

ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ПИЛОТИ ПО РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОБНО СТАТИЧНО НАТОВАРВАНЕ – СЪПОСТАВЯНЕ НА РЕШЕНИЯ ПО ЕВРОКОД 7 И ПО БЪЛГАРСКИТЕ СТАНДАРТИ

Чавдар Колев
ch_kolev@abv.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
София, ул. „Гео Милев“158,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *проектна стойност, динамичен пенетрометър, земна основа, проектен подход, натоварване, частен коефициент, слягане, носимоспособност.*

Резюме: *Новият стандарт за проектиране на строителни конструкции Еврокод все още предизвиква редица въпроси от методически характер. Затова целта на доклада е да даде отговор на редица такива въпроси, отнасящи се до Еврокод 7. Подходът за определяне на носимоспособността на пилотните фундаменти чрез динамична пенетрация (SPT) е позабравен у нас поради липсата на примственоост между поколенията, а в новите стандарти този подход е актуализиран и намира приоритетно място за приложение в практиката като един от най-надеждните и най-бързите за работа. Изследването е направено чрез съпоставителен анализ на решенията по стария и по новия стандарт. Резултатите от изчисленията на една и съща проектна ситуация по различни стандарти са сравнени аналитично и графически, направени са оценки и препоръки за практиката. Съпоставяни са анализите по Еврокод 7 и по досегашните два български стандарта – нормите за проектиране на пилотно фундиране и тези за стоманобетонни мостове. Данните за почвата са получени чрез стандартен пенетрационен тест SPT. Решението по Еврокод 7 е направено по втория проектен подход DA2, записан в стандарта и възприет за прилагане у нас. Въпреки това, направени са пояснения за прилагането и на другите два проектни подхода DA1 и DA3. Резултатите показват, че и двата досегашни български стандарта са значително по-консервативни от Еврокод 7. Потърсени са и са подчертани причините за тази разлика. Оценени са ползата и смисълът от въвеждането на единните европейски стандарти за проектиране на конструкции в строителството.*

УВОД

Въвеждането на Еврокод в европейската практика е безспорна голяма крачка напред в развитието на стандартите за проектиране на конструкциите. Еврокод е резултат от натрупване и интегриране на новите съвременни знания в тази област и същевременно е продължение на традициите в различните европейски държави.

В процеса на изучаване и прилагане на Еврокод е нормално да се правят съпоставки с досегашните национални стандарти и така да се оцени и възприеме новият стандарт. В тази статия е направена практическа съпоставка на изчислението на забивни пилоти по Еврокод 7 и по досегашния български национален стандарт. Решени са два паралелни примера с еднакви изходни данни. Ползван е методът на оразмеряване на пилоти според резултатите от пробно статично натоварване.

Няма разлика между двата стандарта в начина за избор на вида на пилотите. Изискванията и процедурите за пробно статично натоварване са подробно изложени в т. 7.5 на ЕС7 [1]. В Еврокод 7.2 [2] са разработени методите за изследване на земната основа – полеви и лабораторни. Принципно те не се различават от българските стандарти, описани в [3], каквито са БДС 8002 и БДС 8994 и др.

I. ПРИМЕР А: ЗАБИВНИ ПИЛОТИ С ВЕРТИКАЛЕН ОСОВ ТОВАР ПО ЕВРОКОД 7

Изчислението е по резултати от пробно статично натоварване, дадено в [4].

Проектна ситуация:

Даден е фундамент със забивни пилоти с диаметър $D = 40$ cm и дължина $L = 15,0$ m. Допустимото слягане на пилотите е $s = 10$ mm.

Носимоспособност на пилотите:

Носимоспособността на единичен пилот е установена чрез два теста за пробно статично натоварване на пилоти с проектните параметри. След прилагане на граничния товар е отчетено, че слягането на пилота е равно на $0,1D = 40$ mm.

Въздействия:

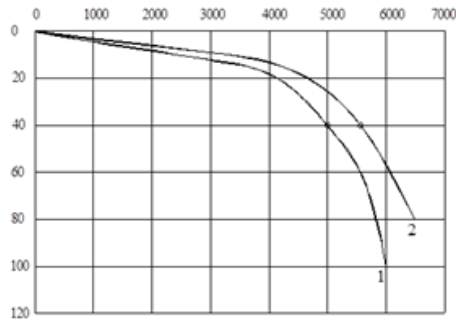
Характеристичната стойност на постоянния вертикален товар е $G_k = 20\ 000$ kN. Характеристичната стойност на променливия вертикален товар е $Q_k = 5000$ kN.

