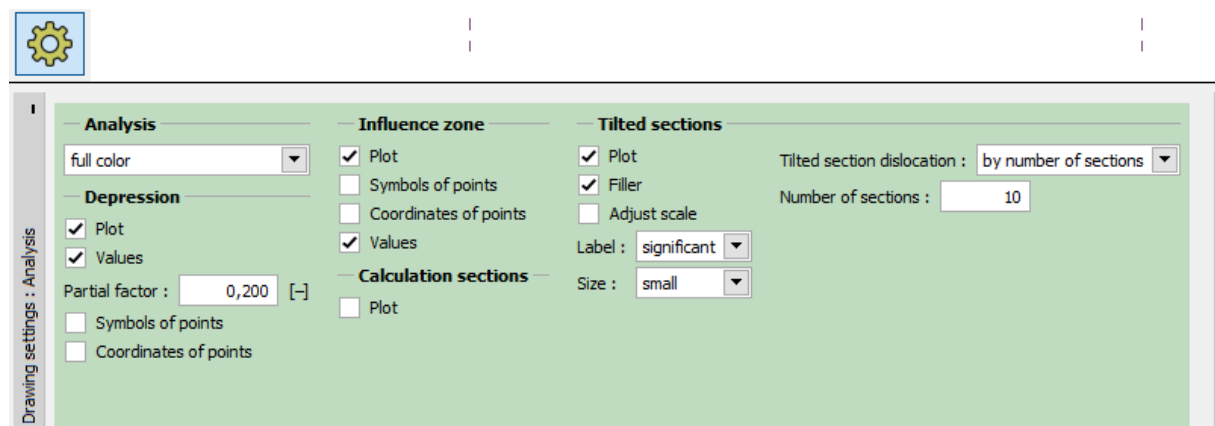
U ovom slučaju opterećenje nije bitno (nema novog dodatnog opterećenja u sljedećim fazama), pa ćemo ostaviti postavke opterećenja kao "Whole loading introduced at the beginning of stage".

Pokrenite proračun u zadnjoj 5. Fazi konstrukcije, gdje je opcija "Overall settlement" uključena (ova opcija može biti uključena u bilo kojoj fazi konstrukcije osim u prvoj).



## Kartica "Analysis" – Faza konstrukcije 5"

Varijable prikazane na ekranu su odabrane u gornjoj alatnoj traci. Posebne postavke (npr. depresije, zone utjecaja, označeni dijelovi) se mogu definirati u postavkama crteža – koristeći tipku zupčanika na lijevoj strani sučelja.



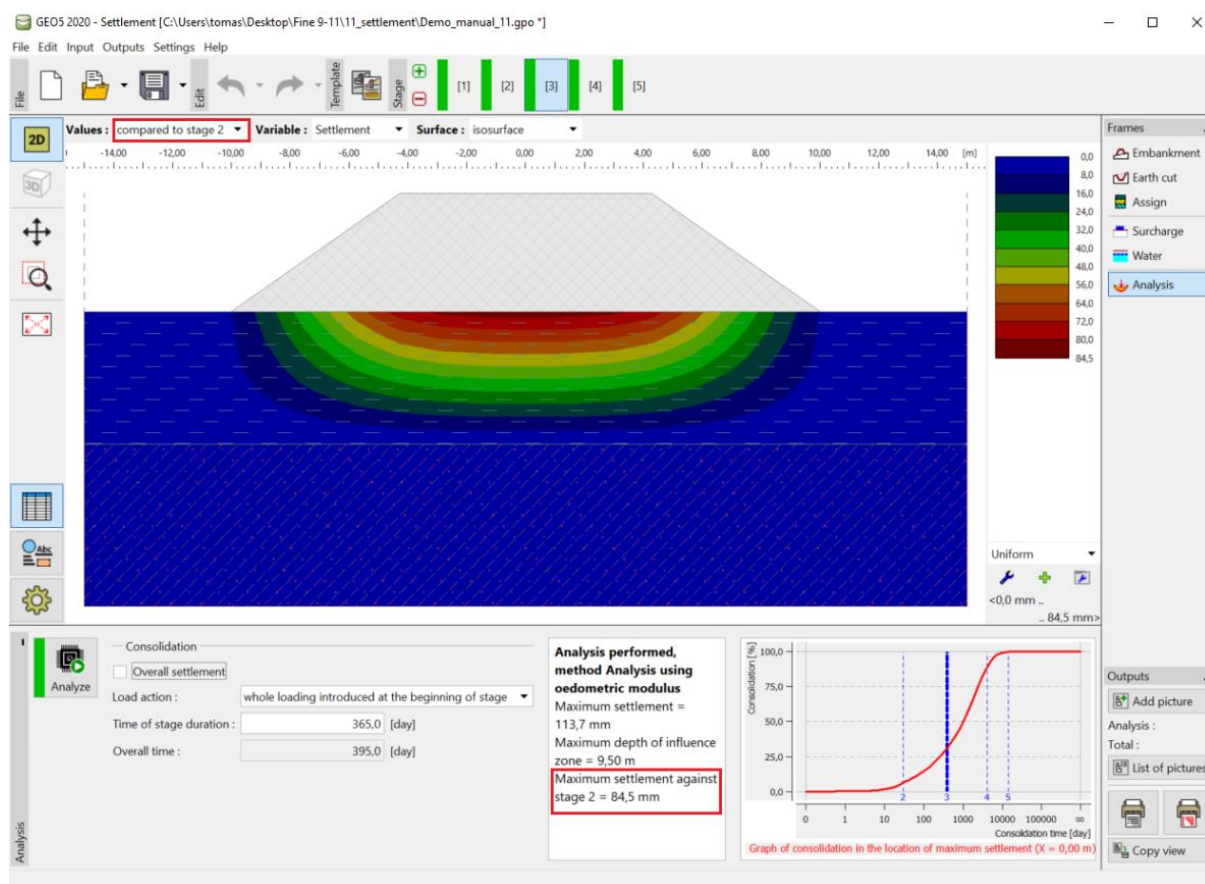
## Postavke crteža

## Rezultati proračuna

Prilikom proračuna ukupnog slijeganja, možemo vidjeti vrijednosti parcijalne konsolidacije ispod središta nasipa. Dobili smo sljedeće maksimalne vrijednosti slijeganja u individualnim fazama konstrukcije:

- Faza 1: samo geostatičko naprezanje – slijeganje nije proračunato.
- Faza 2 (dodatno opterećenje od nasipa): za 30 dana → 29,2 mm
- Faza 3 (bez promjene): za 365 dana → 113,7 mm
- Faza 4 (bez promjene): za 3,650 dana → 311,7 mm
- Faza 5: ukupno slijeganje → 351,2 mm

Kako nas zanima slijeganje nasipa nakon njegove izgradnje, promijenit ćemo prikaz rezultata u 3. i 4. fazi (tipka "Values") u "compared to stage 2", što oduzima vrijednosti danih slijeganja.



Kartica "Analysis" – Settlement (razlike s obziroma na prethodne faze)

## Zaključak:

Slijeganje nasipa (ispod njegovog središta) unutar jedne godine od njegove izgradnje je 84,5 mm (= 113,7 – 29,2), a nakon 10 godina je 282,5 mm (= 311,7 – 29,2).