

DETERMINATION OF PILES BEARING CAPACITY BY CORRELATION WITH
SPT AND CPT RESULTS

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА ПИЛОТИ
ЧРЕЗ КОРЕЛАЦИЯ ОТ SPT И CPT

Andrey Totsev

Assoc. Prof., UACEG

Андрей Тоцев

доцент, УАСГ

Abstract:

The bearing capacity of piles depends on many factors and parameters. Deep foundations are responsible and expensive and the accurately determination of the load-bearing capacity, and hence the number and size of piles, is essential. There are various methods in the scientific literature to determine the bearing capacity of a pile. In this article, some methods based on field soil tests (SPT and CPT) are summarized.

Keywords: pile, bearing capacity, SPT, CPT

Резюме:

Върху носещата способност на пилоти влияят множество фактори и параметри. Дълбокото фундиране е отговорно и с висока себестойност, поради което точното определяне на носещата способност, а оттам и на броя и размерите на пилотите е от съществено значение. В специализираната литература съществуват различни подходи за определяне на носещата способност на пилот. В настоящата статия са събрани и систематизирани някои методи, базирани на полеви изпитвания на почвата (SPT и CPT).

Ключови думи: пилоти, носеща способност, SPT, CPT

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Носещата способност е основен геотехнически показател за пилотите и почвената среда. Всички подходи и свързаните с тях формули за определяне на носещата способност се изграждат върху два основни показателя на съпротивлението на почвата върху пилота при стремеж за навлизане в нея. Това са върховото съпротивление q_b и страничното триене q_s . В специализираната геотехническа литература съществуват различни подходи за определяне на носещата способност на пилоти (чрез таблици, с пробно статично и пробно динамично натоварване, чрез корелации).

¹ Andrey Totsev, Assoc. Prof., atocev@gmail.com

¹ Андрей Тоцев, доцент, atocev@gmail.com

Един от методите за определяне на носещата способност на пилоти е чрез корелация с резултати от полеви методи. Тук са показани зависимости между резултати от статичната пенетрация (СРТ) или стандартното пенетрационно изпитване (SPT) и двата параметъра на носеща способност на пилоти.

2. СТАНДАРТИЗИРАНО ПЕНЕТРАЦИОННО ИЗПИТВАНЕ (SPT)

Стандартното пенетрационно изпитване (SPT) е един вид динамичната пенетрация. За разлика от динамичната пенетрация, той се прави в предварително изпълнен сондаж, с диаметър по-малък от 250 mm. Принципът е следният – тежест с тегло 63.5 kg пада от височина 76 cm и забива в дъното на сондажа специален стоманен накрайник, който позволява вземането на проба. Отчита се броят на ударите за три последователни прониквания от по 15 cm. Меродавни са броят на ударите за проникване от 15-ия до 45-ия cm. Те се бележат с N_{30} и се наричат стандартно съпротивление на проникване (за 30 cm.).

Друг показател, който се дефинира, е N_{60} . Докато N_{30} има смисъла на брой удари за проникване 30 cm, то с N_{60} се означава редуцираният брой удари за проникване 30 cm, с отчитане на загубите на енергия при забиването. Приема се, че ефективността на удара в пръта е около 60% от теоретичната потенциална енергия на удара на чук със свободно падане на тежестта, откъдето идва индексът „60“. Също така при определяне на N_{60} може да се отчете геоложкия товар, дължината на прътите, диаметъра на сондажа, вида на почвата или размера на наковалнята. Съществуват няколко подхода за определяне на N_{60} .

Според ASTM D 1586-99

$$(1) \quad N_{60} = N_f \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 \cdot n_5 \cdot n_6$$

където $N_f = N_{30}$ или броят на ударите получени опитно;

n_1 – енергиен корекционен коефициент (в литературата се среща също като C_E);

n_2 – корекционен коефициент за дължината на шангите (C_R);

n_3 – корекционен коефициент за втулката (C_S);

n_4 – корекционен коефициент за диаметъра на сондажа (C_B);

n_5 – корекционен коефициент за наковалнята;

n_6 – корекционен коефициент за честота на ударите.

3. КОРЕЛАЦИИ С SPT ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЪРХОВОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПИЛОТИ

3.1. Meyerhof (1956, 1976)

При определяне на върховото съпротивление на пилоти Meyerhof предлага:

- за забивни пилоти:
- пясък с чакъл, пясък:

$$(2) \quad q_{b,k} = 40 \cdot N_{55} \cdot \frac{L_b}{D} \leq 380 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

– пясък с прах, прахов пясък:

$$(3) \quad q_{b,k} = 20 \cdot N_{55} \cdot \frac{L_b}{D} \leq 300 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

• за изливни пилоти:

– пясък с чакъл, пясък:

$$(4) \quad q_{b,k} = 13 \cdot N_{55} \cdot \frac{L_b}{D} \leq 380 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

– пясък с прах, прахов пясък:

$$(5) \quad q_{b,k} = 13 \cdot N_{55} \cdot \frac{L_b}{D} \leq 300 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

Стойността N_{55} е средноаритметичната стойност в зоната от $8D$ над върха на пилота и до $3D$ под върха на пилота (фиг. П1-1). L_b е дълбочината на проникване на върха на пилота в здравия (носещия) почвен пласт, а D – диаметъра на пилота.