Да се определи броят на пилотите, необходими за удовлетворяване на крайните и експлоатационните гранични състояния

Диаграмата с резултатите от пробното статично натоварване на двата пилота е показана на фиг. 1. Резултатите за натоварването и слягането са представени на табл. 1.

Таблица 1: Натоварване и слягане – опитни резултати

| Товар, kN | Слягане на пилот 1, mm | Слягане на пилот 2, mm |
|---------------|------------------------|------------------------|
| 500,0 | 2,1 | 1,2 |
| 1000,0 | 3,6 | 2,1 |
| 1500,0 | 5,0 | 2,9 |
| 2000,0 | 6,2 | 4,1 |
| 3000,0 | 10,0 | 7,0 |
| 4000,0 | 18,0 | 14,0 |
| 5000,0 | 40,0 | 26,0 |
| 5600,0 | 63,0 | 40,0 |
| 6000,0 | 100,0 | 56,0 |
| 6400,0 | - | 80,0 |



Фиг. 1: Диаграма на натоварването и слягането от опита с двата пилота

1.1. Решение за крайни гранични състояния (ULS)

За определяне на характеристичната носимоспособност на натиск на пилота се вземат измерените гранични съпротивления на натиск при зададено слягане $s=0,1D=40\text{mm}$:

$$R_{m1} = 5000 \text{ kN}; R_{m2} = 5600 \text{ kN}; R_{m, \text{mean}} = 5300 \text{ kN};$$

$$R_{m, \text{mean}} = 0,5(5000 + 5600) = 5300 \text{ kN}.$$

За $n = 2$ броя тестови пилота отчитаме корелационните коефициенти $\xi_1 = 1,30$ и $\xi_2 = 1,20$, съгл. табл. 2 и получаваме следното:

$$R_k = \min \{ R_{m, \text{mean}}/\xi_1; R_{m, \text{min}}/\xi_2 \} =$$

$$= \min \{ 5300/1,30; 5000/1,20 \} = \min \{ 4077; 4167 \} = 4080 \text{ kN},$$

което показва, че при два броя пробни пилоти меродавна е средната им стойност. Ако пилотите бяха 5, меродавна би била тяхната минималната стойност).

Таблица 2: Корелационните коефициенти ξ_i за R_k според броя на тестовите пилоти n (табл. А.9 на прил. А – EC7 [1])

| ξ_i за $n =$ | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
|------------------|------|------|------|------|----------|
| ξ_1 | 1,40 | 1,30 | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| ξ_2 | 1,40 | 1,20 | 1,05 | 1,00 | 1,00 |

Крайните гранични състояния за кратковременно и продължително натоварване се определят с частните коефициенти за носимоспособност и за въздействия по таблици 3 и 4.

Таблица 3: Частни коефициенти за носимоспособност на забивни и изливни пилоти γ_b или γ_s и γ_t (от табл. А.6 и А.7 на EC7 [1]) – крайни гранични състояния ULS

| Типове пилоти | Изчислителен подход DA1 | | | | | | DA2 | DA3 |
|---------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------|------------------------------|
| | DA1 - C1 | | DA1 - C2 | | | | | |
| | γ_b | γ_s | γ_t | γ_b | γ_s | γ_t | $\gamma_b=\gamma_s=\gamma_t$ | $\gamma_b=\gamma_s=\gamma_t$ |
| На натиск забивни | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,1 | 1,0 |
| На натиск изливни | 1,25 | 1,0 | 1,15 | 1,6 | 1,3 | 1,5 | 1,1 | 1,0 |
| На опън (γ_{st}) | | 1,25 | | | 1,6 | | 1,15 | 1,1 |

Таблица 4: Частни коефициенти за въздействия γ_F (γ_G, γ_Q) или ефекти от въздействия γ_E (от табл. А.3 на EC7 [1]) – крайни гранични състояния ULS

| Въздействия | | DA1 - C1 | DA1 - C2* | DA2 | DA3** |
|------------------------------|----------------|----------|-----------|------|-------|
| Постоянни (γ_G) | неблагоприятни | 1,35 | 1,0 | 1,35 | 1,35 |
| | благоприятни | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Променливи (γ_Q) | неблагоприятни | 1,5 | 1,3 | 1,5 | 1,5 |
| | благоприятни | 0 | 0 | 0 | 0 |

Проектен подход 1 (DA1):

– За Комбинация 2, която обикновено е водеща при геотехническите изчисления, проектната стойност на товара е:

$$F_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,0 \cdot 20\,000 + 1,3 \cdot 5\,000 = 26\,500 \text{ kN},$$

като γ_G и γ_Q са взети от табл.2 за неблагоприятни въздействия.

