

ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ПИЛОТНИ ФУНДАМЕНТИ ПО ДАННИ ОТ SPT – СРАВНЯВАНЕ НА РЕШЕНИЯ ПО ЕВРОКОД 7 И ПО БЪЛГАРСКИТЕ СТАНДАРТИ

Чавдар Колев

e-mail: ch_kolev@abv.bg

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

Ключови думи: *проектна стойност, почва, 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 примственост 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 стандарти 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

Еврокод обединява традициите в проектирането на строителни конструкции от всички държави в Европа. Този факт предопределя нуждата от съпоставяне на новия стандарт с националните стандарти преди и след неговото въвеждане. Усъвършенстването на технологиите за пилотно фундиране изисква периодично и систематично обновяване, както на националните стандарти, така и на Еврокод. Ето защо научните изследвания винаги са необходими за развитието на теорията и практиката.

В тази статия е направено сравнение на резултатите от паралелни изчисления на една и съща проектна ситуация за фундамент от изливни пилоти по Еврокод 7 и по два досегашния български национални стандарта – за фундиране на високи сгради и за фундиране на мостове. Решени са три примера по различни формули за определяне на носимоспособността на пилотите. Ползван е методът на оразмеряване на пилоти чрез стандартен пенетрационен тест SPT. Направени са оценки на резултатите и стандартите.

I. ПРИМЕР 1: СОНДАЖЕН ПИЛОТ ПОД ДЕЙСТВИЕ НА ВЕРТИКАЛЕН ТОВАР СПОРЕД ЕВРОКОД 7

Стойностите на почвените параметри са определени *in situ* чрез стандартен пенетрационен тест (SPT) [5].

Проектна ситуация (Фиг.1):

Стоманобетонен сондажен пилот с диаметър $\Phi 600$ mm; ниво на подземните води – на дълбочина 2,00 m под повърхността на терена.

Почвени характеристики:

Еднороден естествен масив от среднозърнести пясъци със следните земномеханични характеристики:

$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$; $c'_k = 0$; $\varphi'_k = 35^\circ$; SPT $N = 25$ удара (средна плътност).

Въздействия:-

- характеристична стойност на постоянния вертикален товар $G_k = 1200 \text{ kN}$;
- характеристична стойност на променливия вертикален товар $Q_k = 200 \text{ kN}$;
- обемно тегло на стоманобетона 24 kN/m^3 .

Да се определи дължината на пилота.

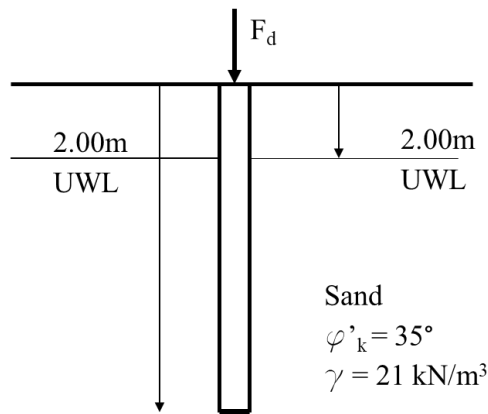


Fig. 1. Проектна ситуация

Въз основа на полевого изпитване SPT и стойността $N = 25$ удара за проникване на 1 фут, върховото и общото съпротивление са изчислени в съответствие с полуемпиричен изчислителен метод:

– Специфичното върхово съпротивление е отчетено:

$$q_b = 1,37 \text{ MPa}$$

Общото върхово съпротивление е:

$$R_{b,cal} = \pi(D^2/4) \cdot q_b = 3,14(0,36/4) \cdot 1370 = 387,0 \text{ kN}.$$

– Специфичното околно триене за всички дълбочини z_i е отчетено $q_s = 70,0 \text{ kN/m}^2$. Околното триене при диаметър на пилота $D = 0,60 \text{ m}$ е:

$$R_{s,cal} = \pi \cdot D \cdot \sum q_s \cdot l_i = 1,885 \cdot 70 L_n = 132 \cdot L_n \text{ (kN)}.$$

– Общата носимоспособност от върхово съпротивление и триене по стените на пилота е:

$$R_{cal} = R_{b,cal} + R_{s,cal} = 387,0 + 132L \text{ (kN)}$$

Еврокод 7 изисква да се проверяват крайните и експлоатационните гранични състояния. В този пример се разглеждат само крайните гранични състояния (ULS).

