

## Temeljenje na pilotima – Uvod

Program: Pilot, Pilot CPT, Grupa pilota

Cilj ovog inženjerskog priručnika je objasniti praktičnu upotrebu programa za proračun temelja na pilotima u GEO 5.

GEO5 softverski pake sadrži tri programa za proračun pilota – **Pilot, Pilot CPT i Grupa Pilota**. Tekst ispod pruža detaljnije objašnjenje koji programi se koriste u kojim uvjetima – evaki individualni program dodatno je opisan u sljedećim poglavljima.

Vertikalna nosivost temelja na pilotima se određuje korištenjem raznih metoda:

- **Statičko ispitivanje pilota:** ova ispitivanja su potrebna u nekim zemljama, a proračun se smatra kao preliminarno rješenje za temelje na pilotima;
- **Proračun na temelju parametara posmične čvrstoće tla:** koristeći metode proračuna NAVFAC DM 7.2, Tomlinson, CSN 73 1002 i Efektivna naprezanja u programima PILOT i GRUPA PILOTA;
- **Proračun na temelju penetracijskih ispitivanja:** Program PILOT CPT;
- **Proračun na temelju jednadžbi regresijske krivulje dobivenih iz rezultata ispitivanjem statičkog opterećivanja** (prema Masopust-u): program PILOT; vertikalna nosivost se određuje iz krivulje opterećenja pilota za odgovarajuće (dopušteno) slijeganje (CSN 73 1002 standard određuje odgovarajuću vrijednost slijeganja  $s_{lim} = 25.0 \text{ mm}$ ).
- **Proračun na temelju Mohr-Coulomb parametara i svojstava naprezanja i deformacija tla:** koristeći takozvanu metodu opruga u programima PILOT i GRUPA PILOTA;
- **Numerički proračun koristeći metodu konačnih elemenata:** program MKE.

Kao što popis prikazuje, piloti se mogu provjeriti koristeći mnogo načina na temelju različitih parametara. Iako rezultati proračuna mogu biti identični, često se znatno razlikuju.

Velika prednost GEO5 je činjenica da korisnik može isprobati više varijanti i metoda proračuna te pronaći najtočnije ponašanje temelja na pilotima i zatim odrediti ukupnu nosivost ili slijeganje jednog ili grupe pilota.

Vertikalna nosivost temelja na pilotima se provjerava u GEO5 programima samo za vertikalnu normalnu silu koja djeluje na temelj (s jednom iznimkom: Grupa pilota – metoda opruga). Horizontalne sile koje djeluju na temelje, savijanje i momenti torzije nemaju utjecaj na proračun vertikalne nosivosti pilota.

Proračun vertikalne nosivosti jednog pilota u GEO5 – Pilot je predstavljen u Poglavljima 13 i 14, a proračun istog pilota na temelju CPT ipitivanja je opisan u Poglavlju 15.

#### Horizontalna nosivost temelja na pilotima:

Rezultat proračuna horizontalno opterećenog pilota je horizontalna deformacija pilota i krivulja unutanjih sila uzduž plašta pilota.

U slučaju samo jednog pilota, njegova horizontalna deformacija i armatura ovise o proračunatom modulu horizontalne reakcije tla i opterećenje bočnom silom ili momentom savijanja. Procedura proračuna je objašnjena u Poglavlju 16. Procedura proračuna za grupu pilota je predstavljena u Poglavlju 18.

#### Slijeganje temelja na pilotima:

Stvarna nosivost pilota je direktno povezana s njegovim slijeganjem zbog činjenice da virtualno svaki pilot sliježe pod danim opterećenjem te se vertikalno deformira.

Slijeganje samostalnih pilota se određuje u programu PILOT koristeći sljedeće metode:

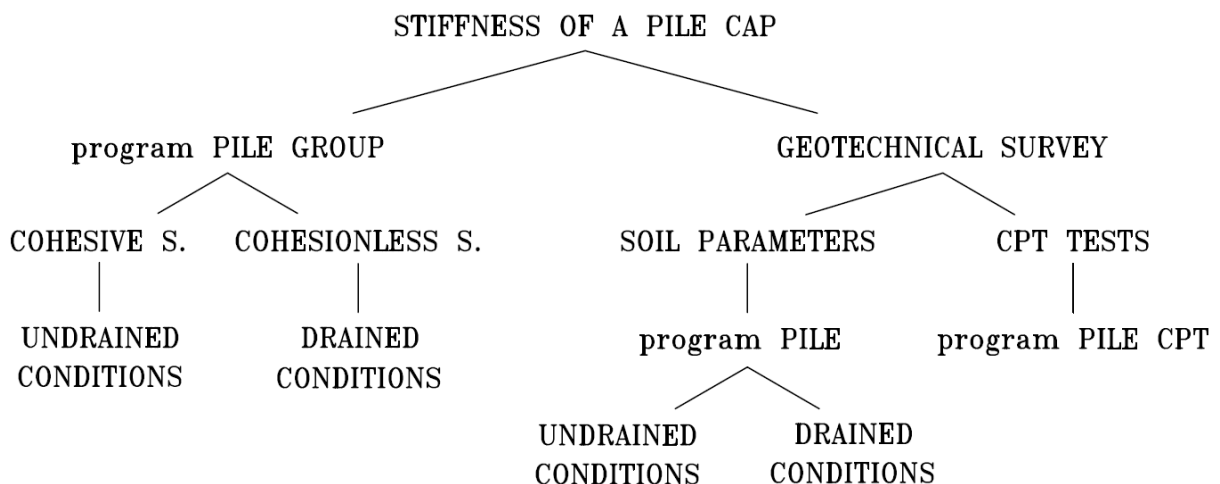
- **prema Masopust-u** (nelinearno): program proračunava slijeganje pojedinačnih pilota na temelju koeficijenata regresije uzduž plašta i ispod baze pilota.
- **prema Poulos-u** (linearno): program proračunava vrijednost ukupnog slijeganja na temelju određene nosivosti baze pilota  $R_b$  i nosivosti plašta pilota  $R_s$ .
- **Na temelju metode opruga**: program analizira krivulju opterećenja na temelju danih parametara tla koristeći metodu konačnih elemenata.

Program PILOT stvara krivulju opterećenja (takozvani radni dijagram) za sve metode.

Slijeganje grupe pilota opisano je u Poglavlju 17, a slijeganje pilota na temelju CPT penetracijskog ispitivanja je predstavljeno u Poglavlju 15.

## Izbor programa

1. **Izbor** na temelju krutosti ploče baze (naglavne ploče pilota). U slučaju kad se naglavna ploča smatra apsolutno krutom, koristi se rješenje Grupa Pilota. U ostalim slučajevima, istražuju se pojedinačni piloti.
2. **Izbor** na temelju geoloških ispitivanja. Ako su dostupni rezultati CPT ispitivanja, tada se koristi Pilot CPT program za proračun pojedinačnih pilota ili grupe pilota (vidi Poglavlje 15). U ostalim slučajevima, program Pilot (ili Grupa pilota) se koristi za rješenje, na temelju danih parametara tla.



Na temelju **vrste proračuna** razlikujemo:

- **Proračun za drenirane uvjete:** efektivni parametri posmične čvrstoće tla  $\varphi_{ef}$ ,  $c_{ef}$  se koriste u programima Pilot i Grupa pilota kao standard za metode proračuna CSN 73 1002 i efektivna naprezanja;
- **Proračun za nedrenirane uvjete:** samo vrijednost ukupne kohezije tla  $c_u$  je postavljena u programima Pilot i Grupa pilota. Vertikalna nosivost pojedinačnih pilota se određuje prema Tomlinson-u, dok je grupa pilota proračunata kao nosivost cilindra tla (blok) prema FHWA.

NAVFAC DM 7.2 metoda kombinira obje prethodno spomenute procedure proračuna. Moguće je odabrati sudjeluje li svaki sloj tla kao dreniran (bez kohezije) ili nedreniran (kohezivan).

### Osnovne odredbe zadatka:

Proračunajte vertikalnu nosivost i slijeganje temelja na pilotima (vidi shemu ispod) u postavljenom geološkom profilu; dalje, odredite horizontalne deformacije pilota i predložite armaturu za individualne pilote. Temelji na pilotima se sastoje od četiri bušena pilota promjera  $d = 1.0 \text{ m}$  i duljine  $l = 12.0 \text{ m}$ . Rezultantna sila ukupnog opterećenja  $N, M_y, H_x$  djeluje na razini gornje površine temeljne ploče (naglavna ploča) u središtu ploče. Koristi se klasa betona C 20/25 za pilote.

### Opterećenje koje djeluje na pilote

Da pojednostavimo problem, uvijek ćemo uzeti u obzir samo jedan slučaj opterećenja u programu.

Određivanje opterećenja koja djeluju na temelj na pilotima je drugačije ovisno o vrsti konstrukcije i načinu rješavanja, tj. radi li se o jednom pilotu ili grupi pilota.

