



АНАЛИЗ НА ПРОЦЕДУРАТА ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА СПОРЕД ЕВРОКОД 7

Стойна Костова

kostova_stoyna@yahoo.com

**Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”, катедра “Транспортно строителство и съоръжения”, ул. “Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: носеща способност, земна основа, Еврокод, фундамент, изчислителни методи.

Резюме: Еврокод 7 -1 е стандарт различен от съществуващите Български норми в областта на геотехническото проектиране. В Еврокод 7- първа част са въведени пет типа крайни гранични състояния и три изчислителни методи или още наречени подходи. Изчислителните подходи служат за проверка и съпоставка на състоянието на конструкцията и земната основа, отнесено към съответното гранично състояние. За тези крайни гранични състояния и изчислителни подходи са въведени съответни частни коефициенти - за въздействия или ефекти от въздействията, за материалите, почвените характеристики, за носещата способност. Стойностите на частните коефициенти се различават в зависимост от прилагания изчислителен подход. Всяка държава от Европейския съюз в рамките на предложените от Еврокод 7-1 изчислителни подходи приема изчислителен подход, по който да работи при различните проверки и да извършва изчисляването на геотехническите конструкции.

В статията са разгледани определянето на изчислителните стойности от характеристикните стойности и употребата на частните коефициенти, отнасящи се за носещата способност на земната основа, за въздействията или ефектите от въздействиата, за почвените параметри. Частните коефициенти са групирани в различни серии според Еврокод 7. Тези серии от коефициенти са включени в споменатите три изчислителни подходи. При различните изчислителни комбинации се получават различни стойности за носещата способност на земната основа. В статията е даден пример за определяне носещата способност на плосък фундамент, по първи изчислителен подход комбинация 2 на Еврокод – 7-1.

Българският институт за стандартизация продължава да работи по доусъвършенстването на Еврокод 7 и всички останали Европейски стандарти в областта на строителството в нашата страна.

I. Увод.

Еврокод 7 „Геотехническо проектиране” с неговите две части - „Основни правила” и „Изследване и изпитване на земната основа”, заедно с „Национално приложение” – БДС EN 1997-1 / NA представлява стандарт с доста различия в

сравнение с досегашните ни норми в тази област. Работата на строителните специалисти по Еврокодовете у нас продължава.

II. Категории геотехнически конструкции според Еврокод 7

Въведени са три геотехнически категории: 1, 2 и 3 в зависимост от сложността на конструкциите и състоянието на почвите. Първата - за съоръжения и почви с минимален риск от гранични премествания и разрушения. Втората категория - обикновени типове конструкции и фундаменти. Към геотехническа категория 3 се отнасят най – високорисковите обекти с условия на фундиране и фундаментни конструкции, непопадщи в категории 1 и 2.

Различните части от проекта могат да се отнесат към различни категории, т.е. не е необходимо да се прилага най-високата категория 3 за целия проект.

III. Типове крайни гранични състояния.

Имаме *пет типа* крайни гранични състояния, за които се правят проверки:

- EQU – загуба на устойчивост на конструкция или земна основа;
- STR – вътрешно разрушаване или недопустими деформации на конструкцията;
- GEO – разрушение или недопустими деформации на земната основа;
- UPL – загуба на равновесие на конструкцията или земната основа вследствие на воден подем;
- HYD – хидравлично повдигане, вътрешна ерозия и суфозия в земната основа причинени от хидравлични градиенти (хидравличен напор).

•

IV. Изчислителни методи.

Според 2.4.7.3.4.1 на Еврокод 7 имаме *три изчислителни метода или подхода*. По тях се проверява, дали няма да се достигне до гранично състояние на разрушаване или недопустими деформации по някоя от комбинациите със серия от частни коефициенти. Частните коефициенти са дадени в приложение А на Еврокод 7 [1] и в Националното приложение [3]. В комбинациите със съответни букви са дадени означения:

- за въздействия или ефекти от въздействия „А”
- за почвените параметри „М”
- за носимоспособност „R”

Изчислителен подход 1:

Комбинация 1:

$$(1) \quad A1 \text{ “+” } M1 \text{ “+” } R1$$

Комбинация 2:

$$(2) \quad A2 \text{ “+” } M2 \text{ “+” } R1,$$

Изчислителен подход 2:

$$(3) \quad A1 \text{ “+” } M1 \text{ “+” } R2$$

Изчислителен подход 3:

$$(4) \quad (A1^* \text{ или } A2^+) \text{ “+” } M2 \text{ “+” } R3$$

*за конструктивни въздействия и ⁺ за геотехнически въздействия.