В случая на крайни гранични състояния за кратковременни и продължително действащи проектни ситуации следва да бъдат използвани подходите DA1 и DA2. Изчислителният подход DA3 не е подходящ при полуемпирични модели като използвания тук, тъй като той се използва главно при изследване на общата устойчивост на склонове и откоси. Граничната носимоспособност на натиск при прилагане на подходите DA1 и DA2 се изчислява по двете уравнения:

$$(1) \quad R_{bk} = q_{b,k} \cdot A_b \text{ и } R_{sk} = q_{s,i,k} \cdot A_{si}.$$

В по-нататъшните изчисления приемаме, че напреженията q_s и q_b , изчислени по-горе, се разглеждат като характеристични стойности. Затова можем да прилагаме препоръчителните стойности за частните коефициенти от Приложение А на EC7, но с допълнителен общ моделен коефициент на носимоспособност, който за случая е избран $\gamma_{Rd} = 1,25$.

Изчисление по Проектен подход 2 (DA2):

Валидна е само една комбинация. Частните коефициенти за неблагоприятни въздействия γ_F (γ_G, γ_Q) са от табл. А.3 на EC7 [1].

Изчислителният товар е:

$$F_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,35 \cdot 1200 + 1,5 \cdot 200 = 1920 \text{ kN}.$$

Изчислителното съпротивление на пилота е:

$$(2) \quad R_d = R_k/\gamma_t \text{ или } R_d = R_{bk}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s,$$

където за изливни пилоти от табл. А.6 и А.7 на ЕС7 [1]: $\gamma_b = 1,10$; $\gamma_s = 1,10$.

$$\text{Следователно: } 387/1,10 + 132L_n/1,10 = 351,8 + 120L_n.$$

Изискването $F_d \leq R_d$ води до резултата $L_n \geq 13,1$ m.

Коментар:

Когато се използва Еврокод 7 [1] за анализ по крайни гранични състояния – изчислителни ситуации от кратковременни и продължително действащи външни натоварвания, Проектният подход 2 (DA2) е по-консервативен. Следвайки него, получаваме необходима дължина на пилота $L_n \geq 13,1$ m.

В Еврокод 7 [1], както и в българското национално приложение към него [2], няма препоръчителни стойности за общия модален коефициент γ_{Rd} . В ирландското национално приложение, например се дава стойност $\gamma_{Rd} = 1,5$. Считаме, че γ_{Rd} следва да се избира в диапазона от 1,2 до 1,5, но за предпочитане е да бъде по-близо до долната граница на посочения диапазон.

II. ПРИМЕР 2: СОНДАЖЕН ПИЛОТ ПОД ДЕЙСТВИЕТО НА ВЕРТИКАЛЕН ТОВАР СПОРЕД БЪЛГАРСКИЯ СТАНДАРТ [3]

Прието е, че проектната ситуация, почвените характеристики и натоварването са същите, както в Пример 1.

Частните коефициенти на въздействие, приети в съответствие с българските норми от 1990 г. са следните: $\gamma_G = 1,15$ и $\gamma_Q = 1,30$.

$$\text{Следователно осовият товар е } N(F_d) = 1200 \cdot 1,15 + 200 \cdot 1,3 = 1640 \text{ kN.}$$

Изчислителната стойност Φ на носимоспособността на единичен пилот се определя по известната формула:

$$(3) \quad \Phi = \gamma_d(\gamma_R \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_f \cdot l_i \cdot f_i),$$

където:

γ_d е частен коефициент, който за случая е равен на 1,0;

R – изчислителното съпротивление на почвата под върха на пилота, съгл. таблица 5 на стандарта [6];

A – площта на основата на пилота ($A = 0,2827 \text{ m}^2$);

u – периметърът на сечението на пилота ($\pi \cdot D = 1,885 \text{ m}$);

f_i – съпротивлението на околна триене по стените на пилота, съгласно табл. 2 на стандарта (с), която съвпада с табл. NA.5 на БДС EN 1997-1/NA [2] за $q_{s,i,k}$;