Проектната стойност на съпротивлението на един пилот е:

$$R_d = R_k / \gamma_t = 4080 / 1,3 = 3139 \text{ kN}.$$

Следователно, в съответствие с подход DA1 (Комбинация 2) необходимият брой на пилотите следва да бъде:

$$n = 26\,500 / 3139 = 8,44 \approx 9 \text{ броя}.$$

– За Комбинация 1 проектната стойност на товара е:

$$F_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,35 \cdot 20\,000 + 1,5 \cdot 5\,000 = 34\,500 \text{ kN},$$

където γ_G и γ_Q са взети от табл. 2 за неблагоприятни въздействия.

Проектната стойност на съпротивлението на пилота е:

$$R_d = R_k / \gamma_t = 4080 / 1,0 = 4080 \text{ kN}.$$

Съгласно подход DA1 (Комбинация 1) необходимият брой пилоти следва да бъде:

$$n = 34\,500 / 4080 = 8,46 \approx 9 \text{ броя}.$$

Проектен подход 2 (DA2):-

Тук има само една валидна комбинация. Проектната стойност на вертикалния товар е:

$F_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,35 \cdot 20\,000 + 1,5 \cdot 5\,000 = 34\,500 \text{ kN}$, където като γ_G и γ_Q са взети от табл. 2 за неблагоприятни въздействия.

Проектната стойност на съпротивлението на пилота е:

$$R_d = R_k / \gamma_t = 4080 / 1,1 = 3709 \text{ kN}.$$

Необходимият брой на пилотите съгласно подход DA2 е: $n = 34\,500 / 3710 = 9,3 \approx 10$ бр

I.2. Решение за експлоатационно гранично състояние (SLS)

Максимално допустимото вертикално преместване на пилотния фундамент е 10mm.

Общият характеристичен товар от връхната конструкция е:

$$F_k = G_k + Q_k = 25\,000 \text{ kN} - \text{валиден за характеристичната комбинация.}$$

От двете тестови криви за пробно статично натоварване на единичен пилот отчитаме, че допустимото слягане на пилотите $s = 10 \text{ mm}$ се достига при измереното натоварване, съответно $F_{m1} \approx 3000 \text{ kN}$ и $F_{m2} \approx 3500 \text{ kN}$ (средно 3250 kN).

Характеристичната стойност на R_k за $s = 10 \text{ mm}$ може да бъде получена по същия начин, както за носимоспособността:

$$R_k = \min \{R_{m, \text{mean}}/\xi_1; R_{m, \text{min}}/\xi_2\} = \min \{3250/1,30; 3000/1,20\} = \\ = 2500 \text{ kN за един пилот.}$$

Следователно, за да се ограничи слягането на пилотния фундамент по-малко от 10 mm, трябва да се използват n броя забивни пилоти:

$$n = F_k/R_k = 25\,000/2500 = 10 \text{ броя.}$$

Коментар:

Приема се, че граничният товар в пилотите от тестовите криви 1 и 2 на пробното статично натоварване се отчита при значително слягане $s = 0,1.D = 40 \text{ mm}$, а допустимото слягане на пилотния фундамент се приема 10 mm. Това са относително високи стойности на нормите за слягане, което говори, че Еврокод е по-малко консервативен спрямо досегашните български норми. Поради това носимоспособността на единичен пилот се получава твърде висока за нашите представи. От друга страна, самите криви от диаграмата на пробното статично натоварване показват, че земната основа е много здрава, а това не кореспондира добре с относително малкия брой измерени удари N от стандартния пенетрационен тест (SPT).