3.2. Shioi& Fukui (1982)

При определяне на върховото съпротивление на пилоти авторите предлагат зависимостите показани в табл. П1-1.

Табл. 1. Определяне на върховото съпротивление според Shioi& Fukui (1982)

Вид на пилотите	Определяне на $q_{b,k}$ в $[kN/m^2]$
Забивни	$q_{b,k} = 1000 \cdot N_{55} \cdot (1 + 0,04(L_b/D)) \leq 300 \cdot N_{55}$
Сондажно-изливни	$q_{b,k} = 60 \cdot N_{55} \cdot (L_b/D) \leq 300 \cdot N_{55}$

3.3. Martin&Seli&Powell&Bertoulin (1987)

При определяне на върховото съпротивление при забивни пилоти в глини и пясъци, авторите предлагат:

– пясък:

$$(6) \quad q_{b,k} = 450 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

– прахов пясък:

$$(7) \quad q_{b,k} = 350 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

– глини:

$$(8) \quad q_{b,k} = 200 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

3.4. Aoki & Velloso (1975)

При определяне на върховото съпротивление на пилоти за N60 авторите предлагат следната зависимост за различни видове почви и пилоти:

$$(9) \quad q_{b,k} = 100 \cdot \frac{K}{F_1} N_{60} \quad [kN / m^2]$$

Табл. 2. Определяне на коефициентите F1 и F2 по Aoki & Velloso

Вид на пилотите	F1	F2
Пилоти „Франки“	2,50	5,00
Стоманени пилоти	1,75	3,50
Забивни стоманобетонни пилоти	1,75	3,50
Сондажно-изливни стоманобетонни пилоти	3,00-3,50	6,00-7,00

Табл. 3. Определяне на коефициентите K и α по Aoki & Velloso

Вид почва	K	α
Пясък	10,0	1,4
Прахов пясък	8,0	2,0
Глинест прахов пясък	7,0	2,4
Глинест пясък	6,0	3,0
Прахов глинест пясък	5,0	2,8
Прах	4,0	3,2
Песъчливи прахови почви	5,5	2,2
Глинесто-песъчливи прахови почви	4,5	2,8
Заглинени прахови почви	2,3	3,4
Песъчливо-глинести прахови почви	2,5	3,0
Глина	2,0	6,0
Песъчлива глина	3,5	2,4
Песъчлива прахова глина	3,0	2,8
Прахова глина	2,2	4,0
Прахово-песъчлива глина	3,3	3,0

4. КОРЕЛАЦИИ С SPT ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОКОЛНОТО ТРИЕНЕ НА ПИЛОТИ

4.1. Meyerhof (1956, 1976)

При определяне на околното триене на пилоти за несвързани почви Meyerhof предлага:

– за тръбни пилоти:

$$(10) \quad q_{s,k} = 1,9 \cdot N_{55} \leq 100 \quad [kN / m^2]$$

– за Н – пилоти:

$$(11) \quad q_{s,k} = 1,0 \cdot N_{55} \leq 100 \quad [kN / m^2]$$

4.2. Shioi& Fukui (1982)

При определяне на околното триене на пилоти авторите предлагат следните зависимости:

– забивни пилоти в пясък:

$$(12) \quad q_{s,k} = 1,9 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

– забивни пилоти в глина:

$$(13) \quad q_{s,k} = 9,8 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

– сондажни пилоти в пясък:

$$(14) \quad q_{s,k} = 1 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

– сондажни пилоти в глина:

$$(15) \quad q_{s,k} = 5 \cdot N_{55} \quad [kN / m^2]$$

4.3. Aoki& Velloso (1975)

При определяне на околното съпротивление на пилоти за N60 авторите предлагат следната зависимост за различни видове почви и пилоти:

$$(16) \quad q_{s,k} = 100 \cdot \frac{\alpha \cdot K}{F_2} \cdot N_{60} \quad [kN / m^2]$$

Коефициентите α , K и F_2 се определят от табл. 2 и 3

5. СТАТИЧНА ПЕНЕТРАЦИЯ СРТ

Принципът е следният: с променлива статична сила, при постоянна скорост на проникване 2 cm/s ($\pm 0,5$ cm/s), в почвата се вкарват последователно стоманен връх и стоманена тръба. Посредством отчитане на съпротивлението срещу проникване на върха (конуса) в почвата се определя т. нар. върхово съпротивление (q_c или q_t). В следствие силата се прилага върху стоманената тръба и така се отчита околното триене (f_s или q_f), най-често в МРа или кРа. В тази последователност се провежда изпитването до желаната дълбочина. Като резултат се получават две непрекъснати по дължината диаграми, описващи върховото съпротивление и околното триене за всеки пласт. Уредът (СРТУ) позволява и определянето на порния натиск при проникване (u).