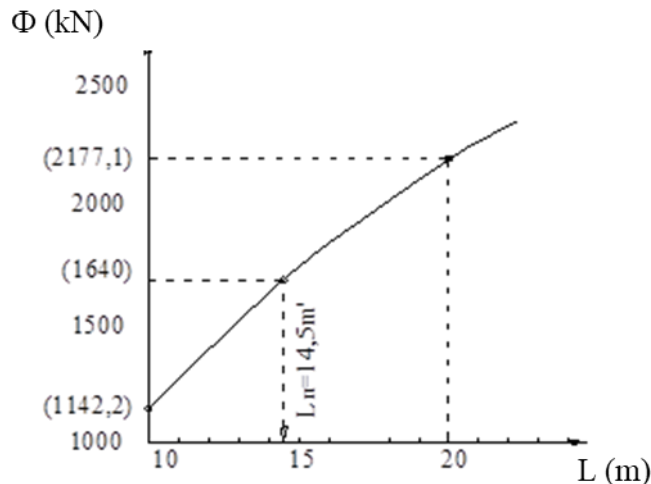
l_i – дебелината на i -тия пласт от земната основа, преминал от пилота ($l_i = L_n$);

γ_R и γ_f са частни коефициенти на сигурност за почвата под върха и за околната повърхност на пилота; те са съгласно чл. 31 и табл. 4 на стандарта [3] и имат стойности, съответно 1,0 и 0,6.

Решението е итеративно и резултатите са показани на Табл.1 и Табл.2.

Таблица 1: Резултати от решението на Пример 2

L	R	f_z	Φ
<i>m</i>	<i>kN/m²</i>	<i>kN/m²</i>	<i>kN</i>
10	1800	56	1142.5
15	2300	63.5	1727.5
20	2500	62	2177.1



Фиг. 2: Диаграма на решението на Пример 2

III. ПРИМЕР 3: СОНДАЖЕН ПИЛОТ ПОД ДЕЙСТВИЕТО НА ВЕРТИКАЛЕН ТОВАР СПОРЕД БЪЛГАРСКИЯ СТАНДАРТ [4]

Прието е, че проектната ситуация, почвените характеристики и натоварването са същите, както в другите два примера. Само формулата за определяне на носимоспособността на пилота е по-различна:

$$(4) \quad \Phi = (R.A + u.\Sigma f_i.l_i),$$

където всичките членове имат същия смисъл, както в Пример 2.

Формулата е претърпяла три модификации във времето:

$$(5) \quad \Phi = (R.A + 1/3.u.\Sigma f_i.l_i).$$

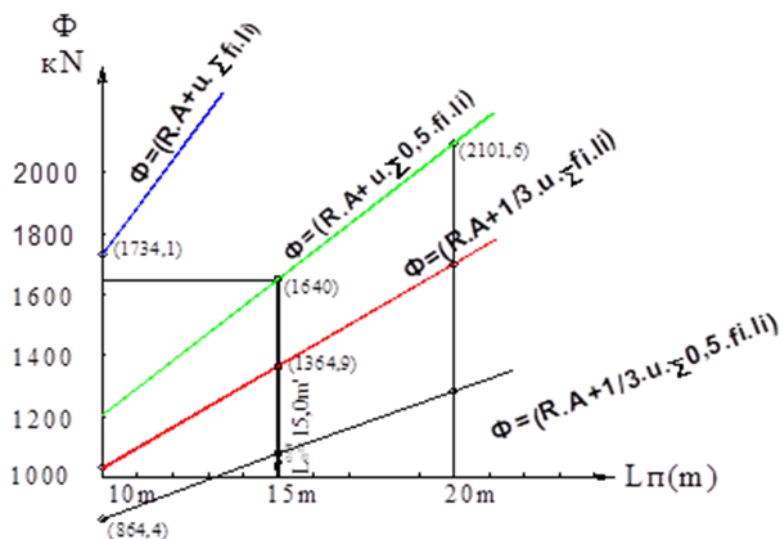
$$(6) \quad \Phi = (R.A + u.\Sigma 0,5 f_i.l_i).$$

$$(7) \quad \Phi = (R.A + 1/3.u.\Sigma 0,5 f_i.l_i).$$

Итеративното решение по последната модифицирана формула, която е и най-консервативна, е представено на Табл.2, а обобщената диаграма на решенията по всичките модифицирани формули е показана на Фиг.3.