Знак „+” означава „да бъде комбинирано със”.

Някои европейски страни са избрали различни изчислителни ситуации за различните гранични състояния. В националното ни приложение [3] за проверката на носещата способност на земната основа е избран изчислителен подход 2.

V. Степен на сигурност заложена между външното натоварване и получената носимоспособност на земната основа.

Относно сигурността заложена между външно натоварване и носеща способност на земната основа по формула 2.5 на т.2.4.7.3.1 на Еврокод 7-1 [1] е записана зависимостта:

$$(5) \quad V_d \leq R_d$$

Ако се обърнем към приложение А, тогава частният коефициент за носимоспособност γ_R за серия R2 е най-висок ($\gamma_R=1,4$). Проверки трябва да се извършват за всички възможни изчислителни ситуации и случаи на натоварване. Изискването по т. 3.5. (1)Р се постига с описания в раздел 6 метод на частните коефициенти.

$$(6) \quad E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

Тук:

$E_{d,dst}$ е изчислителната стойност на ефекта от дестабилизиращите въздействия, или сума от активни сили, както сме свикнали до ги наричаме;

$E_{d,stab}$ според Еврокод 7 е изчислителната стойност на ефекта от стабилизиращите въздействия или сума от пасивни сили, както ги наричаме.

Изчислителната стойност F_d на въздействие трябва да бъде определена от представителната стойност F_{rep} по формула:

$$(7) \quad F_d = \gamma_F \cdot F_{rep}$$

където γ_F е частен коефициент за дадено въздействие.

Представителната стойност F_{rep} се получава от характеристикната стойност на дадено въздействие F_k умножена с коефициент ψ

$$(8) \quad F_{rep} = \psi \cdot F_k$$

Тук ψ е коефициент за комбиниране на въздействията при сгради и е различен в зависимост от категориите на сградите и вида на променливото въздействие (напр. ψ_0 се използва за „други“ съпътстващи променливи въздействия). В Националното приложение NA (информационно) на EN 1990:2003/NA:2008 [6] Табл. NA.A1.1. са дадени коефициентите ψ , чийто стойности са същите, както препоръчаните за всички страни от приложение А на Еврокод 0 [5].

Изчислителната стойност за геотехническите параметри (X_d) по NA 2.3 точка 2.4.6.2 се получават от характеристикните стойности (X_k) използвайки израз (5) или се оценява директно.

$$(9) \quad X_d = X_k / \gamma_M$$

Стойностите на частните коефициенти γ_F , γ_c , γ_{ci} , γ_{qi} и γ_γ за геотехническите параметри са дадени в таблица NA.1. на [3]. Тези стойности на коефициентите се прилагат за геотехнически параметри, получени след метод със статистическа обработка на резултатите от изпитванията. Тези коефициенти отговарят на серия ”M2” в изчислителните подходи - общи и препоръчителни за всички държави от ЕС, дадени в табл. 3 на статията. В първото национално приложение от 2005 г. коефициентите бяха $\gamma_F=1,2$, $\gamma_c=1,6$. В старите Български норми [2] коефициентът на сигурност за кохезията беше 1,8.

VI. Серии от частни коефициенти за въздействия или ефекти от въздействия А, за носимоспособност R и за почвени параметри М.

В табл.1 се виждат коефициентите за въздействия или ефекти от въздействия. Тези коефициенти при неблагоприятни въздействия са по-високи като стойности от същите коефициенти по Българските норми. За неблагоприятните въздействия изчислителните им стойности са равни на характеристичните. Коефициентите в „Серия А1” завишават повече неблагоприятните въздействия в сравнение със „Серия А2”.

Коефициентите за носимоспособност от „Серия R1” и от „Серия R3” фактически са еднакви. Следователно за геотехнически въздействия „Комбинация 2” на изчислителен подход 1 се уеднаквява с изчислителен подход 3.