Изискванията на Еврокод 7 [1] за геотехническо проектиране, освен че следват традиционната практика, добавят иновативни функции като: въвеждане на корелационни коефициенти за характеристични стойности на носимоспособност на пилотите ξ_i с вземане под внимание броя на изпитваните пилоти и изследваните почвени профили; прогнозиране на деформациите на пилотни фундаменти за проверка на експлоатационно гранично състояние на конструкциите.

II. Пример Б: Забивни пилоти с вертикален осов товар по български стандарт БДС 2419-74

В този пример има същите изходни данни от пробното статично натоварване.

Проектна ситуация и натоварване:

Стоманобетонен пилотен фундамент със забивни пилоти, дълги $L=15 \text{ m}$ и с напречно сечение $35/35 \text{ cm}$ ($A_b = 1225 \text{ cm}^2$), еквивалентни по напречно сечение с кръгли пилоти $\Phi 40 \text{ cm}$.

Носимоспособността на единичен пилот се определя от данните на същите два теста, показани в Пример А, за да могат резултатите да бъдат съпоставени.

Въздействия:

Характеристичната стойност на постоянния вертикален товар е $G_k = 20\,000\text{ kN}$, а на променливия – $Q_k = 5000\text{ kN}$. Това са същите стойности, както в разгледания по-горе Пример А.

Проектната стойност на вертикалния товар, който се предава от фундамента върху групата пилоти е:

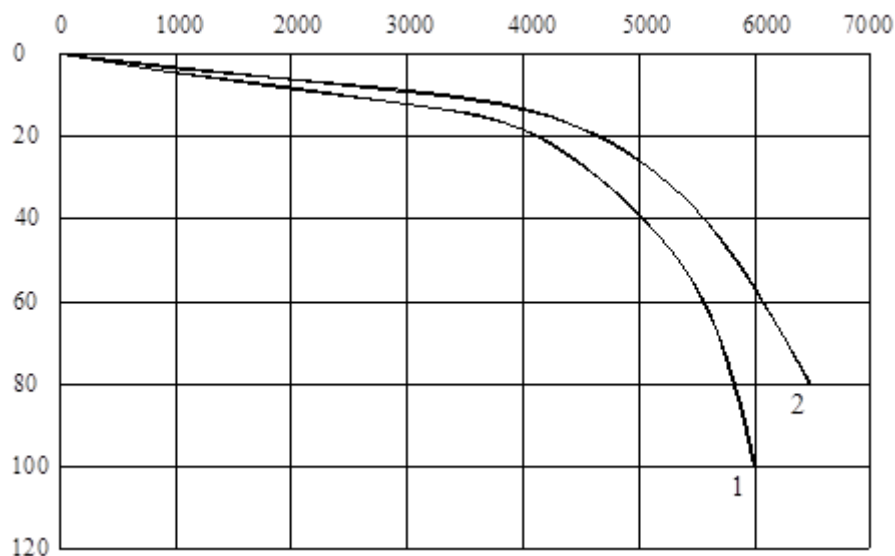
$$N(F_d) = 20\,000 \cdot 1,15 + 5000 \cdot 1,3 = 29\,500\text{ kN},$$

където $\gamma_G = 1,15$ и $\gamma_Q = 1,3$ са приети в съответствие с българските Норми за натоварвания и въздействия върху строителните конструкции от 1990 г.

Да се определи необходимият брой на пилотите.

Решение:

Съгласно българския стандарт, за граничен товар се приема силата, при която пилотът потъва рязко или показва незатихващи деформации. При липса на област или точка от кривата с ясно изразен прелом, както е в случая, носимоспособността Φ е достигната, ако се получи слягане s равно на 15 mm за пилоти със сечение $35/35\text{ cm}$.



Фиг. 2: Диаграма на резултатите от пробното статично натоварване

Характеристичната стойност за носимоспособността Φ се получава за слягане $s = 15\text{ mm}$ от криви 1 и 2:

$$\Phi_1 = 3684\text{ kN}, \Phi_2 = 4219\text{ kN}; \Phi_{\text{aver.}} = 3951,5\text{ kN}.$$

