

Stabilizacija kosine koristeći protuklizne pilote

Program: Stabilnost kosina, Pilot u klizištima

Datoteka: Demo_manual_19.gst

Uvod

Prozukuljni piloti se koriste za stabilizaciju velikih klizišta. Ova konstrukcija je slična zidu od pilota, koji je u cijelosti (ili gotovo u cijelosti) realiziran na kosini. Ovaj zid na pilotama siječe kliznu plohu i pomaže u prevenciji sljedećih klizišta. Piloti obično imaju velike poprečne presjeke, koji mogu biti kružni ili kvadratni.

Kosina, koju želimo stabilizirati protukulznim pilotima, treba zadovoljiti nekoliko uvjeta. Najprije, potrebno je znati lokaciju klizne plohe (njenu dubinu ispod terena na mjestu protukulznih pilota). Druga bitna stvar su uvjeti stijene (tla) ispod klizne plohe. Ne bi smjelo biti erozivno ili neusklađeno, jer mora prenijeti dodatno opterećenje od pilota.

Rješenje protukulznog pilota se može podijeliti u dva koraka. Prvo moramo riješiti globalnu stabilnost kosine. U ovom koraku koristimo GEO5 program – *Stabilnost kosina*. Koristeći ovaj program dobivamo sile koje moraju djelovati na pilote kako bi se zadovoljio zahtijevani faktor sigurnosti. Ako ne znamo točnu poziciju klitne plohe (na primjer iz geotehničkih istraživanja), možemo ju odrediti u programu koristeći optimizaciju. Optimizacija pronalazi najgoru poziciju klizne plohe (kritična s najnižim faktorom sigurnosti). Drugi dio rješenja se odrađuje u programu *Pilot u klizištima*. U ovom programu dimenzioniramo i provjeravamo pilote. Rezultat ovog proračuna je raspodjela unutarnjih sila i horizontalni pomak pilota.

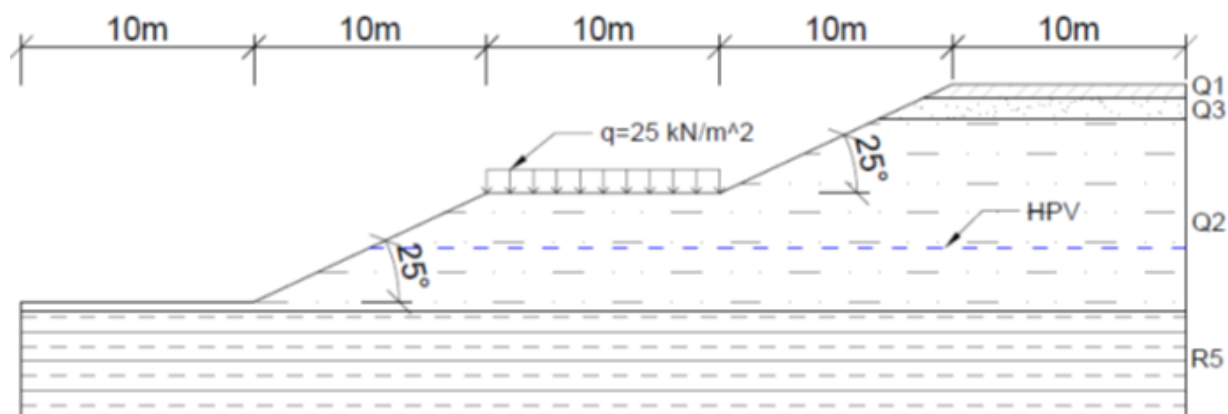
Primjer korištenja protukulznih pilota za stabilizaciju kosine s prometnicom je prikazan na slici ispod. Korak-po-korak rješenje sličnog primjera će biti prikazano u ovom inženjerskom priručniku.



Protukuljni piloti (svi ispod terena)

Opis zadatka

Izradite rješenje stabilizacije kosine koristeći protuklizne pilote prema shemi ispod. Faktor sigurnosti za **sveukupnu** stabilnost kosine mora biti barem $SF=2,0$. Uzmite u obzir stalnu proračunsku situaciju.



Shema zadatka

Dodatno opterećenje od prometnice im vrijednost od 25 kN/m^2 .

Geotehnički parametri na lokaciji su dani u tablici ispod:

Sloj	Dubina (m)	ČSN 73 1001	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m^3)	ϕ_{ef} ($^\circ$)	C_{ef} (kPa)	E_{def} (Mpa)	ν (-)
Mulj niske plastičnosti F5/ML0 (Q1)	0,0 - 0,6	F5/ML	21/22	20	14	4	0,4
Glinoviti pijesak (Q3)	0,6 - 1,5	F4/CS	18,5/19,5	26	4	8	0,35
Pjeskovita glina (Q2)	1,5 - 9,72	S5/SC	18/18,5	22	5	5	0,35
Škriljci jako oslabljeni uslijed vremenskih uvjeta (R5)	9,72 - 17	R5	24/24,2	29	30	15	0,35

Geotehnički parametri

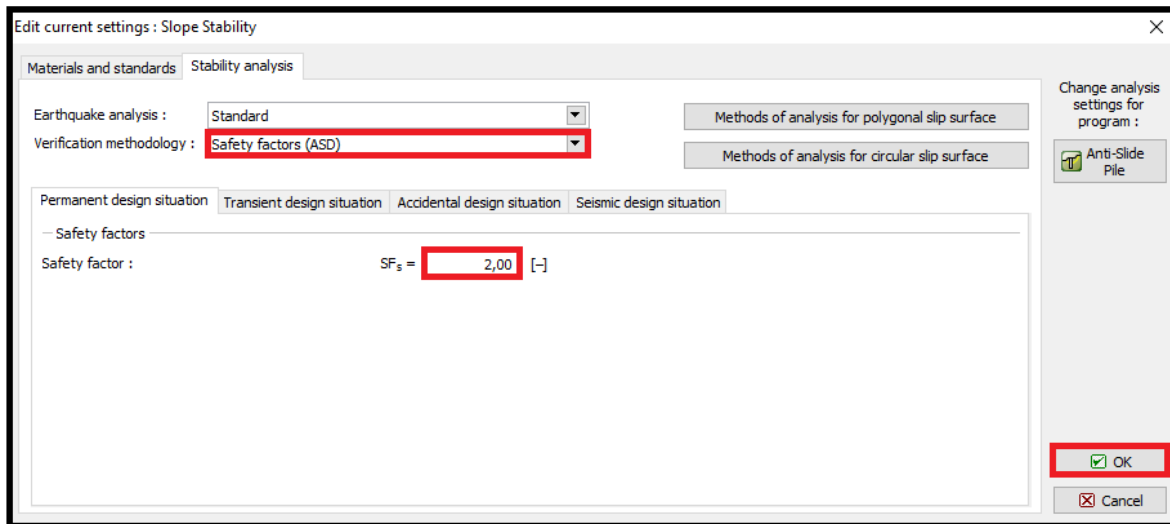
Podzemna voda se nalazi na dubini od 7 m.

Rješenje

Prvi dio rješenja je modeliranje sheme zadatka u programu GEO5 – Stabilnost kosina. Proces modeliranja zadatka u ovom programu je već pojašnjen u inženjerskom priručniku [Br. 8 \(Proračun stabilnosti kosine\)](#). Iz ovog razloga, samo dijelovi povezani s proračunom protukliznog pilota su ovdje opisani.

Procjena postojećeg nasipa – faza gradnje 1

Najprije mijenjamo osnovna svojstva zadatka koristeći tipku “Edit” u kartici “Settings”. Postavljamo metodologiju provjere na “Safety factors (ASD)” i povećavamo vrijednost faktora sigurnosti na $SF_s=2,0$.

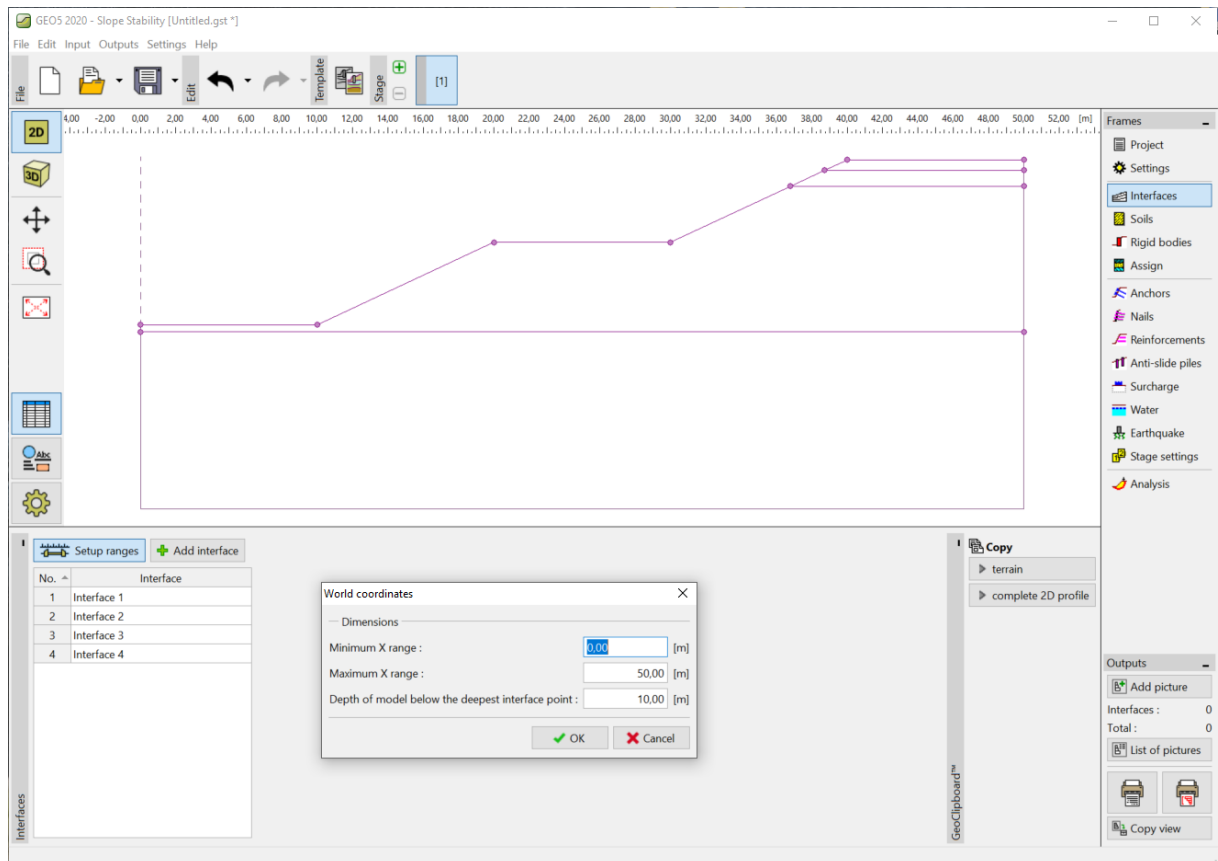


Kartica “Settings”

U kartici “Interface” postaviti ćemo granice i modelirati oblik terena i granica između geoloških slojeva koristeći koordinate svake točke. Koordinate točaka su dane u tablici ispod:

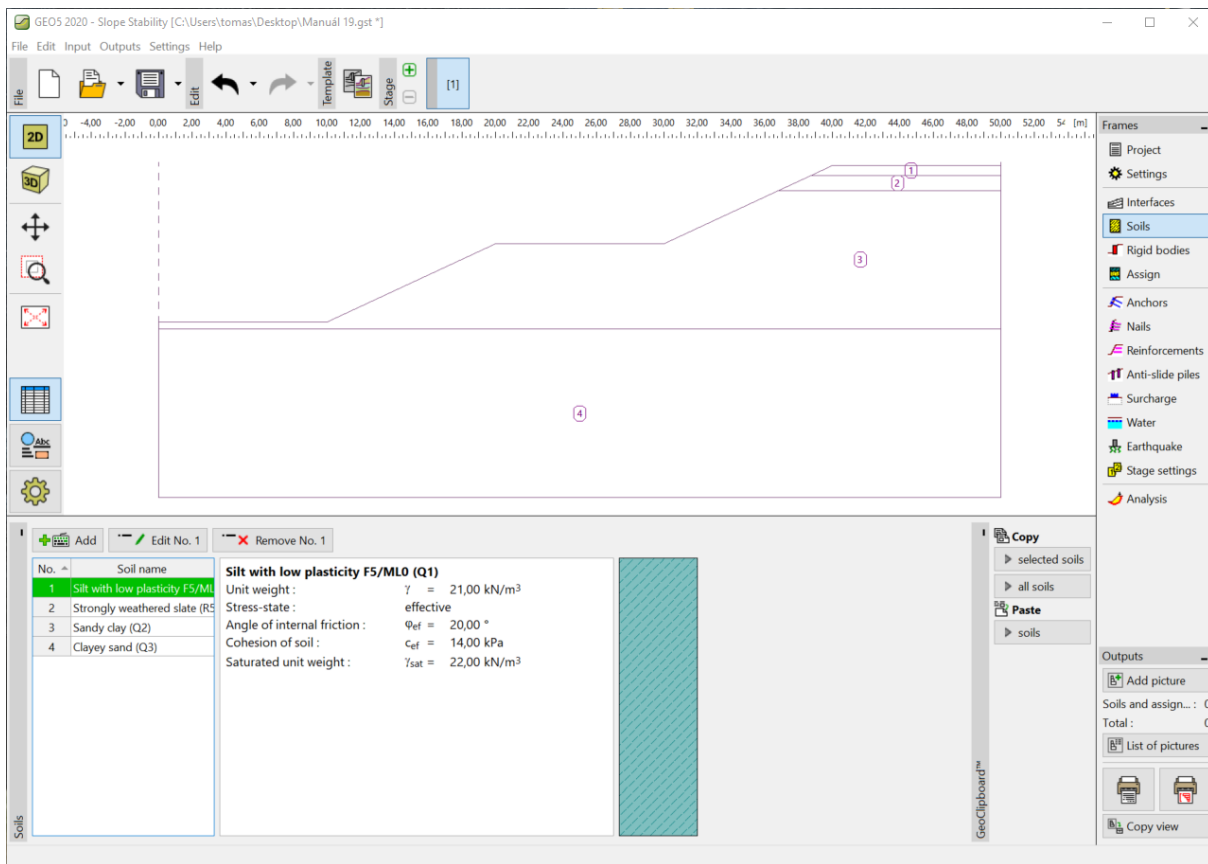
Interface 1			Interface 2			Interface 3			Interface 4		
1	0,00	0,00	1	38,71	8,72	1	36,78	7,82	1	0,00	-0,40
2	10,00	0,00	2	50,00	8,72	2	50,00	7,82	2	50,00	-0,40
3	20,00	4,66									
4	30,00	4,66									
5	36,78	7,82									
6	38,71	8,72									
7	40,00	9,32									
8	50,00	9,32									

Koordinate granica



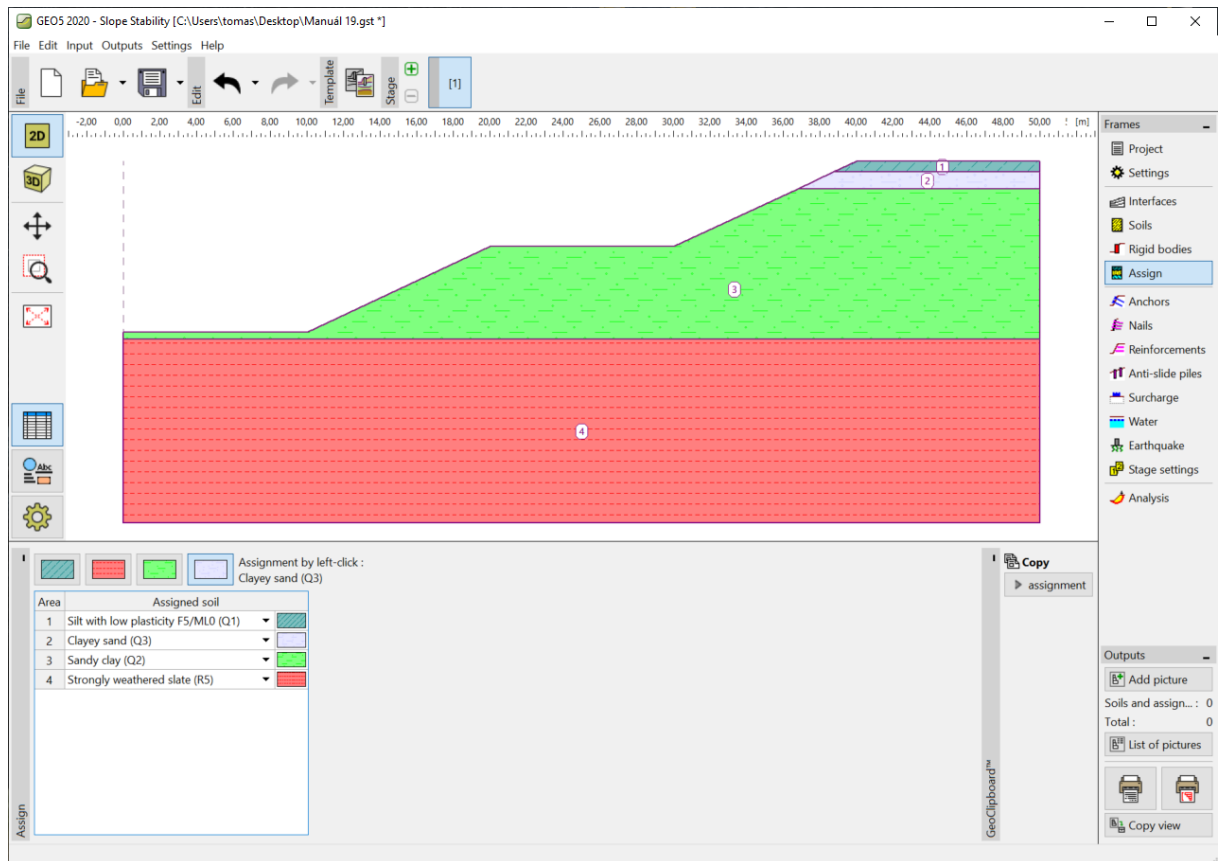
Kartica "Interface" – Postavljanje granica

Zatim unosimo tla prema zadatku.



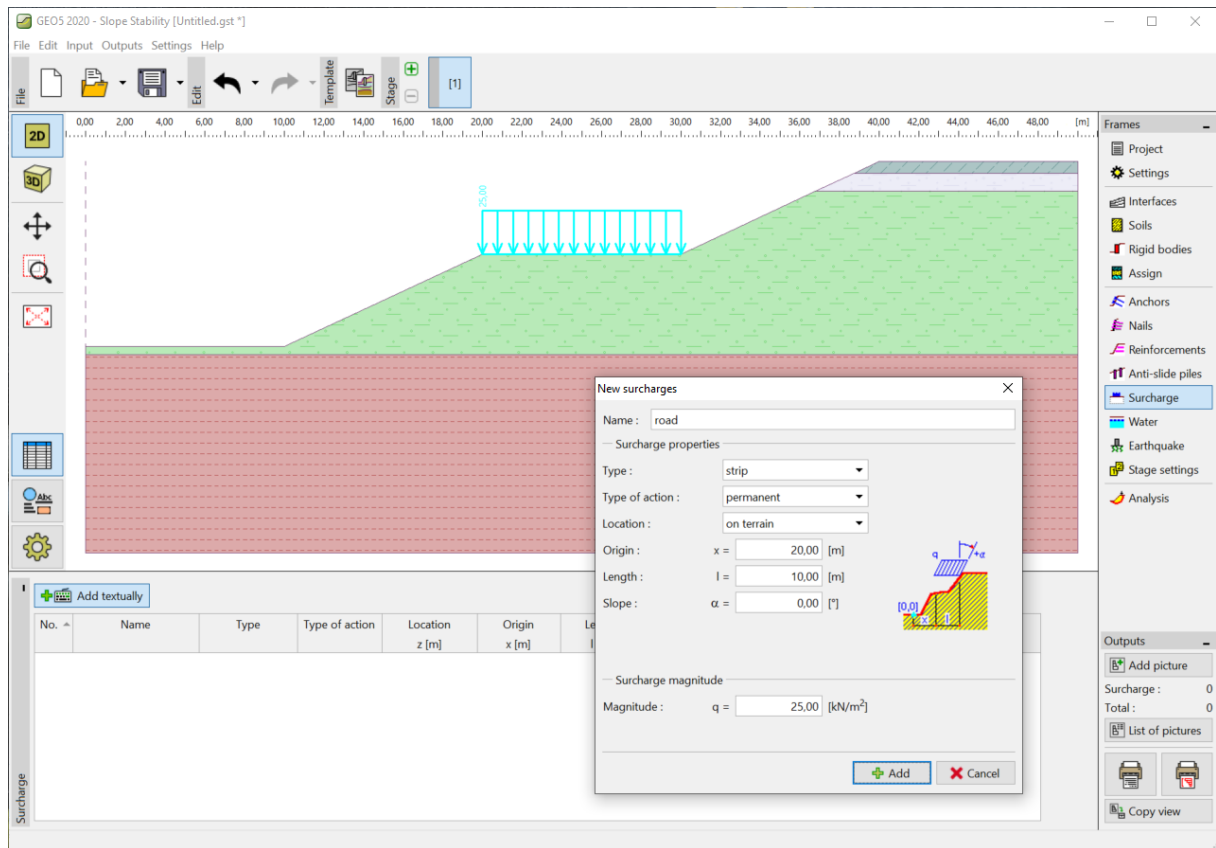
Kartica "Soils"

U kartici "Assign" dodjeljujemo dodana tla geološkim slojevima.