Табл. 1: Частни коефициенти за въздействия γ_F или ефекти от въздействия γ_E според Еврокод 7 и според NA [3]

Въздействие	Символ	Серия А1	Серия А2
Постоянни			
Неблагоприятни	$\gamma_{G,dst}$	1,35	1,0
Благоприятни	$\gamma_{G,stb}$	1,00	1,0
Променливи			
Неблагоприятни	$\gamma_{Q,dst}$	1,5	1,3
Благоприятни	$\gamma_{Q,stb}$	0	0

Табл. 2: Частни коефициенти за носимоспособност γ_R на плоски фундаменти според Еврокод 7 [1] и според NA [3]

Съпротивление	Символ	Серия R1	Серия R2	Серия R3
Носимоспособност	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Хлъзгане	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,1	1,0

Табл. 3 (таблица NA.1. на [3])

Почвен параметър	Символ	Стойност
Ъгъл на вътрешно триене α	$\gamma_{f'}$	1,25
Кохезия с ефективни напрежения	$\gamma_{c'}$	1,25
Недренирана якост на срязване	γ_{cu}	1,4
Якост при едноосен натиск	γ_{qu}	1,4
Обемно тегло	γ_{γ}	1,0
а Този коефициент се прилага за $\tan f'$		

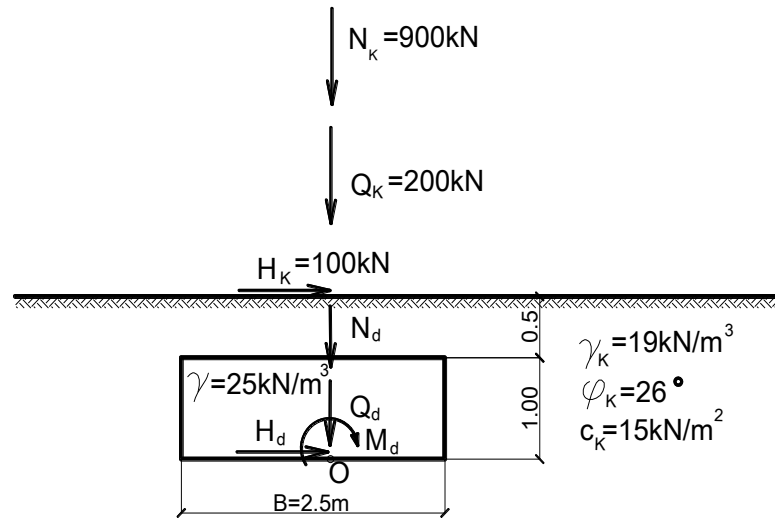
Коефициентът на сигурност $\gamma_{f'}$ се прилага за $\tan f'$. Според Националното ни приложение [3] ако приемем $f_k = 30^\circ$, имаме $\tan 30^\circ = 0,57735$. След разделяне с коефициента $\gamma_{f'} = 1,25$ ще получим $0,57735/1,25 = 0,462$. Следователно, $\arctg 0,462 = 24,80^\circ$, т.е. изчислителната стойност на ъгъла на вътрешно триене е $f_d = f' = 24,80^\circ$.

В Българските норми [2] коефициентът $\gamma_{f'} = 1,2$, но се отнася само до стойността на самия ъгъл f , а не до $\tan f$ т.е. $f_d = 30^\circ/1,2 = 25^\circ$. Разликата между изчислителните стойности на ъглите по старите български норми и по Еврокод 7-1 не е голяма само $0,2^\circ$.

VII. Пример.

Нека вземем един фундамент (Фиг.1) с размери $B=2,5m$, $L=3m$ и височина $h_f=1m$, дълбочина на фундиране $t=1,5m$, натоварен с характеристичен постоянен товар $N_k=900 kN$, характеристичен променлив товар $Q_k=200 kN$ и характеристична постоянна хоризонтална сила $H_k=100 kN$. Почвените характеристики на нивото на фундиране и над него са едни и същи т. е. отнасят се за един пласт със следните характеристични (нормативни) стойности $\gamma_k=19 kN/m^3$, $\varphi_k=26^\circ$ $c_k=15 kN/m^2$.

С индекс d са означени изчислителните стойности на силите и почвените параметри и са заместени във формулите от приложение D и приложение A на Еврокод 7 [1].