Проектната стойност на натоварването P се определя по формулата:

$$(1) \quad P = \Phi_{\text{aver.}} / k_b,$$

където $k_b = 1,54$ е частен коефициент за носимоспособност;

$$P = 3951,5 / 1,54 = 2566,0\text{ kN}.$$

За получената стойност на P проверяваме по кривите от фиг.2 съответните стойности на слягането s_i . Граничното слягане на пилотите според стандарта БДС 2419-74 е прието да бъде $s_{lim} = 5$ cm. За $P = 2566,0$ kN се получава $s_1 = 10,5$ mm > 5 mm. Ето защо, меродавната стойност на P_1 по крива 1 е за $s = 5$ mm, т.е. $P_1 = 1200$ kN; $s_2 = 7,6$ cm > 5 mm и меродавната стойност на P_2 по крива 2 е $P_2 = 1800$ kN. Средната стойност за $P_{aver.}$ е 1500 kN. Следователно, необходимият брой на пилотите за поемане на проектния вертикален товар е:

$n = N/P_{aver.} = 29500/1500 = 19,7 \approx 20$ броя пилоти, т.е. двойно повече, отколкото в пример А.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Решението на задачата за определяне на необходимия брой забивни пилоти за фундамент, натоварен с вертикални сили по резултати от пробно статично натоварване, съгласно досегашния български стандарт БДС 2419-74 е много по-консервативно, отколкото по Еврокод 7 – Пример А.

Причината за този консерватизъм на БДС 2419-74 е в това, че измерените стойности на носимоспособността Φ се изискват за слягане $s = 15$ mm (при пилоти със сечение 35/35 cm), а не както е по Еврокод 7 – стойностите R_{m1} и R_{m2} да се измерват при слягане $s = D/10 = 40$ mm (за пилот Φ 40 cm). От друга страна, експлоатационното гранично слягане на пилотни фундаменти по БДС 2419-74 е $s_{lim} = 5$ mm, а по Еврокод 7 - БДС EN 1997-1:2005 то е $s_{lim} = 10$ mm. Впрочем, в САЩ се препоръчва $s_{lim} = 0,5$ in = 12,7 mm.

Тези две различия са основната причина за голямата разлика в крайния резултат от изчислението за броя на пилотите в показаните примери и за консервативността на досегашния български стандарт.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Еврокод 7: Геотехническо проектиране, Част 1: Основни правила – БДС EN 1997-1:2005./*
- [2] Еврокод 7: Геотехническо проектиране, Част 2: Изследване и изпитване на земната основа – БДС EN 1997-2:2007.
- [3] Норми за проектиране на пилотно фундиране. БСА, 6/1993.
- [4] Frank, R. Design of pile foundations following Eurocode 7. Proceedings XIII Danube–European Conference on Geotechnical Engineering. Ljubljana, 2006.

PILE MEASUREMENT BY STATIC LOAD TEST RESULTS - COMPARISON OF DECISIONS UNDER EUROCODE 7 AND UNDER THE BULGARIAN STANDARDS

Chavdar Kolev

*University of Transport “Todor Kableshev”
158, Geo Milev Street, Sofia - 1574, BULGARIA*

Key words: *Pile foundation, pile tests, design approaches, load, partial coefficient, settlement, bearing capacity*

Abstract: *Eurocode is a new standard for the countries of the European Union, and engineers need to understand its meaning and computing procedures well. The best way to understand new standards is to make the parallel decisions of new and older computing procedures. Down below, it was done a comparative analysis of pile measurement under Eurocode and under the current Bulgarian National Standards. The method of the static load test is in use. The Eurocode 7 decision is taken according to the three design approaches set out in the Standard. One and the same source data are used for the comparison. Results show that the Old Bulgarian Standards are more conservative than Eurocode 7. The reasons for this big difference have been deeply analyzed and highlighted. The benefits of introduced general European Standards for construction design have been assessed too. The Eurocode 7.1 requirements for geotechnical design, in addition to the traditional practice, add innovative features such as: introducing correlation coefficients for characteristic piles load bearing capacity, taking into account the number of piles tested and the soil profiles studied; predicting the deformations of the pile foundations to check the serviceability limit state of the structures. Two examples are solved in this paper, which can also serve as a training for engineers and students. The bearing capacity of a driving pile according to Eurocode 7 is defined in the first example and the bearing capacity of the same pile according to the Bulgarian national standard is defined in the second example. The solution to the task for determining the number of driving piles for a foundation loaded with vertical forces based on the results of a static load test according to the Bulgarian National Standard BNS 2419-74 is much more conservative than in Eurocode 7 - A Example.*