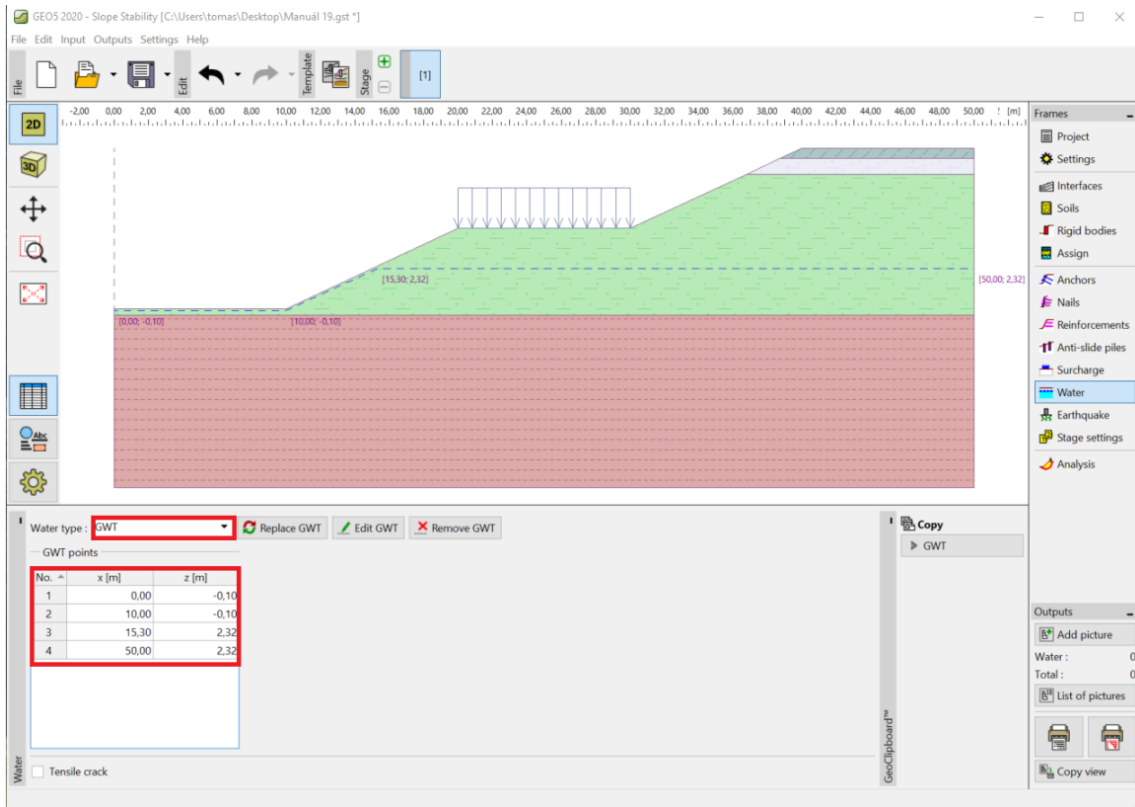
Kartica "Soils"

U sljedećem koraku definiramo dodatno opterećenje od prometnice. Ono djeluje kako stalno trakasto opterećenje vrijednosti od 25 kPa.



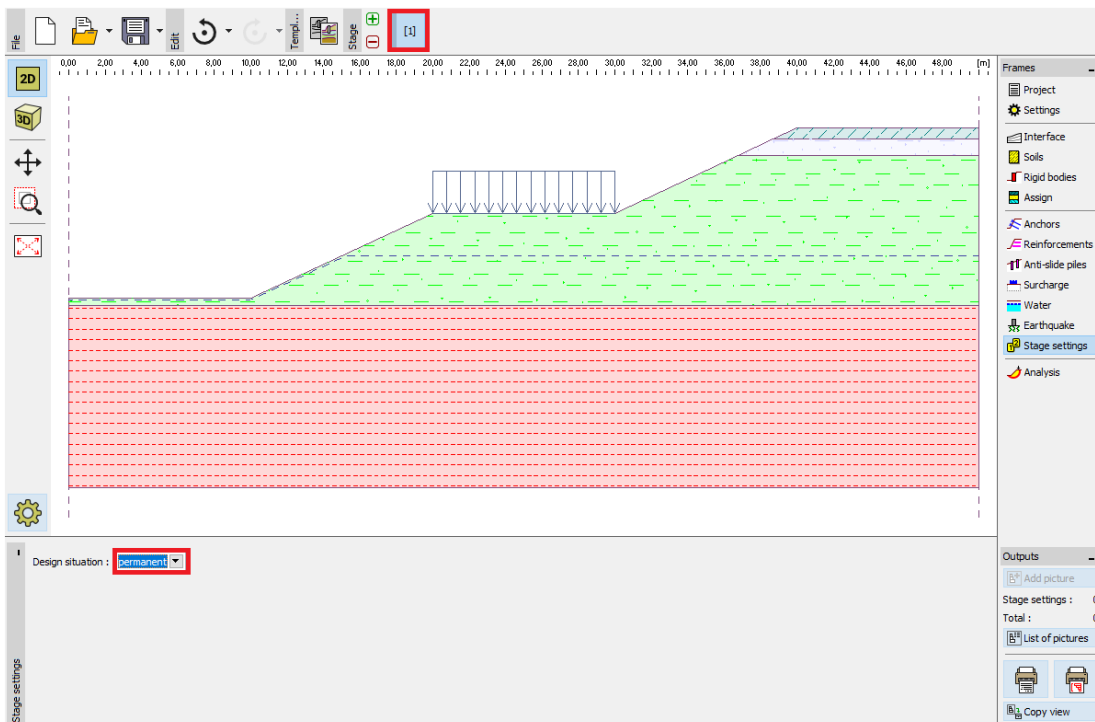
Kartica "Surcharge"

U kartici "Water" dodajemo koordinate točka podzemne vode.



Kartica "Water"

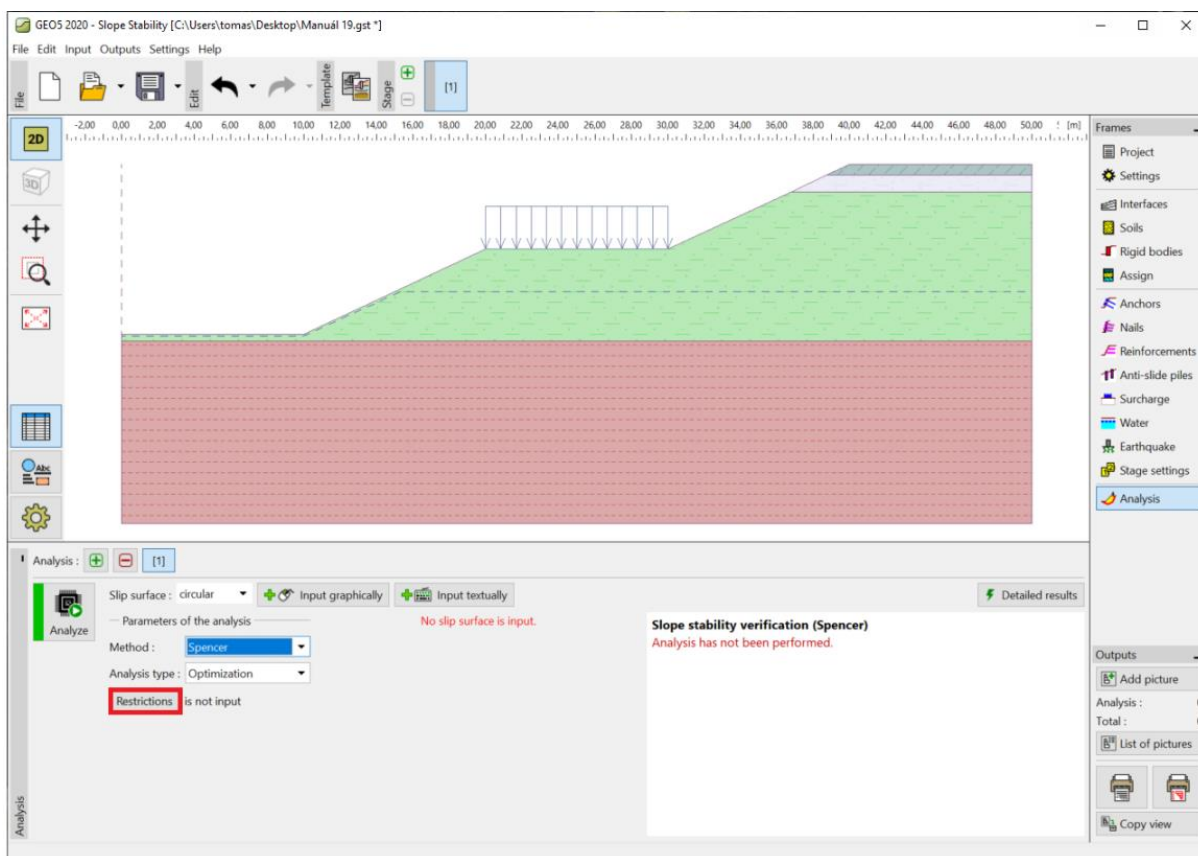
Tražimo rješenje koje je dugotrajno, pa zbog toga stavljamo proračunsku situaciju kao "permanent".



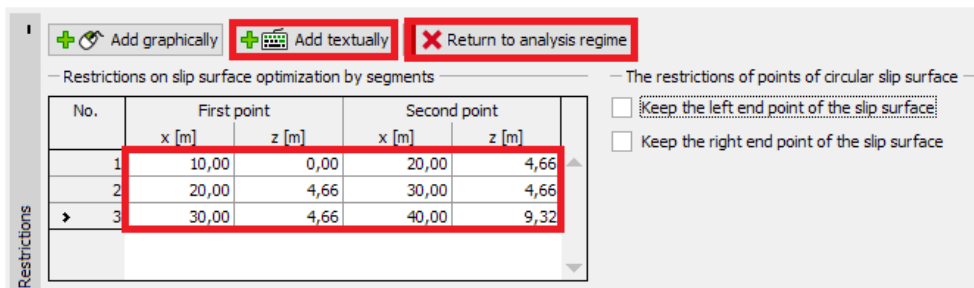
Kartica "Stage settings"

Zatim idemo u karticu "Analysis". Možemo korsititi nekoliko različitih metoda proračuna za stabilnost kosine. Usporedbe i više informacija svake metode su dio inženjerskog priručnika [Br. 8 \(Proračun stabilnosti kosine\)](#).

Riješit ćemo **ukupnu** stabilnost kosine. Ne želimo proračunavati djelomično gornji i donji dio kosine. Iz tog razloga, definirat ćemo linije ograničenja na terenu kosine. To znači da će globalna klizna ploha biti pronađena prilikom optimizacije.

