

Proračun horizontalne nosivosti jednog pilota

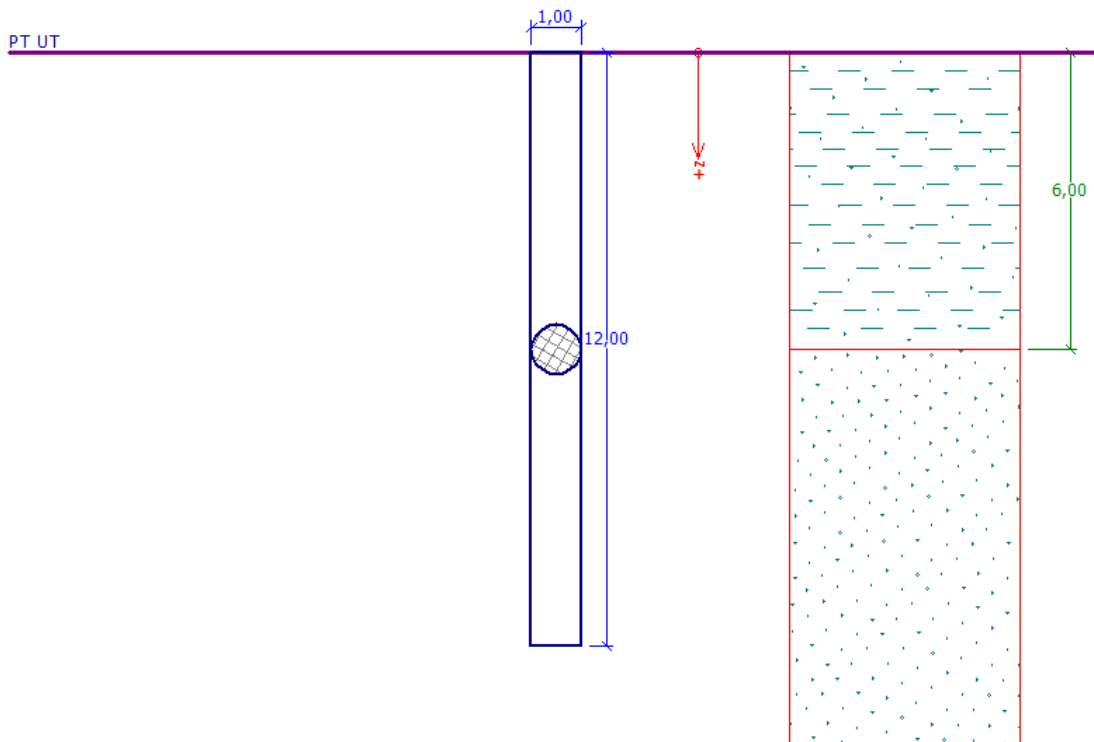
Program: Pilot

Datoteka: Demo_manual_16.gpi

Cilj ovog inženjerskog priručnika je objasniti kako koristiti GEO 5 – PILOT program za proračun horizontalne nosivosti jednog pilota.

Opis problema

Osnovni problem je detaljno opisan u prethodnom poglavlju (12. *Temeljenje na pilotima*). Provedite sve proračune za horizontalnu nosivost jednog pilota nastavno na prethodni problem predstavljen u poglavlju 13. *Proračun vertikalne nosivosti jednog pilota*. Rezultanta komponenti opterećenja $N_1, M_{y,1}, H_{x,1}$ djeluje u razini glave pilota. Proračunajte dimenzije pilota prema EN 1992-1.



Prikaz problema – jedan pilot

Rješenje

Koristit ćemo GEO 5 – PILOT program za proračun ovog problema. U tekstu ispod opisat ćemo rješenje problema korak po korak.

Bočno opterećen pilot se proračunava u Metodi konačnih elemenata kao greda koja je oslonjena na elastičnu Winkler podlogu (*Elastično tlo - p-y metoda*). Parametri tla uzduž pilota su karakterizirani modulom horizontalne reakcije tla.

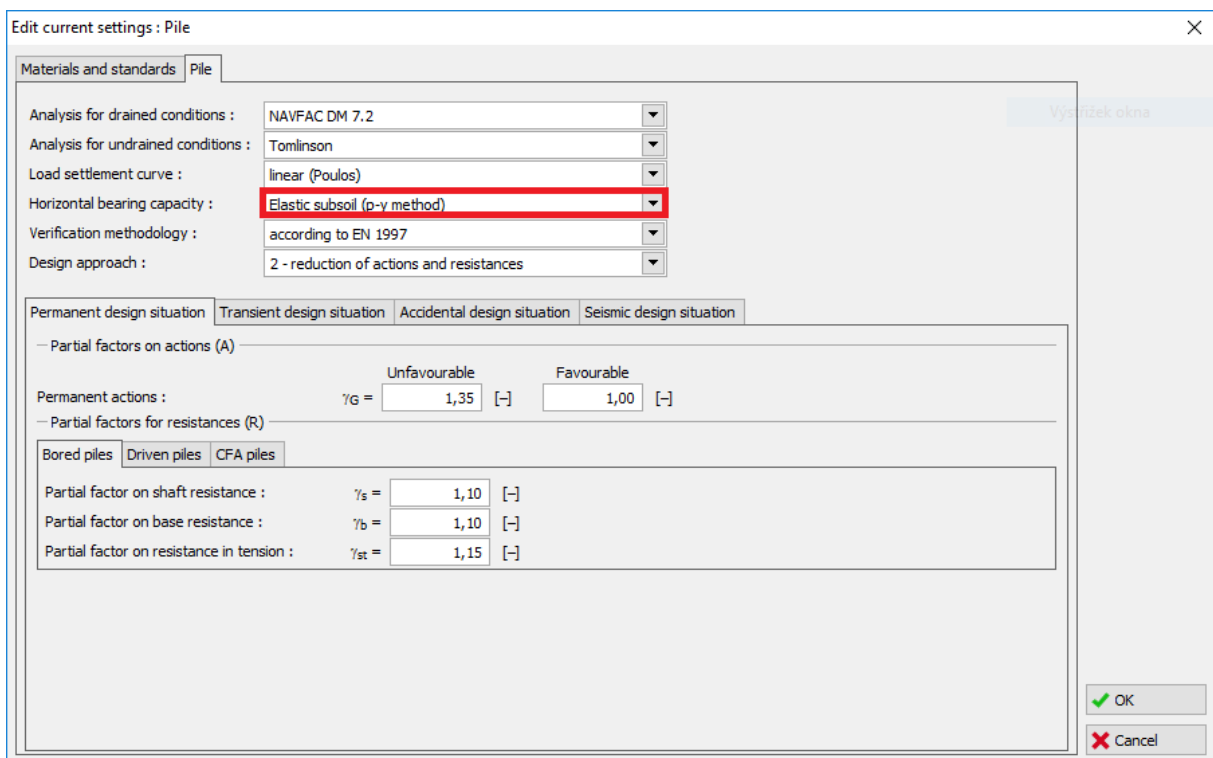
Program sadrži razne mogućnosti kako odrediti modul reakcije tla. Metode linearnog tijeka (Linear, Matlock and Reese) su pogodne za nekohezivna tla, dok metode s konstantnim tijekom (Constant, Vesic) su bolje za kohezivna tla. Metoda proračuna za modul k_h prema CSN 73 1004 kombinira oba pristupa.