### Grupa pilota

Pretpostavljamo da je ploča koja spaja pilote kruta. U našem slučaju uzet ćemo da je naglavna ploča pilota debljine  $t = 1.0 \text{ m}$ . U ovom slučaju određujemo ukupnu reakciju u središtu naglavne ploče.

*Napomena: Jednostavna metoda za dobivanje opterećenja grupe pilota koristeći bilo koji statički program spomenut u pomoći programa za program Grupa pilota "["Određivanje opterećenja na grupu pilota"](#)".*

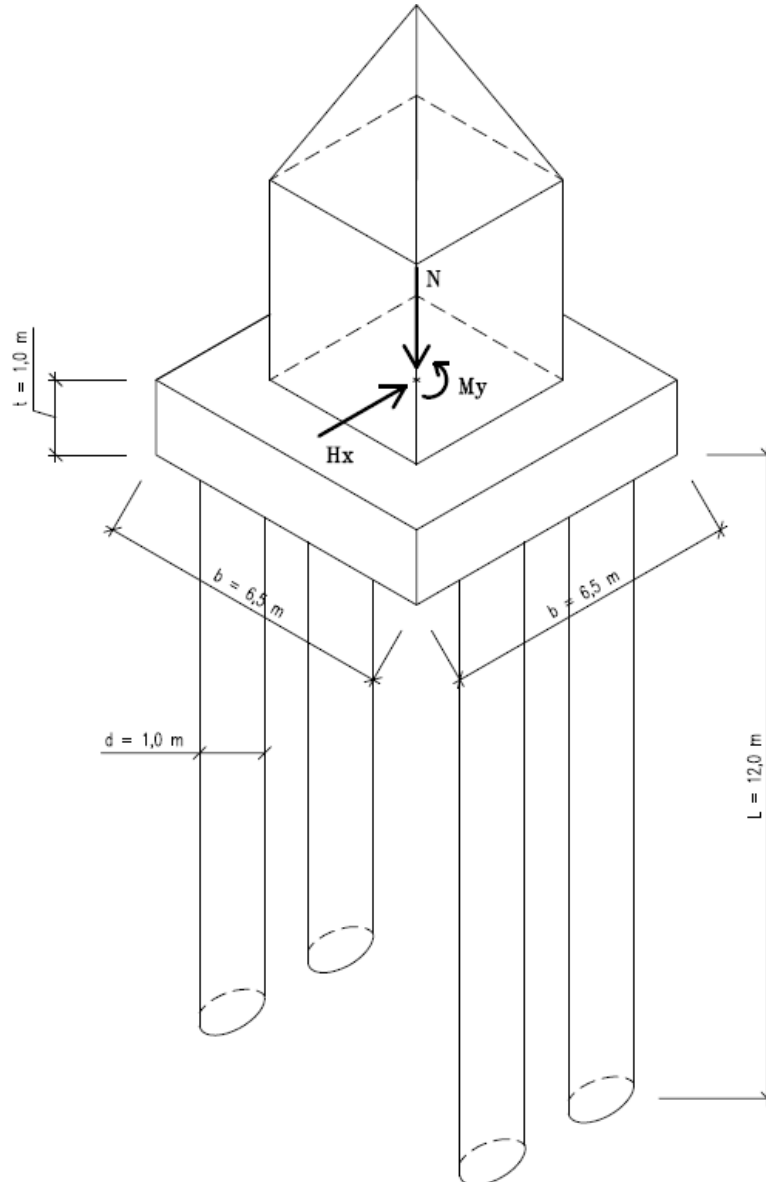
#### a) Proračunska opterećenja:

- Vertikalna normalna sila:  $N = 5680 \text{ kN}$ ,
- Moment savijanja:  $M_y = 480 \text{ kNm}$ ,
- Horizontalna sila  $H_x = 310 \text{ kN}$ .

#### b) Nanesena (radna) opterećenja:

- Vertikalna normalna sila:  $N = 4000 \text{ kN}$ ,

- Moment savijanja:  $M_y = 320 \text{ kNm}$ ,
- Horizontalna sila:  $H_x = 240 \text{ kN}$ .



*Shema problema – temelj na pilotima*

## Pojedinačni piloti

Ako ploča nije kruta u savijanju ili je zgrada temeljena na naglavnim pločama pilota, konstrukcijska dijafragma je drugačija, te ćemo preuzeti reakcije na glavama pojedinačnih pilota is programa za statički proračun (npr. GEO 5 – Ploča, FIN 3D, SCIA Engineer, Dlubal RStab, itd.).