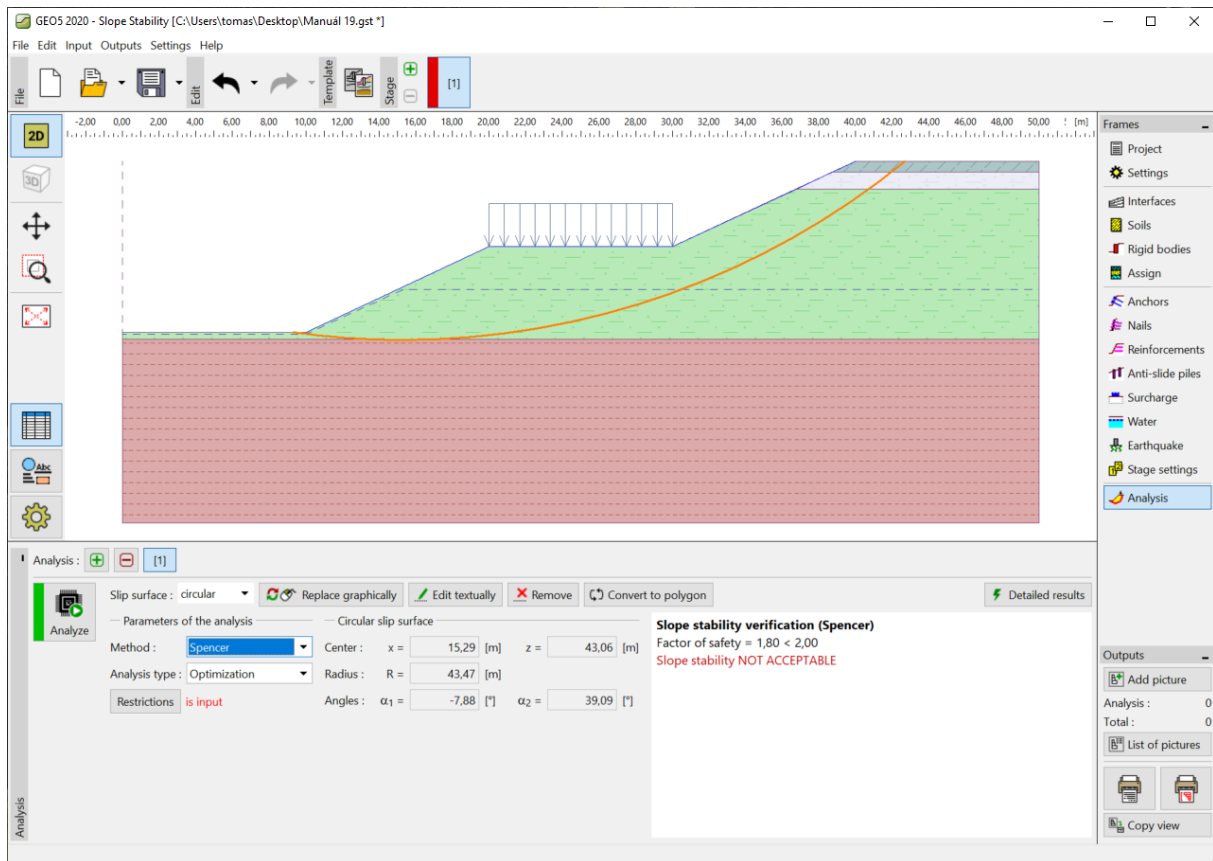


Kartica "Analysis" - ograničenja



Unos ograničenja

Odabrat ćemo Spencerovu metodu proračuna za optimiziranu kružnu kliznu plohu. Možemo unijeti proizvoljni oblik inicijalne klizne plohe. Optimizacija pronalazi najnepovoljniji slučaj.



Kartica "Analysis"

Napomena: Potrebno je znati sile koje djeluju na pilote za sljedeći proračun. Ne mogu se sve metode koristiti za proračun ovih sila u programu Stablnost kosina. Korisnik mora koristiti neku od sljedećih metoda: Spencer, Janbu, Morgenstern-Price ili ITFM.

Napomena: Izbor metode proračuna i oblika klizne plohe ovisi od odluci inženjera, njegovom znanju i iskustvu. U inženjerskoj praksi, dobro je izvesti nekoliko proračuna koristeći različite metode i usporediti rezultate.

Napomena: Ako znamo točnu poziciju klizne plohe, ne koristimo optimizaciju. Tad odabiremo opciju "Standard" kao "Analysis type" i ručno unosimo kliznu plohu.

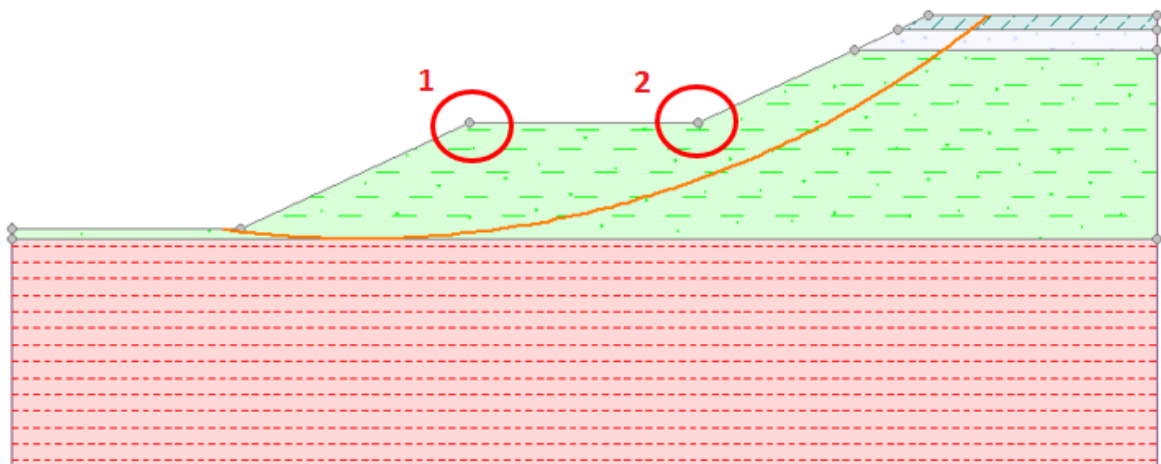
Dimenzioniranje protukliznih pilota

Prije dimenzioniranja, prelazimo na sljedeću fazu gradnje. To će nam omogućiti usporedbu rezultata s i bez pilota.

U kartici “Anti-slide piles” imamo dva različita načina kako dodati pilote. Moguće je dodati pilote grafički pomoću miša ili tekstualno unosom koordinata glave pilota i njihovih duljina. Također je moguće kombinirati ova dva načina – unos grafičke aproksimacije i uređivanje točaka tekstualno.

Napomena: Obično ne znamo idealne pozicije za unos protukliznih pilota. Pilot mora uvijek presjecati kliznu plohu te mora ulaziti u geološke slojeve s većom nosivosti. Također je bitno uzeti u obzir tehnološke mogućnosti realizacije usidrenja pilota. Pilot u sredini strme kosine može poboljšati njenu stabilnot, ali u pitanju je kako to realizirati...

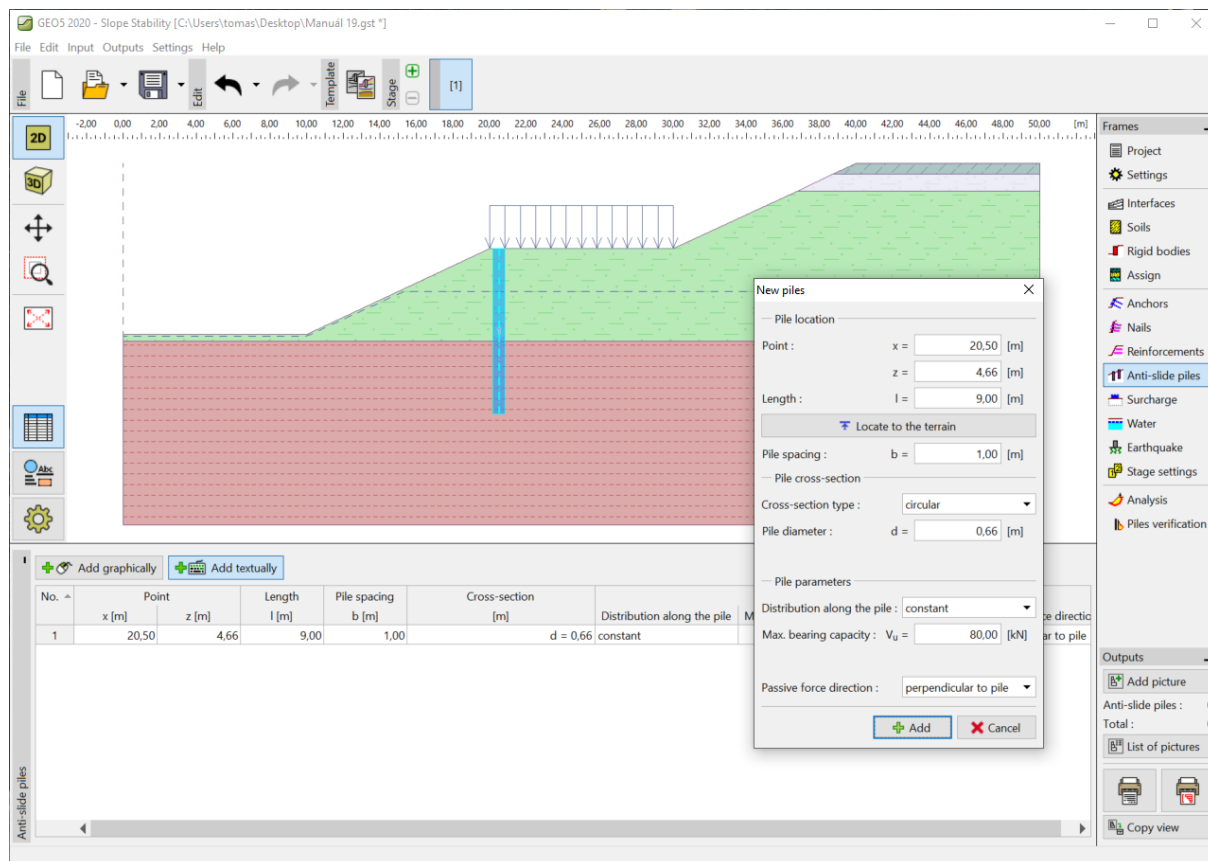
U našem primjeru imamo dva načina kako unosimo protuklizne pilote, što je prikazano na slici ispod.



Moguće lokacije za realizaciju protukliznih pilota

Prvo ćemo pokazati rješenje za točku 1. Odluku o lokaciji protukliznog pilota uvijek donosi inženjer.

Napomena: U slučaju preopterećenih pilota, ili ako želimo smanjiti poprečne presjeke pilota, također je moguće realizirati pilote u dva reda (u obje točke).