U prvom dijelu ovog poglavlja, provest ćemo proračun koristeći konstantni modul reakcije tla; u drugom dijelu, usporedit ćemo razlike koje se javljaju pri korištenju drugih metoda.

Opis rješenja

U programu "Pilot" otvorite datoteku iz priručnika br. 13. Najprije idemo u karticu "Settings", kliknemo na tipku "Edit" i provjeravamo je li metoda za proračun horizontalne nosivosti postavljena kao "Elastic subsoil (p-y method)".

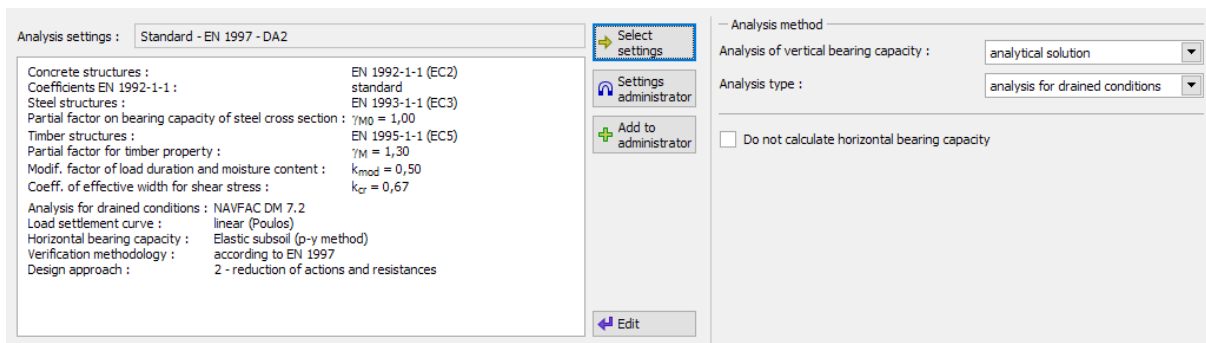
Napomena: Za proračun vertikalne nosivosti pilota u homogenom tlu, također je moguće koristiti [Bromsovu metodu](#) (za više detalja posjetite pomoć programa – F1).



"Edit current settings" dijaloški prozor

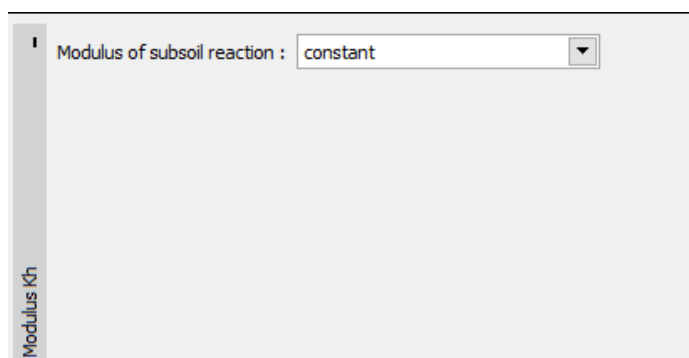
Ostale postavke proračuna kao što su vrijednosti opterećenja i geološki profil, uključujući parametre čvrstoće tla, ostaju nepromijenjene.

U kartici “Settings”, podrebno je odznačiti opciju “Do not calculate horizontal bearing capacity”.



Kartica “Settings”

Zatim idemo u karticu “Modulus Kh”, gdje odabiremo “constant” opciju.



Kartica “Modulus k_h ”