Фиг. 1

При изчислителен подход 1 - комбинация 2 към него имаме:

$$A2 \text{ "+" } M2 \text{ "+" } R1,$$

При тази проверка коефициентите за носимоспособност R са равни на 1. Коефициентите са взети от таблици 1, 2 и 3 за съответните серии.

$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k = 1,3 \cdot 200 = 260 \text{ kN}; \quad N_d = \gamma_G \cdot N_k = 1,0 \cdot 900 = 900 \text{ kN}$$

$$\text{Теглото на плоския фундамент е } G_{fd} = 1,2 \cdot 5,3 \cdot 0,25 = 187,5 \text{ kN}$$

$$\text{Теглото на почвата над фундамента е } G_{sd} = 0,5 \cdot 2,5 \cdot 3 \cdot 0,19 = 71,25 \text{ kN}$$

$$V_d = 900 + 187,5 + 71,25 + 260 = 1418,75 \text{ kN} - \text{изчислителен вертикален товар.}$$

$$c_d = 15 / \gamma_c = 15 / 1,25 = 12 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi_k = 26^\circ \quad \tan 26^\circ = 0,4878 / \gamma_\phi = 0,4878 / 1,25 = 0,3902 \quad \varphi_d = \arctan 0,3902 = 21,32^\circ$$

$$\gamma_d = \gamma_k \cdot \gamma_\gamma = 19 \cdot 1,0 = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi'} \cdot \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) = e^{3,14 \cdot \tan 21,32^\circ} \cdot \tan^2 (45^\circ + 21,32^\circ / 2) = 3,41 \cdot 2,14 = 7,30$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot g \varphi' = (7,30 - 1) \cot g 21,32^\circ = 16,14$$

$$N_{\gamma} = 2(N_q - 1) \tan \varphi' = 2(7,30 - 1) \tan 21,32^{\circ} = 4,91$$

$\alpha = 0^{\circ}$ - фундаментът е с хоризонтална основна плоскост

$$b_q = b_{\gamma} = (1 - \alpha \tan \varphi')^2 = 1$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi') = 1 - (1 - 1) / 16,14 \cdot \tan 21,32^{\circ} = 1$$

$$H_d = 1,0, H_k = 100 \text{ kN};$$

$$M_d = H_d \cdot 1,5 = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ kN.m}$$

По нашите норми [2] се определя e_L и e_B с изчислителни стойности. Това е добре също да бъде уточнено в НА [3]. Подходът за изчисляване на ексцентрицитетите в европейските страни не е еднакъв. Например за определяне на ексцентрицитетите в Германия се работи с характеристични стойности на вертикални и хоризонтални натоварвания по изчислителен подход 2, а в Англия се работи с изчислителни стойности и по изчислителен подход 1 за величините участващи в ексцентрицитета e_B и e_L . В примера по подобие на нашите норми [2] са използвани изчислителните стойности на натоварванията:

$$\text{tg } \delta = H/V \text{ [7].}$$

$$e_B = M_d / N_d = 150 / 1418,75 = 0,106 \text{ m}; e_L = 0;$$

$$B' = B - 2e_B = 2,5 - 2 \cdot 0,106 = 2,29 \text{ m};$$

$$L' = L = 3 \text{ m}; A' = B' \cdot L' = 2,29 \cdot 3 = 6,87 \text{ m}^2.$$

За правоъгълен фундамент коефициентите, отчитащи формата на фундамента са:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi' = 1 + (2,29 / 3) \sin 21,32^{\circ} = 1,278$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0,3(B' / L') = 1 - 0,3(2,29 / 3) = 0,771$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) = (1,278 \cdot 7,30 - 1) / (7,30 - 1) = 1,32$$

Коефициентите за наклона на натоварването, причинен от хоризонталната сила H са:

$$m = m_b = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] = [2 + (2,29 / 3)] / [1 + (2,29 / 3)] = 1,567$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot g \varphi'}\right)^m = \left(1 - \frac{100}{1418,75 + 6,87 \cdot 12 \cdot \cot 21,32^{\circ}}\right)^{1,567} = 0,9055$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \varphi') = 0,9055 - (1 - 0,9055) / (16,14 \cdot \tan 21,32^{\circ}) = 0,8905$$

$$i_{\gamma} = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' \cdot \cot g \varphi'}\right)^{m+1} = \left(1 - \frac{100}{1418,75 + 6,87 \cdot 12 \cdot \cot 21,32^{\circ}}\right)^{2,567} = 0,850$$