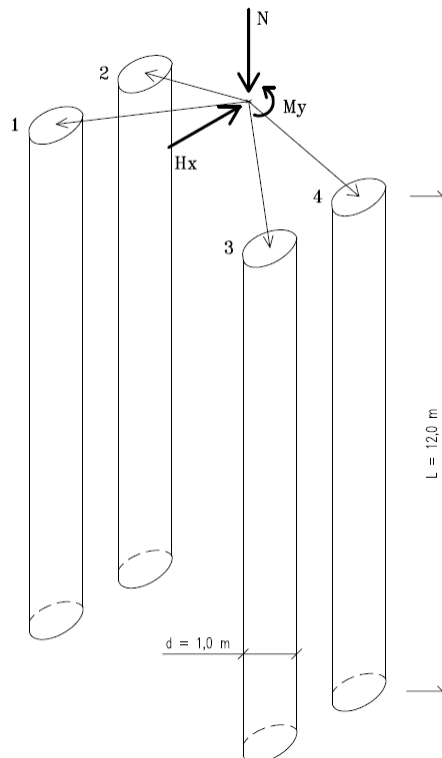
U ovom primjeru, provest ćemo proračun pilota koristeći samo jedan slučaj opterećenja za pojednostavljenje.

**a) Proračunsko opterećenje:**

- Vertikalna normalna sila:  $N_1 = 1450 \text{ kN}$ ,
- Moment savijanja:  $M_{y,1} = 120 \text{ kNm}$ ,
- Horizontalna sila:  $H_{x,1} = 85 \text{ kN}$ .

**b) Uporabno opterećenje:**

- Vertikalna normalna sila:  $N_1 = 1015 \text{ kN}$ ,
- Moment savijanja:  $M_{y,1} = 80 \text{ kNm}$ ,
- Horizontalna sila:  $H_{x,1} = 60 \text{ kN}$ .



*Shema djelovanja opterećenja – distribucija opterećenja uzduž individualnih pilota*

*Napomena: Ako pretpostavimo identične dimenzije i armaturu pilota, možemo pristupiti svim pilotima kao jednom pilotu s kombinacijama opterećenja koje djeluju na sve pilote.*

## Geološki profil

- 0,0 do 6,0 m: Pjeskovita glina (CS, čvrsta konzistencija),
- iznad 6,0 m: Pijesak s tragovima fine granulacije (S-F, srednje gusto tlo).

*Napomena: Osnovni parametri tla su jednaki kad provodimo proračun jednog pilota ili grupe pilota. Njihove vrijednosti su dane u tablici ispod.*

Parametri tla / Klasifikacija	Pjeskovita glina (CS) čvrsta konzistencija	Pijesak s tragovima fine granulacije (S-F) srednje gusto tlo
Jedinična težina $\gamma$ [ $kN/m^3$ ]	18,5	17,5
Jedinična težina satur. tla $\gamma_{sat}$ [ $kN/m^3$ ]	20,5	19,5
Kohezija tla $c_{ef} / c_u$ [ $kPa$ ]	14,0 / 50,0	0 / 0
Kut unutarnjeg trenja $\varphi_{ef}$ [ $^\circ$ ]	24,5	29,5
Faktor adhezije $\alpha$ [-]	0,6	–
Koeficijent nosivosti $\beta_p$ [-]	0,3	0,45
Poissonov omjer $\nu$ [-]	0,35	0,3
Edometarski modul $E_{oed}$ [ $MPa$ ]	8,0	21,0
Modul deformacije $E_{def}$ [ $MPa$ ]	5,0	15,5
Vrsta tla	Glina (kohezivno tlo)	Pijesak, šljunak (tlo bez kohezije)
Kut disperzije $\beta$ [-]	10,0	15,0
Koeficijent $k$ [ $MN/m^3$ ]	60,0	150,0
Modul horizont. komp. $n_h$ [ $MN/m^3$ ]	–	4,5
Modul elastičnosti $E$ [ $MPa$ ]	5,0	15,5

*Tablica parametara tla – temeljenje na pilotima (sažetak)*

Popis poglavlja koja se odnose na temeljenje na pilotima:

- *Poglavlje 12:* Temeljenje na pilotima - Uvod
- *Poglavlje 13:* Proračun vertikalne nosivosti jednog pilota
- *Poglavlje 14:* Proračun slijeganja jednog pilota
- *Poglavlje 15:* Proračun pilota na temelju CPT ispitivanja
- *Poglavlje 16:* Proračun horizontalne nosivosti jednog pilota
- *Poglavlje 17:* Proračun vertikalne nosivosti i slijeganja grupe pilota
- *Poglavlje 18:* Proračun deformacija i dimenzioniranje grupe pilota
- *poglavlje 36:* Provjera temelja na mikropilotima