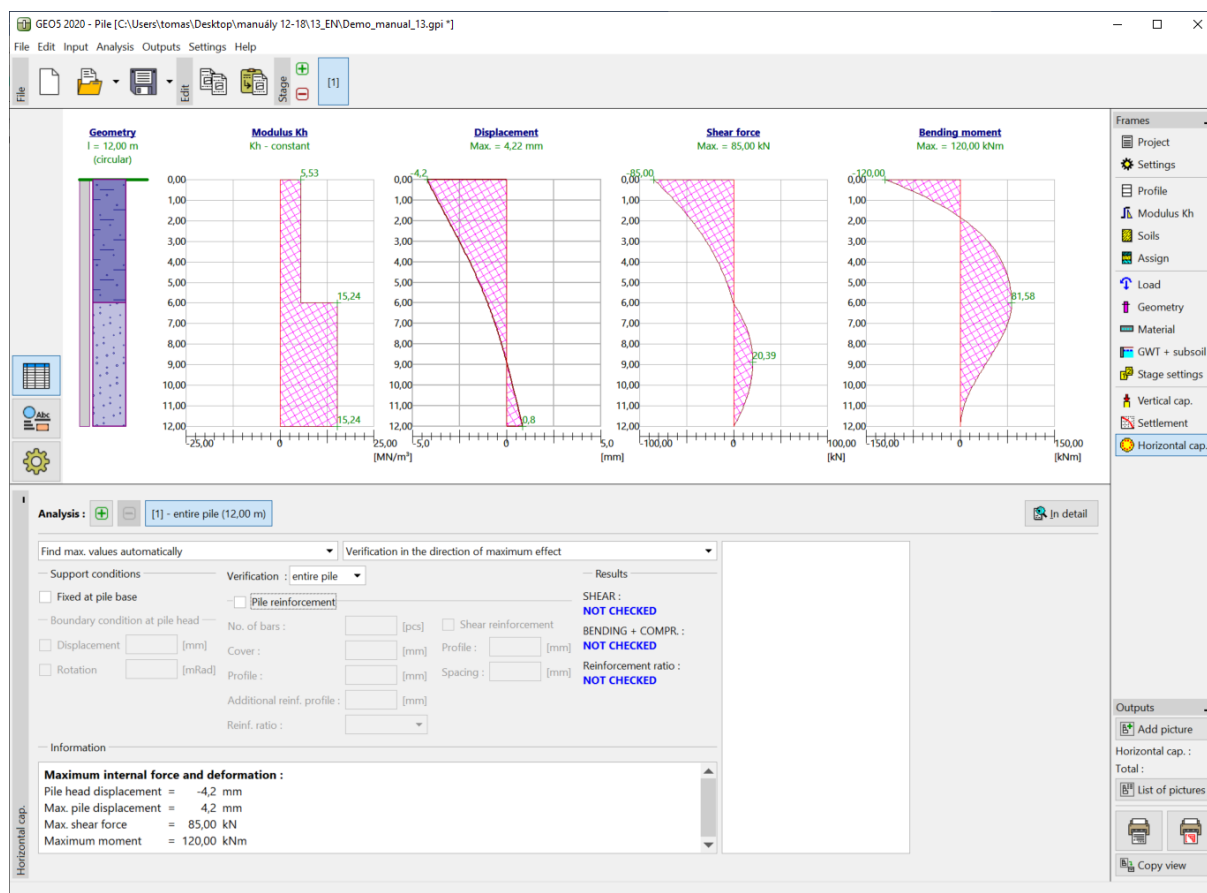
Napomena: Konstantna vrijednost modula horizontalne reakcije tla ovisi o modulu deformacije tla E_{def} [MPa] i reduciranoj širini pilota r [m] (za više informacija posjetite pomoć programa – F1).

Nastavno, u kartici “Soils”, postaviti ćemo parametre tla – vrijednost kuta disperzije β [–] u granicama $\frac{\varphi_{ef}}{4} - \varphi_{ef}$. Ovaj koeficijent je zbog toga određen relativno na kut unutarnjeg trenja tla (za više informacija posjetite pomoć programa – F1).

Tlo (Klasifikacija tla)	Jedinična težina γ [kN/m ³]	Kut unutarnjeg trenja φ_{ef} [°]	Kut disperzije β [°]	Vrsta tla
CS – Pjeskovita glina, čvrsta konzistencija	18,5	24,5	10,0	Kohezivno
S-F – Pjesak s tragovima fino granuliranog tla, srednje gusto tlo	17,5	29,5	15,0	Nekohezivno

Tablica parametara tla – Horizontalna nosivost jednog pilota

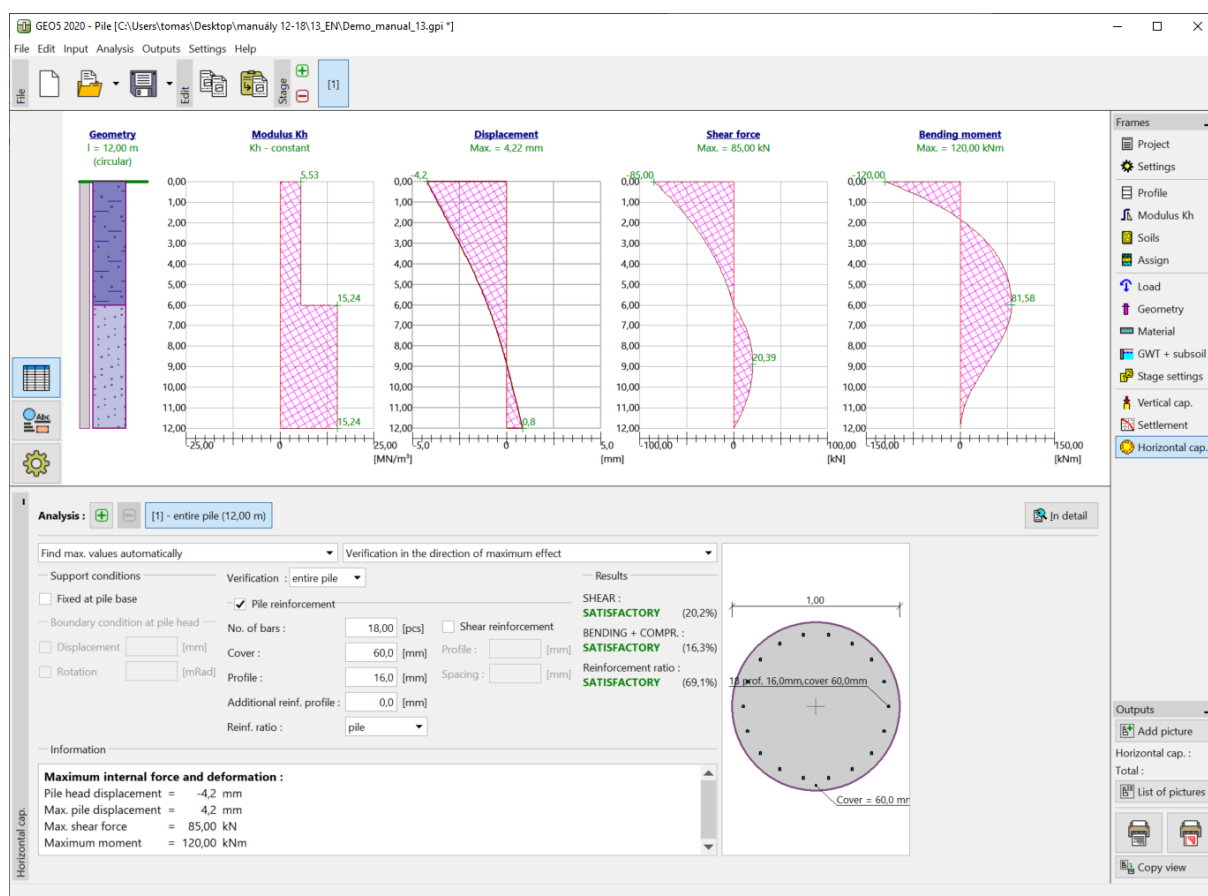
Sad prelazimo u karticu “Horizontal capacity”, gdje ćemo odrediti vrijednost maksimalne horizontalne deformacije u razini glave pilota, tijekom unutarnjih sila uzduž pilota i rezultate dimenzioniranja pilota za procjenjenu armaturu betona u smjeru maksimalnog utjecaja.