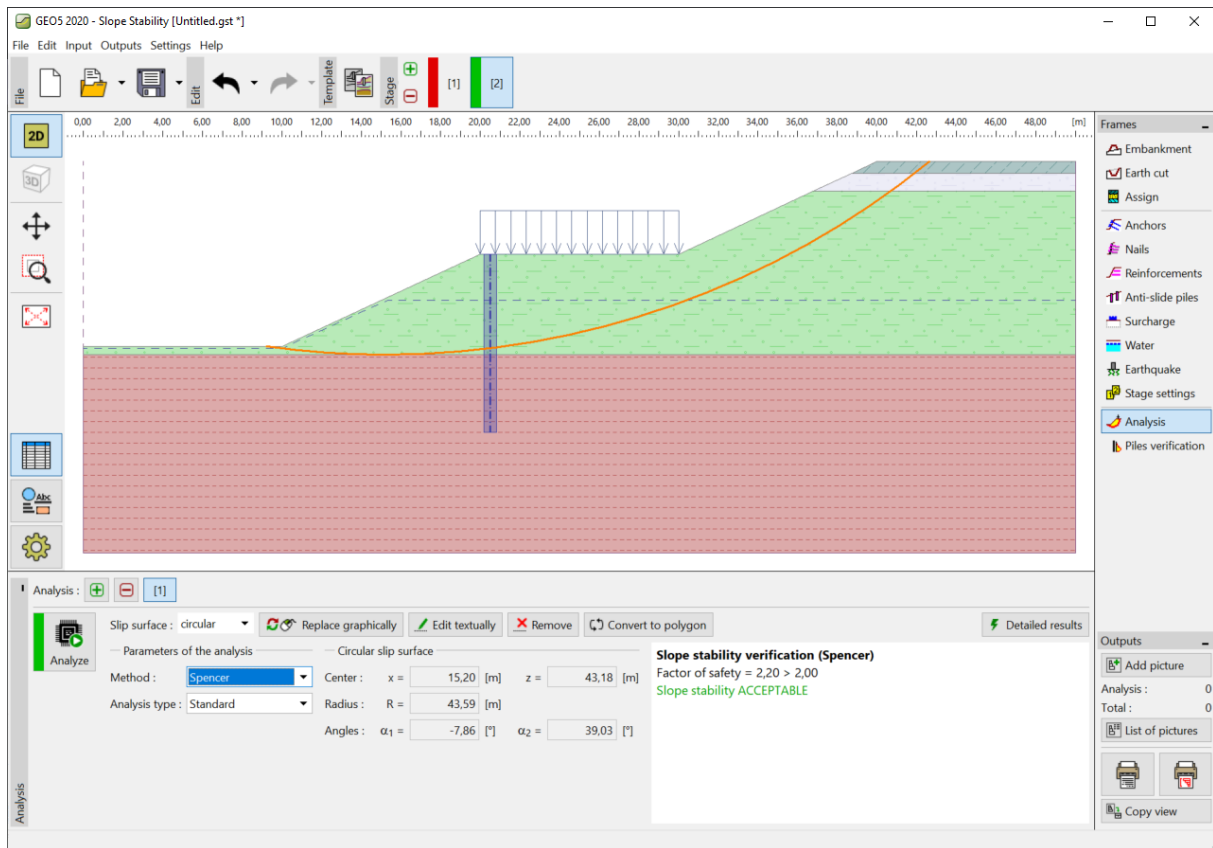


Kartica “Anti-slide piles” – dodavanje novog pilota

Napomena: Osim pozicije, razmaka i promjera svakog pilota, također moramo unijeti njihove dodatne parametre. Maksimalna nosivost pilota je sila koja djeluje protiv klizišta. Provjerit ćemo ovu vrijednost u sljedećoj procjeni u programu “Pilot u klizištima”. Nosivost može biti određena kao konstanta ili se linearno povećavati od dna pilota prema gore. Pasivna sila djeluje horizontalno na pilot ili u smjeru klizne plohe. Moguće je naći više informacija u pomoći programa (F1).

Koristimo kružne pilote promjera 0,66 m i duljine 9 m. Razmak između pilota je 1 m, a njihova pretpostavljena nosivost (V_u) je 80 kN.

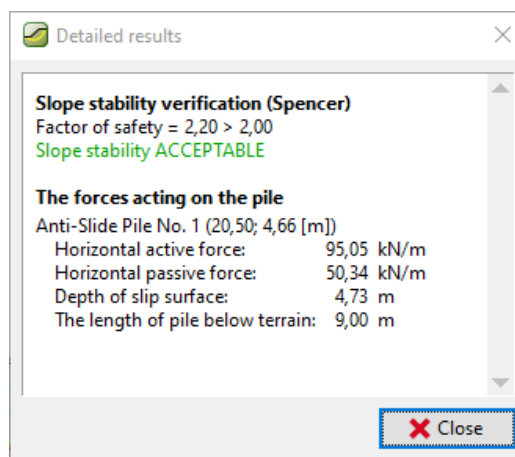
Nakon dodavanja pilota, prelazimo na karticu “Analysis”. Odabiremo “Standard” kao vrstu proračuna. U ovoj vrsti proračuna, program ne traži novu kliznu plohu, već samo proračunava faktor sigurnosti za umetnutu kliznu plohu (u našem slučaju uzetu iz prethodne faze gradnje). Ostale postavke nećemo mijenjati.



Kartica “Analysis” – utjecaj protokliznih pilota

Očito je da korištenje protokliznih pilota poboljšava stabilnost kosine, te sad zadovoljava zahtijevani faktor sigurnosti.

Nakon klika na gumb “Detailed results” vidimo dijaloški prozor s informacijama o stabilnosti kosine.



“Detailed results” – Dijaloški prozor

Napomena: Preuzimamo dubinu klizne plohe na lokaciji pilota i dobivamo dvije sile koje djeluju na pilot.

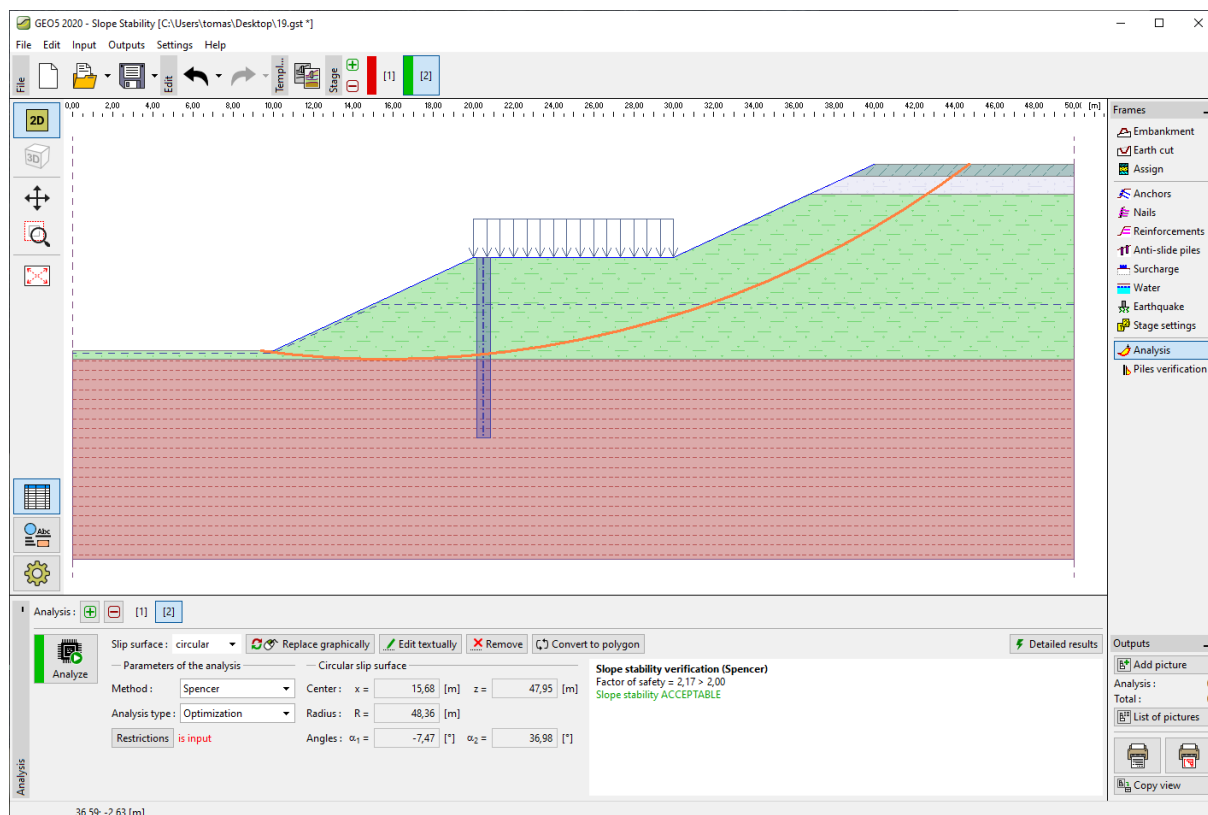
Aktivna sila djeluje na pilot s gornjeg djela kosine. Ona destabilizira kosinu.

Pasivna sila djeluje protiv klizišta i pomaže pilotima u stabilizaciji kosine. (U slučaju da je pasivna sila jednaka nuli, to znači da sve ispred pilota nije stabilno te je potrebno riješiti stabilnost tog dijela zasebno.)

Razlika između aktivne i pasivne sile je zapravo sama sila koju pilot mora prenijeti kako bi se zadovoljio zahtijevani faktor sigurnosi kosine. Jednostavnije, radi se o minimalnoj nosivosti koju pilot mora zadovoljiti.

Faktor sigurnosi uvijek ovisi o poziciji i obliku klizne plohe. Kritična klizna ploha u kosini bez pilota ima faktor sigurnosti **SF=1,8**. Ista klizna ploha u kosini s protuklitnim pilotima ima faktor sigurnosti **SF=2,20**. Također je moguće i postojanje druge klizne plohe, koja nije kritična prije postavljanja pilota, ali postaje kritičnom nakon stabilizacije. Ova klizna ploha je imala faktor sigurnosti **SF>1,8** prije instalacije pilota, a nakon stabilizacije faktor sigurnosti je **SF<2,20**.

Provjerit ćemo ovu mogućnost u sljedećim fazama proračuna koristeći optimizaciju na kosini s pilotima.



Kartica "Analysis" – optimizacija klizne plohe nakon instalacije protukliznih pilota

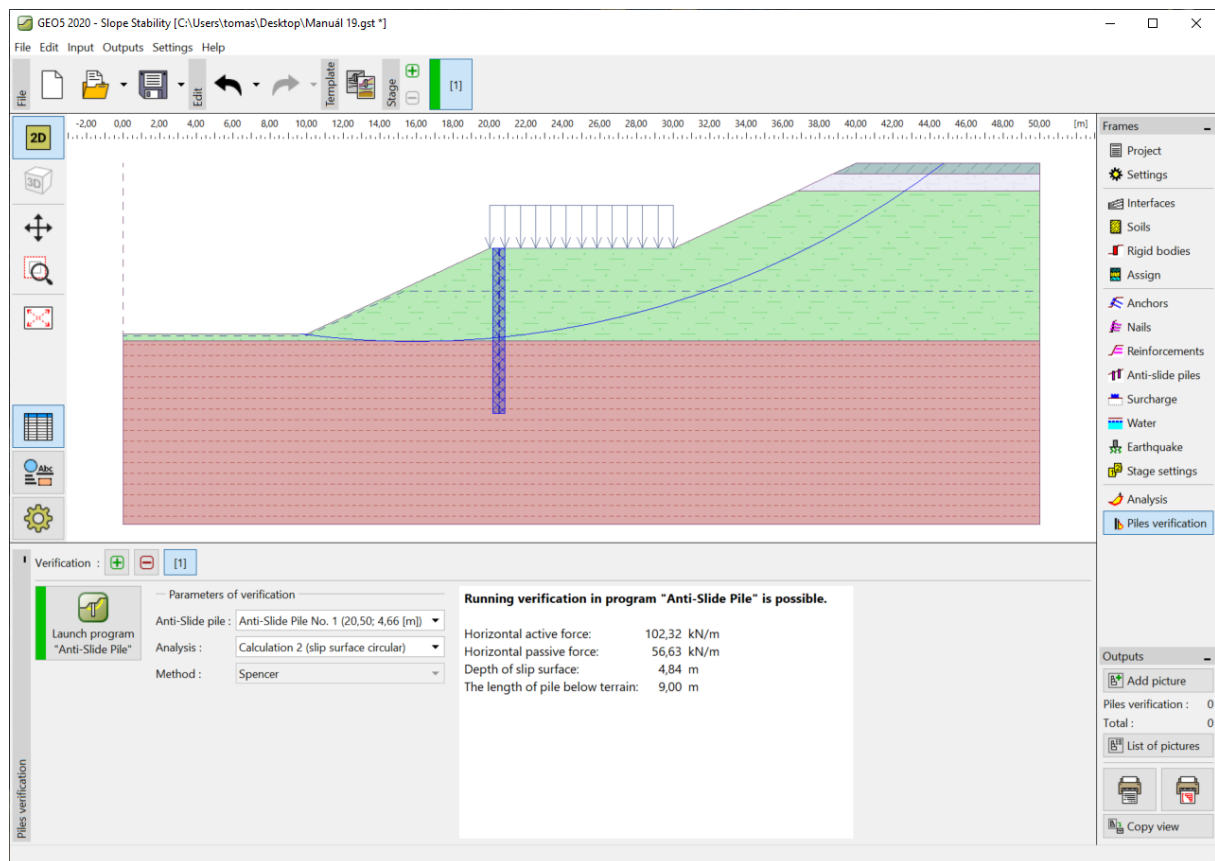
Možemo vidjeti da je stabilnost kosine prihvatljiva za zahtijevani faktor sigurnosti čak i s novom kliznom plohom. Razlika između stare i nove klizne plohe je minimalna u našem slučaju, ali to ne mora svaki puta biti tako. Uvijek je dobro provjeriti nove kritične klizne plohe čak i nakon instalacije pilota.