Друг параметър, който се дефинира при СРТ, е коефициента на триене F_r , равен на отношението на околното триене към върховото съпротивление.

$$(17) \quad F_r = \frac{f_s}{q_c}$$

6. КОРЕЛАЦИИ С СРТ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЪРХОВОТО СЪПРОТИВЛЕНИЕ НА ПИЛОТИ

6.1. Shioi & Fukui (1982)

При пилоти с отношение $L/B \geq 10$, авторите предлагат:

$$(18) \quad q_{b,k} = q_c$$

Стойността q_c е средноаритметичната стойност в зоната от $8D$ над върха на пилота, до $3D$ под върха на пилота.

6.2. Eslami & Fellenius (1997, 2004)

Авторите предлагат следната зависимост на базата на q_c :

$$(19) \quad q_{b,k} = 0,98 \cdot q_c \quad [kPa]$$

Стойността q_c е средноаритметичната стойност в зоната от $8D$ до $12D$ около върха на пилота.

6.3. Vegeman

При определяне на върховото съпротивление на пилоти авторът предлага следните зависимости:

– забивни пилоти в свързани почви:

$$(20) \quad q_{b,k} = 0,600 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– забивни пилоти в несвързани почви:

$$(21) \quad q_{b,k} = 0,375 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– забивни пилоти в прахови почви:

$$(22) \quad q_{b,k} = 0,400 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– изливни пилоти в свързани почви:

$$(23) \quad q_{b,k} = 0,375 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– изливни пилоти в несвързани почви:

$$(24) \quad q_{b,k} = 0,150 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– изливни пилоти в прахови почви:

$$(25) \quad q_{b,k} = 0,200 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

6.4. Aoki & Velloso (1975)

При определяне на върховото съпротивление на пилоти от q_c авторите предлагат следната зависимост (табл. 2) за различни видове почви и пилоти:

$$(26) \quad q_{b,k} = \frac{1}{F_1} \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

7. КОРЕЛАЦИИ С СРТ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОКОЛНОТО ТРИЕНЕ НА ПИЛОТИ

7.1. Meyerhof (1956) Throrburn & MacVicar (1971) [37]

Авторите предлагат следната зависимост на базата на q_c [kPa] :

$$(27) \quad q_{s,k} = 0,005 \cdot q_c \quad [kPa]$$

7.2. Vegeman

При определяне на околното триене на пилоти авторът предлага следните зависимости:

– забивни пилоти в свързани почви:

$$(28) \quad q_{s,k} = 0,0075 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– забивни пилоти в несвързани почви:

$$(29) \quad q_{s,k} = 0,0035 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– забивни пилоти в прахови почви:

$$(30) \quad q_{s,k} = 0,0040 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– изливни пилоти в свързани почви:

$$(31) \quad q_{s,k} = 0,0150 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– изливни пилоти в несвързани почви:

$$(32) \quad q_{s,k} = 0,0045 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

– изливни пилоти в прахови почви:

$$(33) \quad q_{s,k} = 0,0070 \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

7.3. Aoki & Velloso (1975)

При определяне на околното триене на пилоти от q_c авторите предлагат следната зависимост за различни видове почви и пилоти:

$$(34) \quad q_{s,k} = \frac{\alpha}{F_2} \cdot q_c \quad [kN / m^2]$$

Коефициентите α и F_2 се определят от табл. 2 и 3.

8. ЧИСЛЕН ПРИМЕР ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА ПИЛОТИ

За сравнение на стойностите, които се получават при определяне върховото съпротивление q_b , при пилоти по различните методи, е решен числен пример. Да се определи върховото съпротивление q_b забивен пилот, със сечение 30/30 cm и дължина 12,00 m, навлизащ 3,00 m в носещ пласт - пясък с $N_{55} = 18$ и СРТ ($q_c = 7500$ kPa и $f_s = 120$ kPa).

Получените резултати са обобщени в табл. 8.

Табл. 8. Обобщени резултати за върховото съпротивление q_b при пилоти

Метод	Резултати от корелации с SPT q_b [kN/m ²]	Резултати от корелации с СРТ q_b [kN/m ²]
Meyerhof	7200	-
Shioi & Fukui	5400	7500
Martin & Seli & Powell & Bertoulin	8100	-
Shariatmadari & Eslami & Karimpour- Fard	7623	-
Eslami & Fellenius	-	7350
Begeman	-	2813
Aoki & Velloso	11314	4286

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Въпросът с определяне на носещата способност на пилоти не е еднозначно решен. Съществуват различни методи, а както се вижда от решения числен пример, разсейването на резултатите при използване на полеви методи е значително. Нормативните документи, решават този проблем, чрез въвеждане на коефициенти на сигурност, с голям резерв. Икономичното и сигурно проектиране потвърждава необходимостта от пробно натоварване на пилотите за установяване на тяхната действителна носеща способност.

ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ

- [1] Totsev A, In situ tests, Colibri, 2020
- [2] ASTM D 1586-99
- [3] BDS-EN 1997
- [4] Moller G., Geotechnik Bodenmechanik, 2007
- [5] Ilov G. et al., Design according Eurocode 7, 2011 г.
- [6] Das B, Geotechnical engineering handbook, 2011