Kartica “Horizontal bearing capacity” – Procjena za konstantni tijek modula k_h

Napomena: Rubni uvjet za fiksiranje pilota u bazi se najprije modelira u slučajevima krajnje nosivim pilotima s bazama na čvrstoj stijeni ili polu-stijenskoj podlozi (što nije ovdje slučaj). Rubni uvjeti glave pilota su primijenjeni kad se koristi takozvano deformacijsko opterećenje gdje su jedino kutna rotacija i deformacija glave pilota postavljeni u programu, bez postavljanja opterećenja silom (za više informacija posjetite pomoć programa – F1).

U ovoj kartici, također ćemo provesti dimencioniranje armature pilota. Definirat ćemo longitudinalnu konstruktivnu armaturu – **18 kom Ø 16 mm** i minimalni zaštitni sloj betona **60 mm**, što odgovara klasi izloženosti XC1.



Kartica "Horizontal bearing capacity" – dimencioniranje

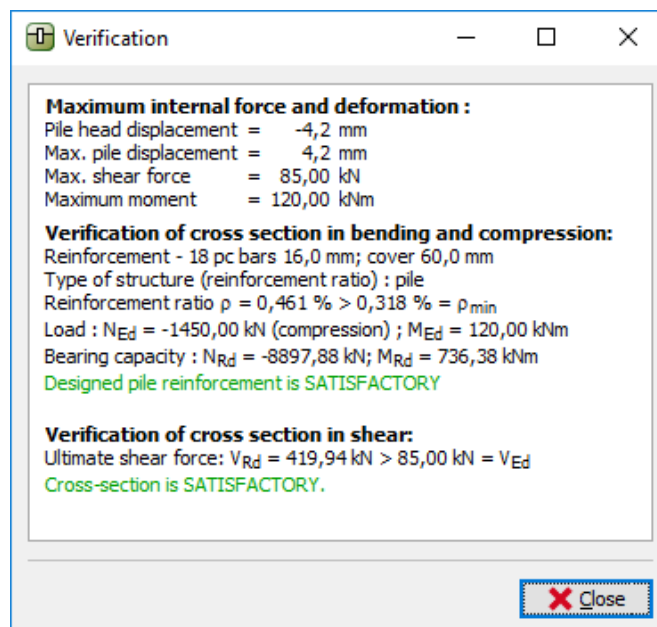
U ovom slučaju uzimamo u obzir omjer armature za bočno opterećen pilot prema CSN EN 1536: *Execution of special geotechnical works - Bored piles* (Tablica 4 – Minimum reinforcement of bored piles). Ova mogućnost je postavljena u programu odabirom opcije omjera armature “Pile”.

Površina poprečnog presjeka pilota: $A_c [m^2]$	Površina uzdužne armature: $A_s [m^2]$
$A_c \leq 0.5 m^2$	$A_s \geq 0.5 \% \cdot A_c$
$0.5 m^2 < A_c \leq 1.0 m^2$	$A_s \geq 0.0025 m^2$
$A_c > 1.0 m^2$	$A_s \geq 0.25 \% \cdot A_c$

“EN 1536: Table 4 – Minimum reinforcement of bored piles”

Napomena: U slučaju elemenata u tlaku, bolje je koristiti omjer armature kao da se radi o stupu, dok je greda bolja za pilote pod utjecajem savijanja. Za kombinaciju vertikalnog i bočnog opterećenja, CSN EN 1536 propisuje minimalni omjer armature za bušene pilote koji odgovara omjeru presječne površine armature i površine betona (za više informacija pogledajte pomoć programa – F1).

Možemo vidjeti iskoristivost poprečnog presjeka pilota pod utjecajem savijanja i uvjete za minimalni omjer armature u rezultatima dimenzioniranja (klikom na tipku “In detail”).



“Verification (detailed)” – dijaloški prozor

Rezultati proračuna

Unutar okvira procjene bočno opterećenog pilota, zanima nas tijek unutarnjih sila uzduž pilota, maksimalne defomracije i iskoristivost poprečnog presjeka pilota. Za **konstantni tijek** modula horizontalne reakcije tla, k_h vrijednosti rezultante su sljedeći:

– Maksimalna defomracija pilota:	$u_{\max} = 4.2 \text{ mm} .$	
– Maksimalna posmična sila:	$Q_{\max} = 85.0 \text{ kN} .$	
– Maksimalni moment savijanja:	$M_{\max} = 120.0 \text{ kNm} .$	
– Nosivost AB pila (savijanje + tlak):	16,3 %	ZADOVOLJAVA
– Nosivost AB pilota (posmik):	20,2 %	ZADOVOLJAVA
– Omjer armature pilota:	69,1 %	ZADOVOLJAVA

Usporedba rezultata raznih metoda proračuna modula reakcije tla

Vrijednosti i tijek modula horizontalne reakcije tla k_h će varirati ovisno o korištenoj metodi proračuna i unesenim parametrima tla koji imaju utjecaj. U svakoj metodi proračuna, drugačiji parametri tla utječu na rezultate, prema sljedećem:

- CONSTANT: kut disperzije $\beta [-]$,
- LINEAR (Bowles): kut disperzije $\beta [-]$,
Koeficijent $k [MN/m^3]$ prema vrsti tla,
- Prema CSN 73 1004: ovisno je li kohezivno ili nekohezivno tlo,
Modul horizontalne stlačivosti $n_h [MN/m^3]$,
- Prema VESIC: modul elastičnosti $E [MPa]$.