Table 2: Резултати от решението на Пример 3

L	R	f_z	Φ
<i>m</i>	<i>kN/m²</i>	<i>kN/m²</i>	<i>kN</i>
10	2400	56	854,4
15	2800	60,83	1078,2
20	3100	65	1284,8



Фиг. 3: Диаграма на решението на Пример 3

Коментар:

Изчислителният вертикален товар $N(F_d) = 1640 \text{ kN}$ се поема от пилот с дължина $L=14,5\text{m}$, при което $R \approx 2250 \text{ kN/m}^2$, а $f_{z=7,25\text{m}} \approx 62,2 \text{ kN/m}^2$. Делът на околното триене е 62%, а на върховото съпротивление – 38%.

За сравнение, в пример 1 по Еврокод 7 (а) с меродавен Проектен подход 2 (DA2), необходимата дължина на пилота се получи $L_n \geq 13,1 \text{ m}$, делът на околното триене е 82%, а на върховото съпротивление – 18 %.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЯ

От показаните четири решения на Фиг.3 по модифицираните формули на стандарта [4] най-ниски стойности се получават по последната формула (7).

Отчетената от графиката необходима дължина на пилотите е 15,0 m, което е само с 0,5m повече от решението по стандарта [3], въпреки различията във формулата за носимоспособността Φ и използваните таблици за върховото съпротивление R и околното триене f_i .

Практиката многократно е показала, че изчисленията по двата български стандарта дават сходни резултати. И двата стандарта, обаче се оказват значително по-консервативни, отколкото решението по Еврокод 7 (БДС EN 1997-1:2005) [1].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Еврокод 7: Геотехническо проектиране, Част 1: Основни правила – БДС EN 1997-1:2005./*
- [2] Еврокод 7: Геотехническо проектиране, Част 1: Основни правила / Национално приложение – БДС EN 1997-1/NA:2007.
- [3] Норми за проектиране на пилотно фундиране. БСА, 6/1993.
- [4] Временен правилник за проектиране на бетонни и стоманобетонни пътни мостове. Техника, С., 1973.
- [5] Frank, R. Designe of pile foundations following Eurocode 7. Proceedings XIII Danube–European Conference on Geotechnical Engineering. Lubljana, 2006.

DIMENSION OF PILE FOUNDATIONS BY SPT DATA - COMPARISON OF DECISIONS ACCORDING TO EUROCODE 7 AND THE BULGARIAN STANDARDS

Chavdar Kolev

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

Key words: Design value, soil, design approaches, load, partial coefficient, settlement, bearing capacity

Abstract: The new Eurocode design for building structures still raises a number of methodological issues. Therefore, the purpose of the report is to answer a number of such questions related to Eurocode 7. The approach to determining the bearing capacity of pilot foundations through dynamic penetration (SPT) is forgotten in our country due to lack of intergenerational continuity, and in the new standards this approach has been updated and finds a priority place for application in practice as one of the most reliable and fastest to work with. The research was done through a comparative analysis of the decisions under the old and the new standard. The results of the calculations of the same design situation according to different standards are compared analytically and graphically, assessments and recommendations for the practice are made. The analyzes according to Eurocode 7 and the previous two Bulgarian standards are compared - the norms for design of pilot foundations and those for reinforced concrete bridges. Soil data were obtained using a standard SPT penetration test. The decision under Eurocode 7 was made according to the second project approach DA2, written in the standard and adopted for application in our country. However, clarifications have been made for the application of the other two design approaches DA1 and DA3. The results show that both current Bulgarian standards are significantly more conservative than Eurocode 7. The reasons for this difference are sought and highlighted. The usefulness and meaning of the introduction of uniform European standards for structural design in construction have been assessed.