$q' = 19 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,5 = 28,5 \text{ kN/m}^2$ е изчислителното ефективно напрежение от геоложкия товар на нивото на основата на фундамента (прилежащият товар). Носещата способност на земната основа е:

$$(10) \quad R = L \cdot B \cdot [c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma]$$

$$R_d = 3.2, 29 \cdot [12.16, 14.1.1, 32.0, 8905 + 28, 5.7, 3.1.1, 287.0, 9055 + 0.5 \cdot 19.2, 29.4, 91.1.0, 771.0, 850]$$

$$R_d = 3710,6$$

Проверката по Еврокод е изпълнена: $V_d \leq R_d$.

Коефициента на запас между носещата способност на земната основа и външното натоварване е: $R_d/V_d = 3710,6/1418,75 = 2,62$

Тук получената сигурност е доста висока. По българските норми коефициентът на сигурност не трябва да бъде под 1,3. Размерите на фундамента могат да бъдат намалени до степен, при която всички други проверки също са изпълнени. Тези проверки не са обект на изследването.

Изводи:

Приложение „D” на [1] има различни означения от общите в Еврокод 7 част 1 [1]. Необходими са уточнения в Националното приложение, отнасящи се до прилагането на този стандарт. Това ще облекчи прилагането на Евронормите. В решения пример са използвани изчислителни стойности на кохезията и ъгъла на вътрешно триене, но от формулите това не е ясно видимо.

Необходимо е разширяване на Националното приложение с въвеждане на подробни описания за изчисляване на различни типове фундаментни конструкции и почви при проверки по различните гранични състояния.

Необходимо е да бъдат решени редица примери, които да бъдат в помощ на проектантите.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 1997-1 на български и на английски език, в електронен вариант.
- [2] Норми за проектиране на плоско фундиране Приложение към чл. 2, ал. 1 от наредба №1 на МТСВ -1996г.
- [3] Национално приложение към Еврокод 7– БДС EN 1997-1 / НА.
- [4] БДС EN 1997-2 на английски език, в електронен вариант.
- [5] EN 1990 на български език, в електронен вариант.
- [6] Националното приложение към Еврокод 0 -БДС EN 1990:2003/НА:2008 БДС EN 1990:2002.
- [7] Костова С. Изчислителни методи за определяне носещата способност на земната основа според Еврокод 7 и Българските норми XX Международна научна конференция „Транспорт 2011” 2011.
- [8] Проектиране на плоско фундиране според Еврокод 7 и сравнение с досегашните Български норми – общи понятия XX Международна научна конференция „Транспорт 2011” 2011.

ANALYSIS OF THE PROCEDURE FOR DESIGNING OF BEARING CAPACITY OF THE SOILS ACCORDING TO EUROCODE 7

Stoyna Kostova

kostova_stoyna@yahoo.com

*Department of Transport Construction and Equipmen, Todor Kableshkov
University of Transport Geo Milev str.158, Sofia 1574,
BULGARIA*

Key words: *bearing capacity, ground, Eurocode, foundation, design approaches.*

Abstract: *Eurocode 7 is a standard different from the existing Bulgarian norms for geotechnical design. There are five ultimate limit states and three design approaches introduced in Eurocode 7- first part. Design approaches serve to check and compare the status of structure and soil according to corresponding ultimate limit state. For these ultimate limit states and design approaches are introduced different partial factors – factors for actions and effects of actions, for materials, for soil characteristics and for bearing capacity. Every EU country chooses her design approach which will be used to check and calculate geotechnical structures, according design approaches in Eurocode 7-1.*

The article dealt with the determination of design values from characteristic values, and usage of partial factors concerning to the bearing capacity of the soil, to the actions and effects of actions, and to the soil parameters.

Partial factors are grouped into different series according to Eurocode 7-1. These series of partial factors are included in the mentioned three design approaches. When we use different design combinations we receive different values for the bearing capacity of the soil. In the article is presented an example for determining the bearing capacity of a flat foundation according to the first design approach - combination two - from Eurocode 7.

Bulgarian standardization institute continue work to improve Eurocode 7 and all European standards in the field of building engineering in our country.