Kad se promijeni metoda proračuna modula horizontalne reakcije tla, moramo unijeti dodatne parametre tla u program (za više informacija pogledajte pomoć programa – F1) prema sljedećem:

Modul reakcije tla $k_h [MN/m^3]$	Kut disperzije $\beta [-]$	Koeficijent $k [MN/m^3]$	Modul elastičnosti $E [MPa]$	Modul horizontalne stlačivosti $n_h [MN/m^3]$
CONSTANT	10 – CS	---	---	---
	15 – S-F			
LINEAR (Bowles)	10 – CS	60 – CS	---	---
	15 – S-F	150 – S-F		
CSN 73 1004	Kohezivno tlo – CS, čvrsta konzistencija			---
	Nekohezivno tlo – S-F, srednje gustoće			4,5
VESIC	---	---	5,0 – CS	---
			15,5 – S-F	

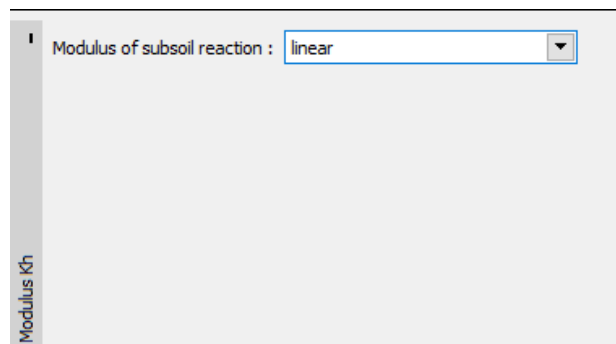
Tablica parametara tla za horizontalnu nosivost jednog pilota

Sad se vraćamo u karticu “Modulus Kh” i mijenjamo postavke. Uvije ćemo prvo promijeniti određenu metodu proračuna modula horizontalne reakcije tla, a zarim dodati sve neophodne parametre tla. Provest ćemo proceduru za sljedeće metode:

- linear (prema Bowles),
- prema CSN 73 1004,
- prema Vesic.

Linearna metoda (prema Bowles)

Najprije idemo u karticu “Modulus Kh” i mijenjamo postavke na “linear”.



Kartica “Modulus Kh”

Zatim idemo u karticu "Soils", odaberite tlo "CS – Sandy clay" i kliknite tipku "Edit". Promijenite koeficijent k na 60 MN/m^3 i kliknite na "OK".

Edit soil parameters
✕

Identification

Name:
Sandy clay (CS), firm consistency

Basic data ?

Unit weight: $\gamma =$ [kN/m³] 18,5

Poisson's ratio: $\nu =$ [-] 0,35

NAVFAC method ?

Type of soil:

Cohesion of soil: $c_u =$ [kPa] 50

Adhesion factor: $\alpha =$ [-]

Deformation characteristics ?

Settlement analysis:

Oedometric modulus: $E_{oed} =$ [MPa] 6 - 10

Uplift pressure ?

Calc. mode of uplift:

Saturated unit weight: $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

Determining modulus of subsoil reaction ?

Coefficient: $k =$ [MN/m³]

Angle of dispersion: $\beta =$ [°]

Draw

Pattern category:

Search:

Subcategory:

Pattern:

Color:

Background:

Saturation <10 - 90>: [%]

Kartica "Soils" – Uređivanje parametara tla (tlo CS)

Ponovite isti postupak za tlo "S-F – Sand with trace of fines". Ovaj puta postavite koeficijent k na 150 MN/m^3 .

Edit soil parameters
✕

Identification

Name:
Sand with trace of fines (S-F), medium dense

Basic data ?

Unit weight: $\gamma =$ [kN/m³] 17,5

Poisson's ratio: $\nu =$ [-] 0,30

NAVFAC method ?

Type of soil:

Angle of internal friction: $\phi_{ef} =$ [°] 28 - 31

Pile skin friction:

Coefficient of lateral stress:

Deformation characteristics ?

Settlement analysis:

Oedometric modulus: $E_{oed} =$ [MPa] 16 - 26

Uplift pressure ?

Calc. mode of uplift:

Saturated unit weight: $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

Determining modulus of subsoil reaction ?

Coefficient: $k =$ [MN/m³]

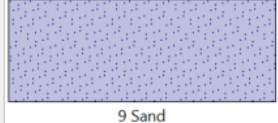
Angle of dispersion: $\beta =$ [°]

Draw

Pattern category:

Search:

Subcategory:

Pattern: 
9 Sand

Color:

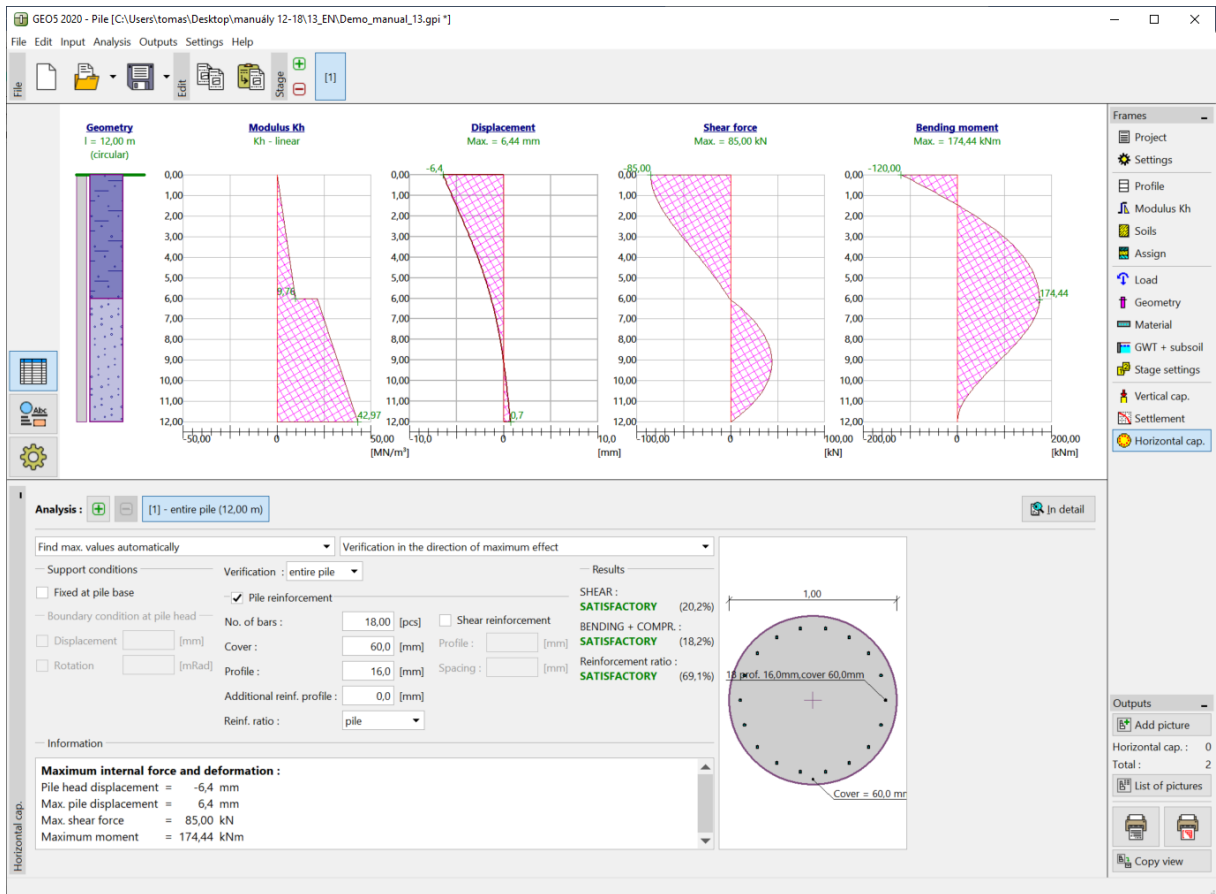
Background:

Saturation <10 - 90>: [%]

Classify
Clear
OK + ↑
OK
Cancel

Kartica "Soils" – Uređivanje parametara tla (tlo S-F)

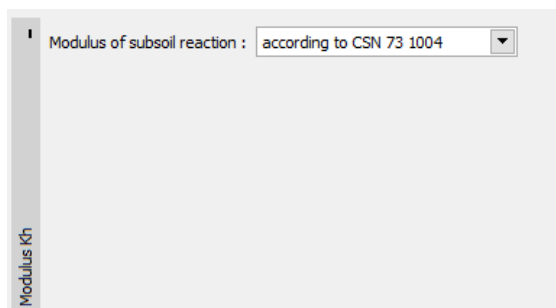
Sad idemo u karticu “Horizontal bearing capacity”, gdje možemo vidjeti rezultate proračuna.



Kartica “Horizontal bearing capacity” – *Linearni tijek modula horizontalne reakcije tla k_h , deformacije i unutarnje sile*

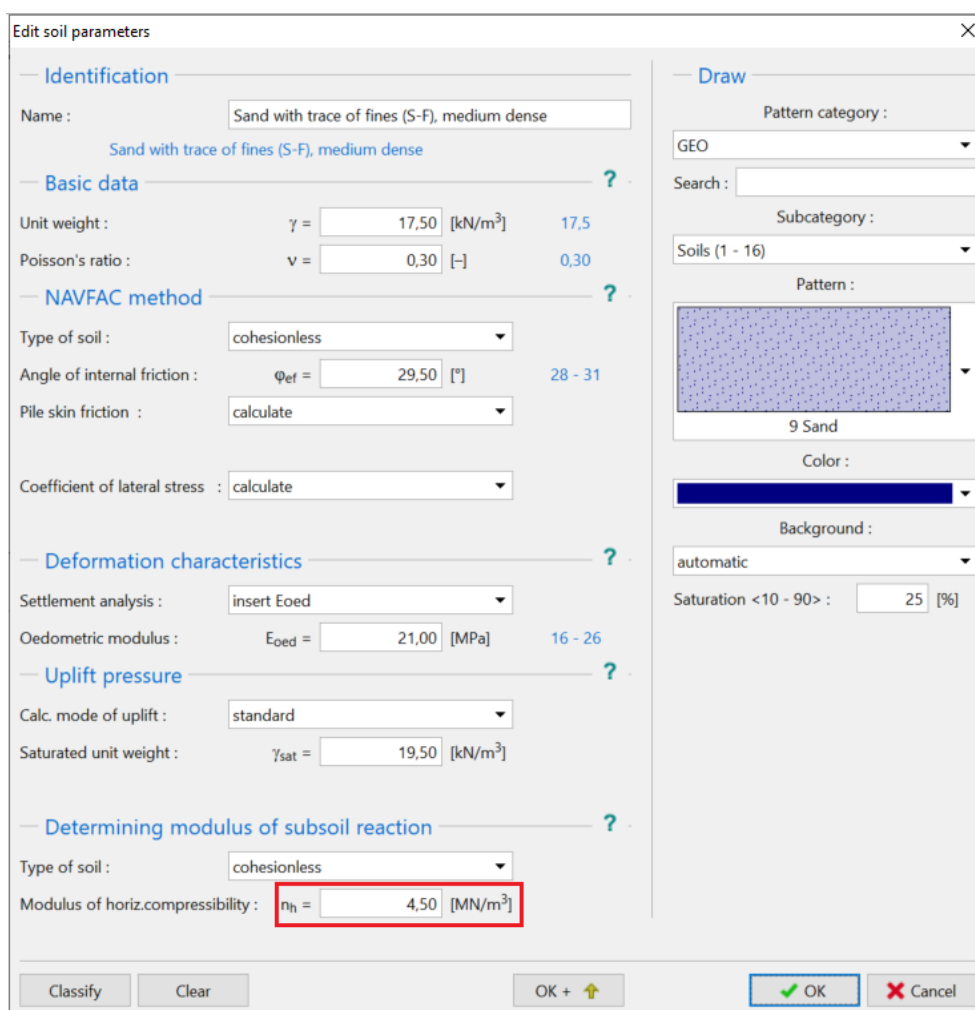
Prema CSN 73 1004

Idemo ponovno u karticu “Modulus Kh” i mijenjamo metodu na “according to CSN 73 1004”.