Stanje nakon instalacije pilota je kritično. Zbog toga koristit ćemo ga naše sljedeće dimenzioniranje i proračun pilota.

Proračun i dimenzioniranje pilota

Odabiremo proračun Br. 2 u kartici “Piles verification” i pritisnemo gumb “Launch program Anti-Slide Pile”.

Napomena: U slučaju više od jednog reda pilota, potrebno je odrediti za koji red pilota provodimo proračun.



Kartica “Piles verification”

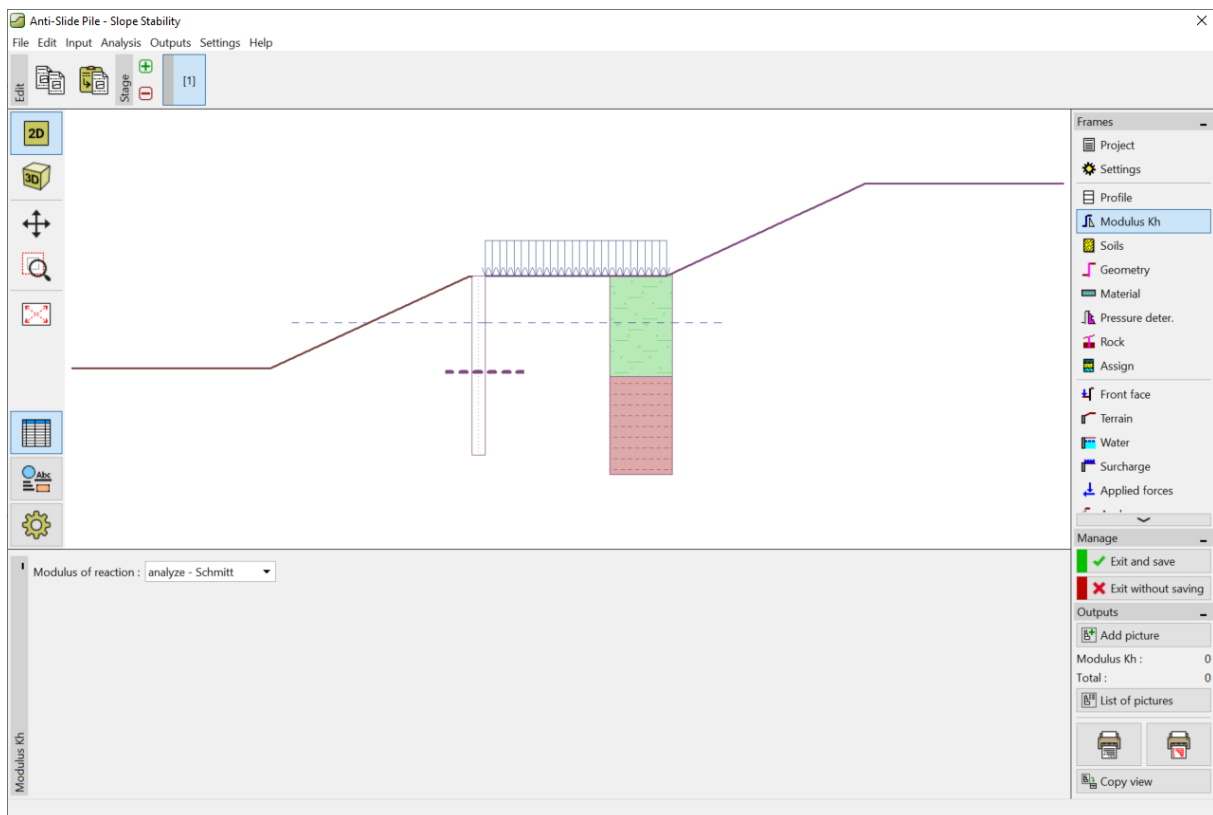
Program *Pilot u klizištima* se koristi za određivanje deformacija i unutarnjih sila pilota. Ovaj program je sličan GEO5 programu – *Provjera zagatne stijene*. Glavna razlika između ta dva programa je način na koji se određuje opterećenje na zidu od pilota. U programu *Provjera zagatne stijene*, konstrukcije je opterećenja pritiscima zemlje na cijeloj duljini pilota. U programu *Pilot u klizištima*, opterećenje je podijeljeno u dva dijela. U dijelu iznad klizne plohe pilot je opterećen na temelju razlike između aktivne i pasivne sile. Ispod klizne plohe, opterećenje je određeno prema pritiscima od zemlje.

Svi podaci i programa *Stabilnost kosina* se automatski prenose u program *Pilot u klizištima*.

Napomena: Unos osnovnih podataka u program Pilot u klizištima je jednak kao u programu Provjera zagatne stijene. Postupak je detaljno opisan u inženjerskim priručnicima (Br. 6 i Br. 7).

Napomena: Ako želimo promijeniti neko svojstvo u proračunu u programu Pilot u klizištima (metoda proračuna zamljanih pritisaka, standardi za materijale, itd.), promjene moramo napraviti u kartici "Settings" u programu Stabilnost kosina.

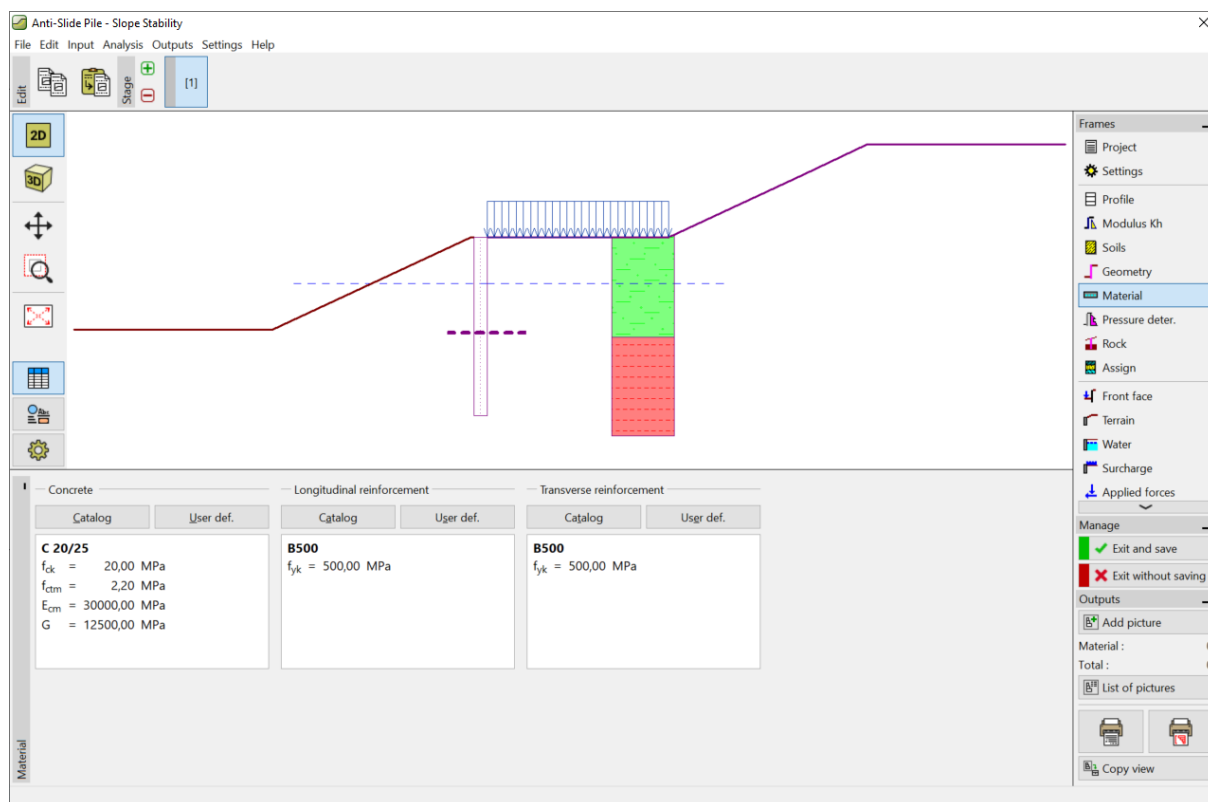
U kartici "Modulus Kh" odabiremo metodu proračuna modula reakcije. Odabiremo proračun prema Schmittu. Moguće je pronaći dodatne informacije o modulu Kh u inženjerskim priručnicima programa Provjera zagatne stijene ili u pomoći programa (F1).



Program "Pilot u klizištima" – kartica "Modulus Kh"

U kartici "Soils" moramo dodati modul deformacije i poissonov koeficijent za svako tlo prema tablici na 2. stranici. Ovi parametri su neophodni za određivanje modula Kh. Uzimamo u obzir vrijednost kuta trenja između tla i konstrukcije kao $\delta=15^\circ$ za svako tlo.

Postavljamo klasu betona i čelika u kartici “Material”. Moguće je odabrati parametre iz kataloga materijala ili ručno ih unijeti. Odabiremo beton C20/25 i B500 za klasu čelika uzdužne armature.