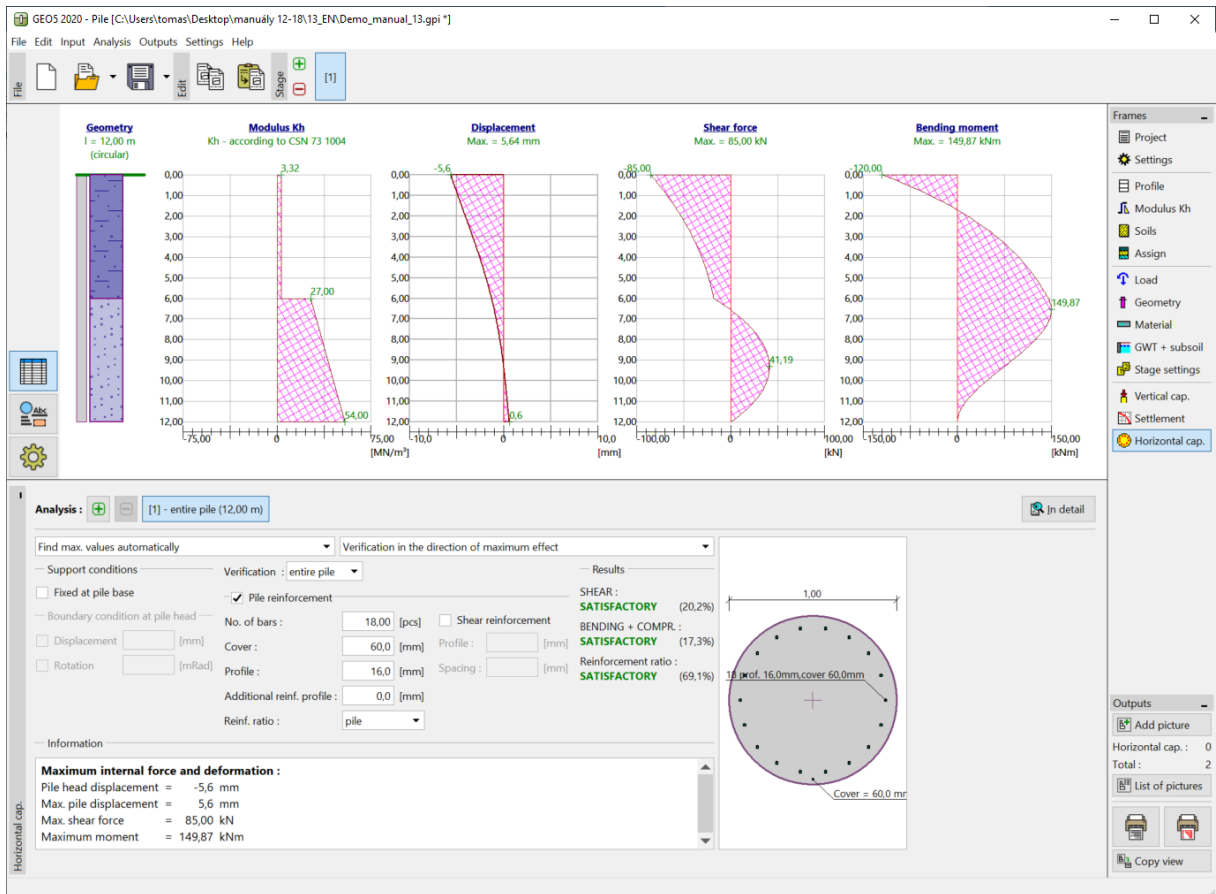
Kartica “Modulus Kh”

U kartici “Soils”, potrebno je postaviti modul horizontalne stlačivosti za nekohezivno tlo “S-F – Sand with trace of fines”. Kliknite na tipku “Edit” i postavite vrijednost modula na 4,50 MN/m³.



Kartica “Soils” – Uređivanje parametara tla (tlo S-F)

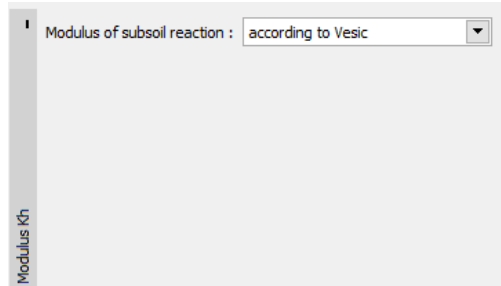
Sad možemo pročitati rezultate u kartici “Horizontal bearing capacity”.



Kartica “Horizontal bearing capacity” – Tijek modula reakcije tla k_h prema CSN 73 1004, deformacije i unutarnje sile

Prema Vesic

Ponovno idemo u karticu “Modulus Kh” i mijenjamo postavke na “according to Vesic”.



Kartica “Modulus Kh”

U kartici “Soils”, sad je potrebno postaviti modul elastičnosti E za oba tla. U ovom slučaju “CS – Sandy clay soil”, njegova vrijednost je 5 MPa.

Edit soil parameters

Identification
 Name: Sandy clay (CS), consistency firm
 Sandy clay (CS), firm consistency

Basic data
 Unit weight: $\gamma = 18,50$ [kN/m³] 18,5
 Poisson's ratio: $\nu = 0,35$ [-] 0,35

NAVFAC method
 Type of soil: cohesive
 Cohesion of soil: $c_u = 50,00$ [kPa] 50
 Adhesion factor: $\alpha = 0,60$ [-]

Deformation characteristics
 Settlement analysis: insert Eoed
 Oedometric modulus: $E_{oed} = 8,00$ [MPa] 6 - 10

Uplift pressure
 Calc. mode of uplift: standard
 Saturated unit weight: $\gamma_{sat} = 20,50$ [kN/m³]

Determining modulus of subsoil reaction
 Elastic modulus: **E = 5,00 [MPa]**

Draw
 Pattern category: GEO
 Search:
 Subcategory: Soils (1 - 16)
 Pattern: 5 Sandy clay
 Color:
 Background: automatic
 Saturation <10 - 90>: 50 [%]

Buttons: Classify, Clear, OK + ↓, OK, Cancel

Kartica “Soils” – Uređivanje parametara tla (tlo CS)

Također postavite modul za tlo "S-F – Sand with trace of fines". U ovom slučaju, vrijednost je 15,50 MPa.