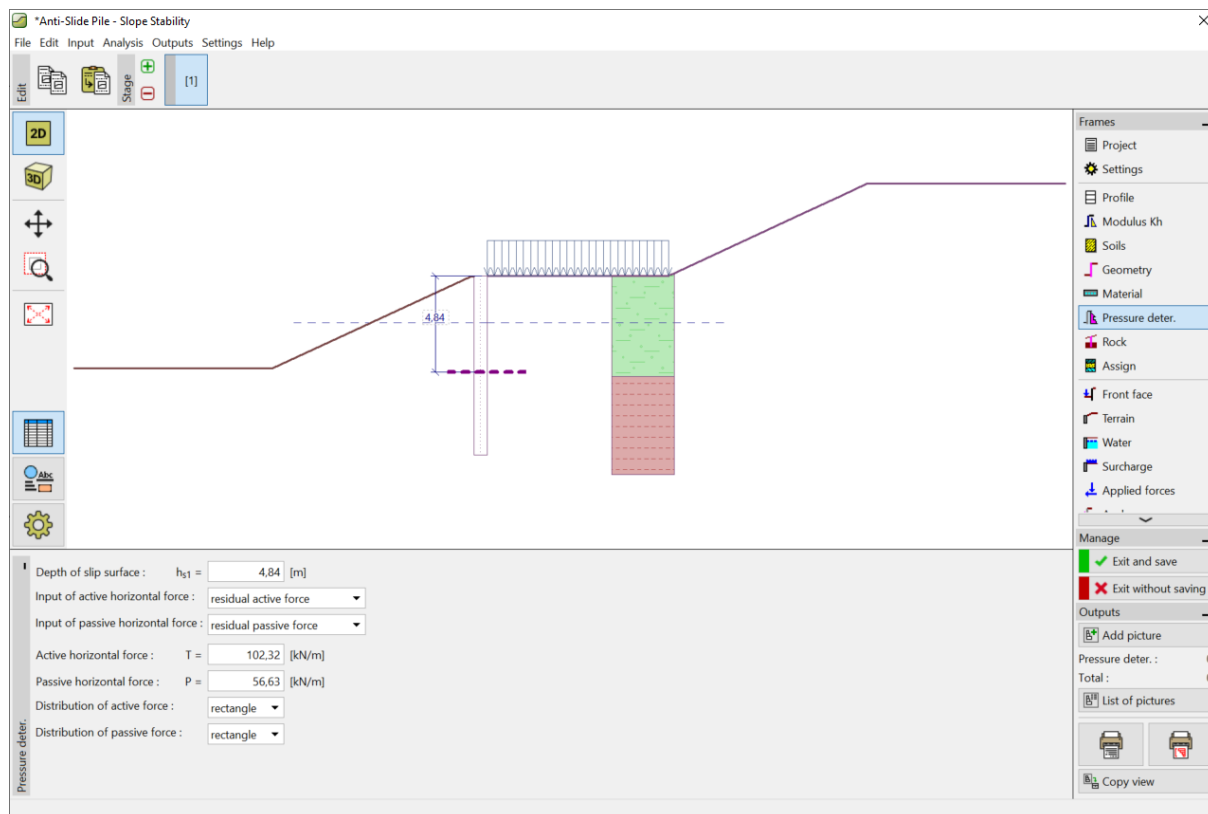


Program “Pilot u klizištima” – kartica “Material”

Sljedeća bitna kartica za nas je “Pressure determination”. U ovoj kartici ćemo pronaći automatski postavljene vrijednosti aktivnih i pasivnih sila i dubine klizne plohe. Ove podatke dobivamo iz proračuna stabilnosti kosine.

Postoje tri moguća načina raspodjele pritiska koji djeluju na pilot u dijelu iznad klizne plohe. Aktivna sila može biti distribuirana prema tri oblika (trokut, pravokutnik, trapez). Pasivna sila može biti distribuirana na isti način kao aktivna ili prema pojednostavljenoj paraboli. Distribucija pritiska je detaljno pojašnjena u GEO5 pomoći (F1).

Napomena: Obično distribucija pritiska ovisi o vrsti tla iznad klizne plohe. U našem slučaju, glavno tlo je pjeskovita glina – za fino granulirana tla preporuča se pravokutna distribucija. Distribucija pasivne sile ovisi o odluci inženjera.

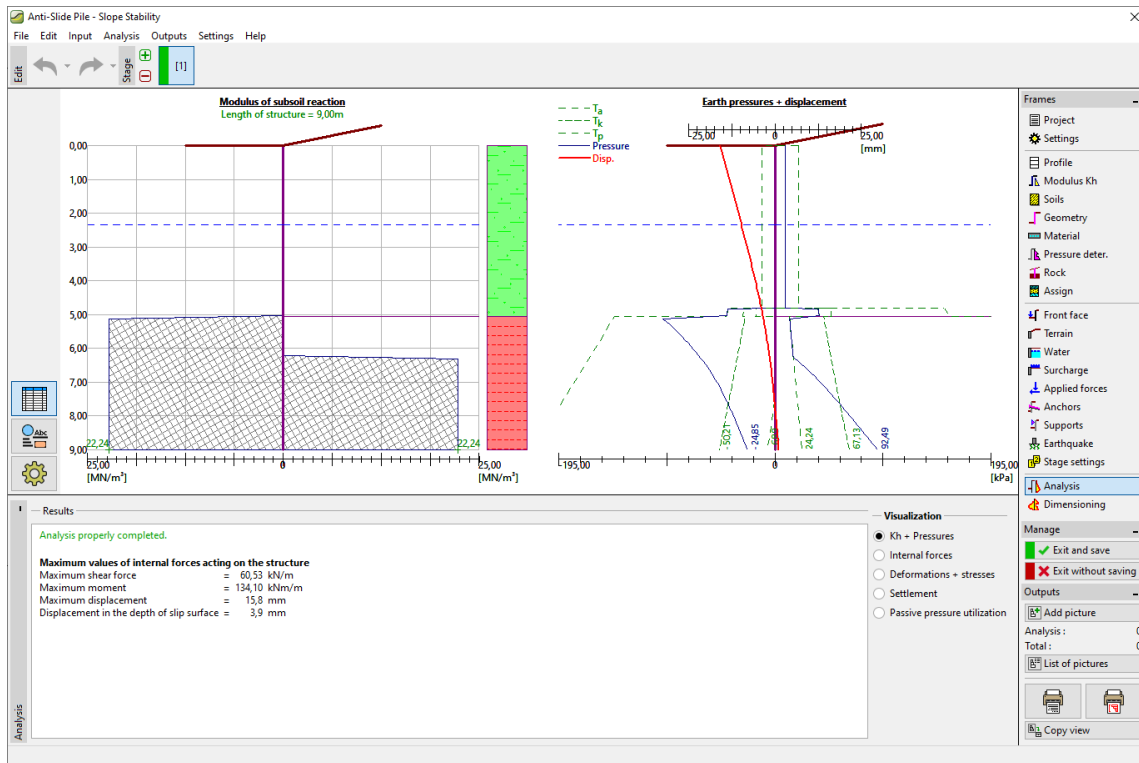


Program "Pilot u klizištima" – kartica "Pressure determination"

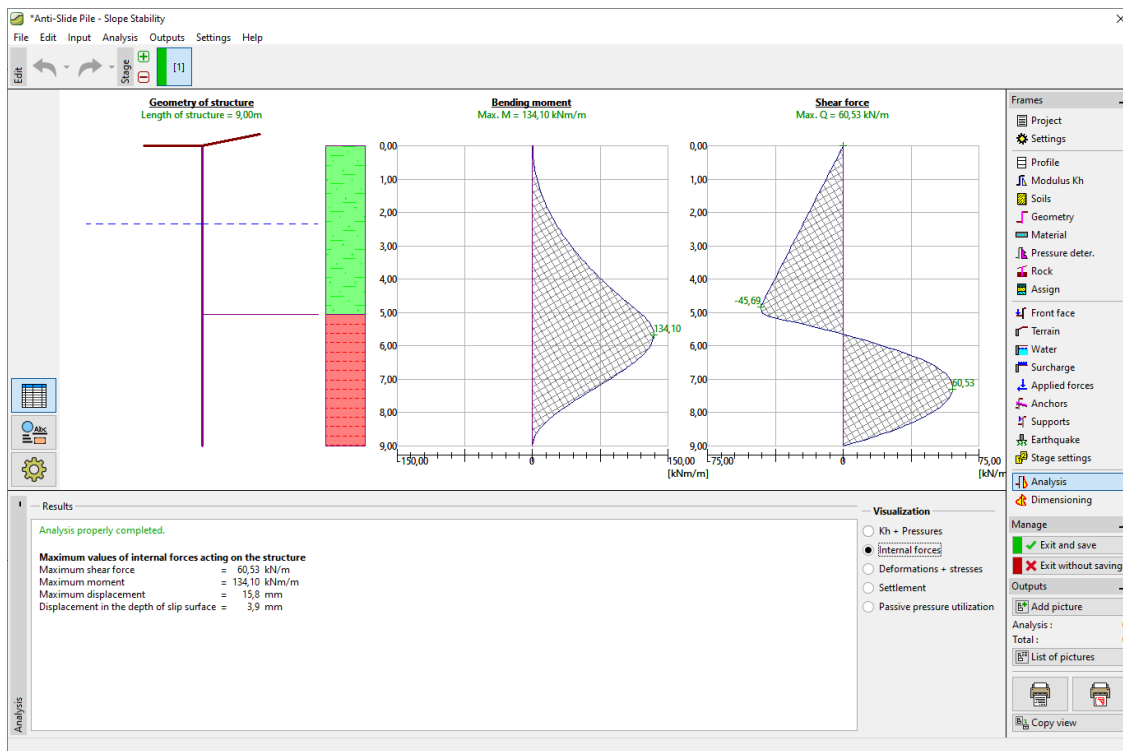
Napomena: Također je moguće ručno odrediti pritisak koji djeluje iznad klizne plohe. To će moguće koristiti kad ne želimo proračunavati opterećenje na pilot prema razlici između aktivne i pasivne sile.

Napomena: Ako smo uzeli u obzir konzolni zid u stijenskom sloju, postavili bismo ga u kartici "Rock". U ovom slučaju potrebno je unijeti duljinu pilota u stijeni i nosivost stijene. Tada se maksimalno naprezanje ne uzima kao pasivni zemljani pritisak; umjesto toga možemo dosegnuti bilo koju vrijednost. Ova vrijednost naprezanja se zatim uspoređuje s nosivosti stijene u kartici "Analysis". Ne koristimo ovu karticu u našem primjeru.