Edit soil parameters
✕

Identification

Name :

Sand with trace of fines (S-F), medium dense

Basic data ?

Unit weight : $\gamma =$ [kN/m³] 17,5

Poisson's ratio : $\nu =$ [-] 0,30

NAVFAC method ?

Type of soil :

Angle of internal friction : $\phi_{ef} =$ [°] 28 - 31

Pile skin friction :

Coefficient of lateral stress :

Deformation characteristics ?

Settlement analysis :

Oedometric modulus : $E_{oed} =$ [MPa] 16 - 26

Uplift pressure ?

Calc. mode of uplift :

Saturated unit weight : $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

Determining modulus of subsoil reaction ?

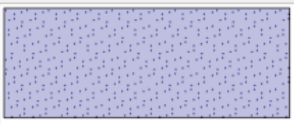
Elastic modulus : $E =$ [MPa]

Draw

Pattern category :

Search :

Subcategory :

Pattern : 

9 Sand

Color :

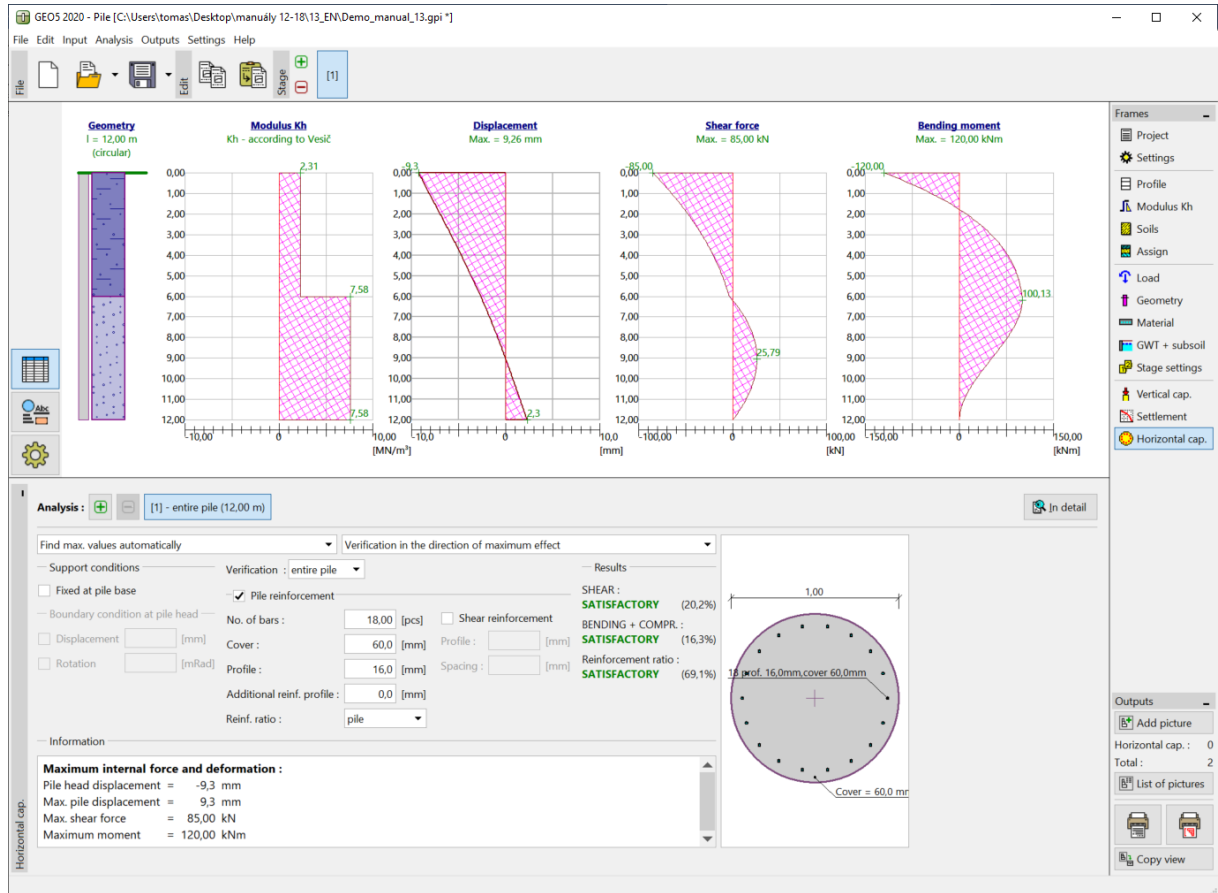
Background :

Saturation <10 - 90> : [%]

Classify
Clear
OK + ↑
OK
Cancel

Kartica "Soils" – Uređivanje parametara tla (tlo S-F)

Rezultate možemo ponovno vidjeti u kartici “Horizontal bearing capacity”.



Kartica “Horizontal bearing capacity” – Tijek modula horizontalne reakcije tla k_h prema Vesic, deformacija i unutarnje sile

Rezultati proračuna horizontalne nosivosti jednog pilota:

Rezultati proračuna horizontalne nosivosti jednog pilota u odnosu na korištenu metodu proračuna modula horizontalne reakcije tla k_h su predstavljeni u sljedećoj tablici:

Modul reakcije tla k_h [MN/m^3]	Maks. pomak pilota u_{max} [mm]	Maks. moment savijanja M_{max} [kNm]	Nosivost AB pilota [%]
CONSTANT	4.2	120.0	16.3
LINEAR (Bowles)	6.4	174.44	18.2
CSN 73 1004	5.6	149.87	17.3
VESIC	9.3	120.0	16.3

Suma rezultata – Horizontalna nosivost i dimenzioniranje jednog pilota

Zaključak

Iz rezultata proračuna možemo vidjeti da su promatrane vrijednosti unutarnjih sila uzduž pilota i maksimalne deformacije glave pilota lagano razlikuju, ali utjecaj odabrane metode za proračun modula reakcije tla nije od velikog značaja.