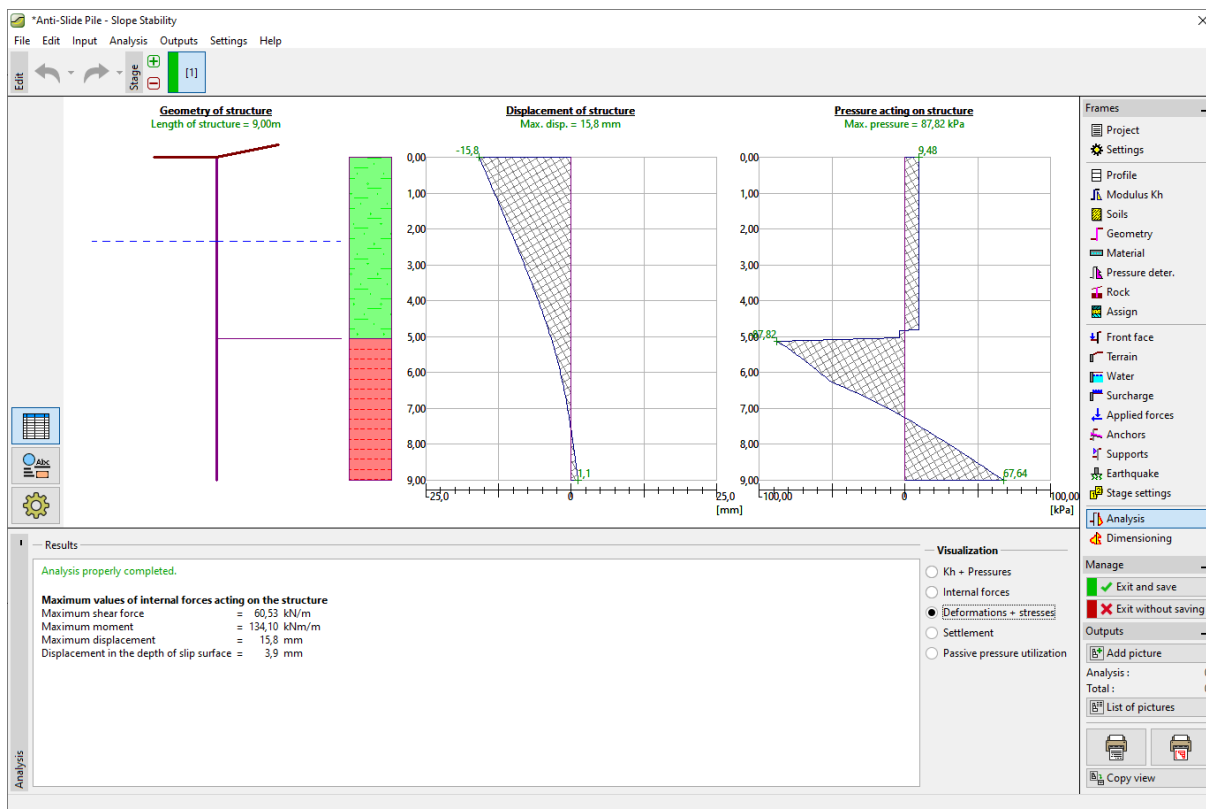
Sad idemo na karticu "Analysis".



Program "Pilot u klizištima" – kartica "Analysis" – Kh + pritisci

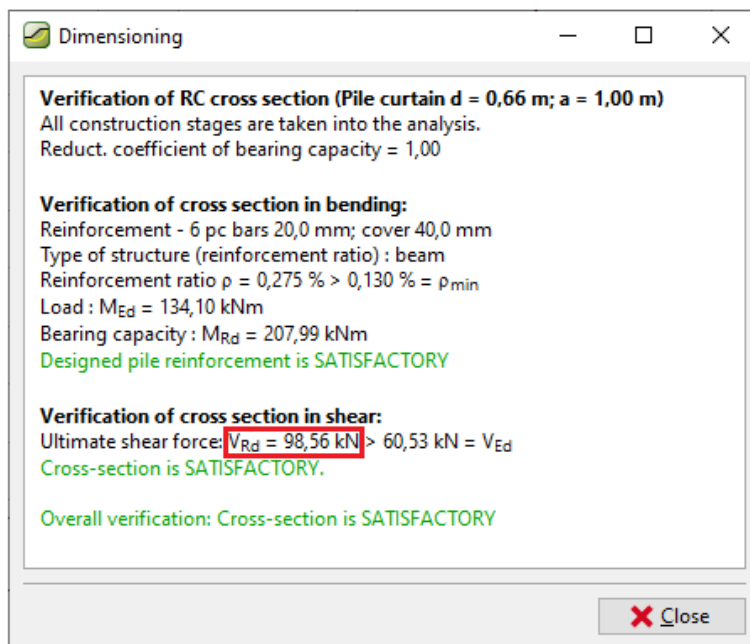


Program "Pilot u klizištima" – kartica "Analysis" – unutarnje sile



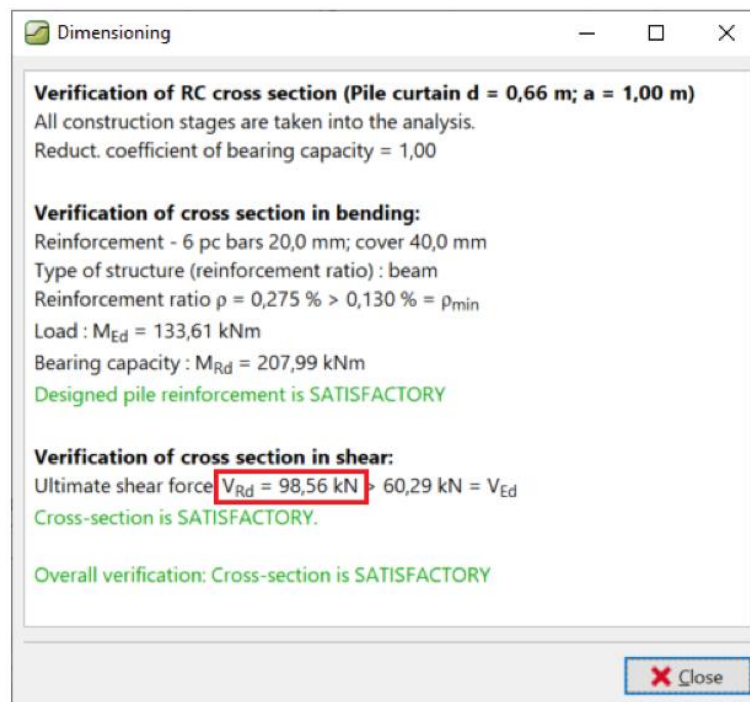
Program "Pilot u klizištima" – kartica "Analysis" – Deformacije + naprezanja

U kartici "Dimensioning" dimenzioniramo armaturu pilota.



Program "Pilot u klizištima" – kartica "Dimensioning"

Proračun našeg pilota zadovoljava sve provjere. Ako želimo znati maksimalnu nosivost pilota na posmik, možemo otvoriti dijaloški prozor “in detail”.



Program “Pilot u klizištima” – kartica “Dimensioning” – “In detail”

Uzeli smo u obzir maksimalnu nosivost pilota kao $V_u=80$ kN u programu *Stabilnost kosina*. Nakon provjere možemo vidjeti da je stvarna nosivost veća (98,56 kN). Ako želimo znati stvarni faktor sigurnosti kosine, moramo se vratiti u program *Stabilnost kosina* (koristeći tipku “Exit and save”) i promijeniti vrijednost V_u sa 80 kN na 98,56 kN.

The screenshot shows the GEO5 2020 software interface for slope stability analysis. The main window displays a cross-section of a slope with a pile. A dialog box titled "Edit pile properties" is open, showing the following parameters:

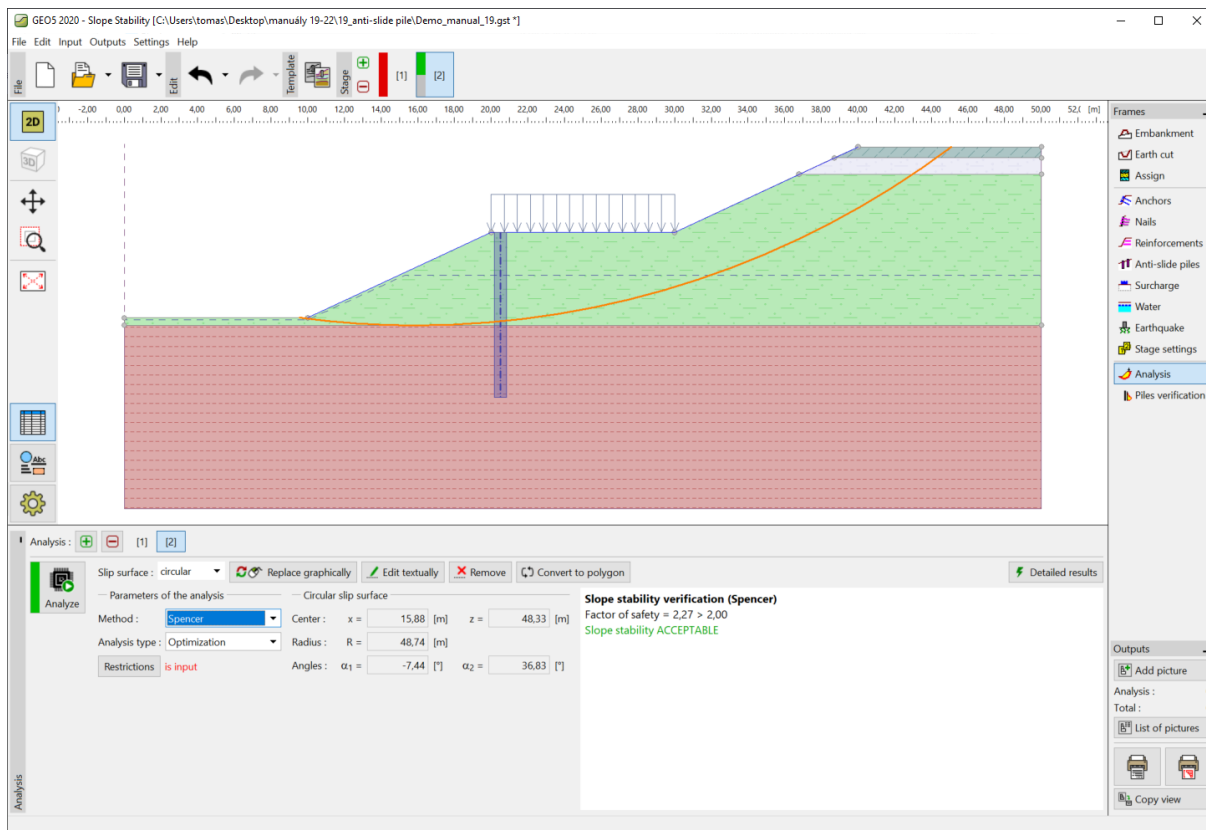
- Pile location:
 - Point: x = 20.50 [m], z = 4.66 [m]
 - Length: l = 9.00 [m]
- Locate to the terrain:
- Pile spacing: b = 1.00 [m]
- Pile cross-section:
 - Cross-section type: circular
 - Pile diameter: d = 0.66 [m]
- Pile parameters:
 - Distribution along the pile: constant
 - Max. bearing capacity: $V_u = 98.56$ [kN]
 - Passive force direction: perpendicular to pile

Below the main window, a table lists the pile properties:

No.	Anti-Slide pile	Point	Length	Pile spacing	Cross-section	Distribution along the pile	Max
	new	x [m]	z [m]	l [m]	b [m]		
1	Yes	20.50	4.66	9.00	1.00	d = 0.66 constant	

Program "Stabilnost kosina" – uređivanje parametara pilota

Sad provodimo proračun s ovom modifikacijom.



Program “Stabilnost kosina” – proračun sa stvarnom nosivosti pilota

Napomena: Oblik i pozicija kritične klizne plohe se može promijeniti u slučaju modifikacije nosivosti pilota. Vrijednosti sila koje djeluju na pilote su različite. U našem primjeru, promjene su minimalne te su sile gotovo jednake. Da su promjene veće, bilo bi potrebno provesti novi proračun u programu Pilot u klizištima.

Zaključak

Zahtijevani faktor sigurnosti kosine je bio **SF=2,0**. Poboljšali smo faktor stabilnosti kosine koristeći protuklizne pilote sa **SF=1,8** na **SF=2,27**.

Dimenzioniranje pilota zadovoljava (na posmik i savijanje), a maksimalni pomak pilota je 15,8 mm. Ova vrijednost pomaka također zadovoljava.