

=====

**БДС EN 1997- 1. ГЕОТЕХНИЧЕСКО ПРОЕКТИРАНЕ. ВЛИЯНИЕ  
НА ЧАСТНИТЕ КОЕФИЦИЕНТИ НА СИГУРНОСТ ВЪРХУ  
ИЗЧИСЛИТЕЛНАТА НОСЕЩА СПОСОБНОСТ НА  
ЗЕМНАТА ОСНОВА**

**Т. Германов<sup>1</sup>, Д. Диков<sup>2</sup>**

*Ключови думи: европейски норми, носеща способност, частни коефициенти*

*Научна област: земна механика и фундаменти*

**Резюме**

Представят се резултати от изчисления за носещата способност на земната основа и устойчивостта на почвените масиви, получени на базата на методите на EN 1997-1. Разгледани са единичен фундамент и подпорна стена. Носещата способност е определена с формулата на Brinch – Hansen. Анализът на устойчивостта включва проверка на обръщане, проверка на носеща способност, проверка на хлъзгане и устойчивост по кръгово – цилиндрична повърхнина. Изчисленията показват, че няма съществена разлика в резултатите при прилагане на отделните проектни методи.

**1. Въведение**

В статията се представят сравнителни изчисления за носещата способност на земната основа в съответствие с препоръките на Еврокод 7 Геотехническо проектиране част 1, Общи правила. Разглежда се земната основа на плоскостни фундаменти. Решенията са извършени при използване на DS Software.

За разлика от досегашните норми за проектиране на земната основа, в EN-1997-1 граничните състояния са дефинирани в по-широк обхват, а именно:

- **(EQU) загуба на равновесие на конструкцията или земната основа**, разгледани като твърдо тяло;
- **(STR) вътрешно разрушение или недопустими деформации на конструкцията или конструктивни елементи;**

---

<sup>1</sup> Трифон Германов, Проф. д-р инж.

<sup>2</sup> Димитър Диков, ас. инж., катедра „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ 1

- **(GEO)** разрушение или недопустими деформации на земната основа;
- **(UPL)** загуба на равновесие на конструкцията или земната основа вследствие на воден подем;
- **(HYD)** хидравличен подем, вътрешна ерозия и суфозия в земната основа, причинени от хидравлични градиенти.

За проверките на посочените крайни гранични състояния при постоянни и временни ситуации се прилагат частни коефициенти, които зависят от използвания изчислителен метод.

## 2. Проверка по гранично състояние EQU

Когато се разглежда граничното състояние на статическо равновесие или общо преместване на конструкцията или земната основа (EQU), трябва да бъде проверено следното условие (включително носещата способност на срязване  $T_d$ ):

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d, \quad (1)$$

където дестабилизиращите и стабилизиращите въздействия по принцип се определят с:

$$E_{dst;d} = E\{\gamma_F \cdot F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\}_{dst} \quad \text{и}$$

$$E_{stb;d} = E\{\gamma_F \cdot F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\}_{stb}, \quad \text{където:} \quad (2)$$

$a_d$  е изчислителната стойност на геотехническите данни;

$T_d$  - изчислителна стойност на срязване на почвата при взаимодействие със земната основа;

$F_{rep}$  - представителна стойност на въздействието (определя се съгласно БДС EN 1990);

$X_k$  - характеристична стойност на почвените параметри в земната основа.

Когато се разглежда гранично състояние на устойчивост или недопустими деформации на земната основа (STR и GEO), трябва да бъде проверено условието

$$E_d \leq R_d. \quad (3)$$

Частните коефициенти при въздействията могат да бъдат прилагани или върху самите въздействия ( $F_{rep}$ ), или при техните влияния ( $E$ ), т.е.:

$$E_d = E\{\gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\} \quad \text{или}$$

$$E_d = \gamma_E E\{F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\}. \quad (4)$$

Носещата способност по принцип се определя с изразите:

$$R_d = R\{\gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d\} \quad \text{или}$$

$$R_d = R\{\gamma_F F_{rep}; X_k; a_d\} / \gamma_R. \quad (5)$$

### 3. Проверка на гранично състояние UPL

Удовлетворяването на условието на подем (UPL) трябва да се извърши чрез проверка на условието: изчислителната стойност на комбинацията на дестабилизиращите постоянни и променливите ( $Q_{dst;d}$ ) вертикални въздействия ( $V_{dst;d}$ ) да е по-малка или равна на сумата от изчислителните стойности на стабилизиращите постоянни въздействия ( $G_{stb;d}$ ) и изчислителната стойност на носещата способност на подем ( $R_d$ ):

$$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d, \text{ където}$$
$$V_{dst;d} = G_{dst;d} + Q_{dst;d}. \quad (6)$$

### 4. Проверка на гранично състояние NYD

Когато се разглежда гранично състояние на разрушение, дължащо се на повдигане вследствие на филтрация на водата в земната основа за определен профил, трябва да се провери условието:

изчислителната стойност на дестабилизиращия порен натиск ( $u_{dst;d}$ ) в дъното на всяка вертикала или изчислителната стойност на филтрационната сила ( $S_{dst;d}$ ) във вертикалата да са по-малки или равни на пълното стабилизиращо вертикално напрежение ( $\sigma_{stb;d}$ ) в дъното на колонката или теглото, облекчено с водния подем ( $G'_{stb;d}$ ) в същата вертикала.

Условието за равновесие се дефинира с изразите:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d}$$
$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d}. \quad (7)$$

В горните условия се използват частни коефициенти за  $u_{dst;d}$ ,  $\sigma_{stb;d}$ ,  $S_{dst;d}$  и  $G'_{stb;d}$  за постоянни и временни ситуации.

### 5. Проверка на експлоатационно гранично състояние

Проверката за експлоатационни гранични състояния в земната основа или в конструктивна част, елемент или връзка трябва да удовлетворява условието

$$E_d \leq C_d, \text{ където:} \quad (8)$$

$E_d$  е изчислителната стойност на влиянията на въздействията,

$$C_d - \text{граничната стойност на } E_d. \quad (9)$$

Стойностите на частните коефициенти за експлоатационни гранични състояния  $\gamma_G$ ,  $\gamma_R$  и  $\gamma_M$  трябва да бъдат приети равни на **1,0**.

### 6. Кратък анализ на частните коефициенти

Проверката по гранични състояния съгласно условията, показани по-горе, изисква дефиниране на частните коефициенти на сигурност за:

- въздействия или влияния от въздействия ( $A$ ) (две серии);
- почвени параметри ( $M$ ) (две или три серии);
- носеща способност ( $R$ ) (четири серии).

Стойностите на тези коефициенти могат да се дефинират с национални приложения или да се приемат препоръчителните стойности, дадени към Еврокод 7-1, където по принцип се препоръчват три изчислителни метода:

- метод 1: частните коефициенти *A1* се комбинират с *M1* и *R1* (комбинация съгласно BS);
- метод 2: частните коефициенти *A1* се комбинират с *M1* и *R2*; (комбинация съгласно DIN);
- метод 3: частните коефициенти *A1* (или *A2*) се комбинират с *M2* и *R3* (комбинация съгласно NF).

Стойностите на частните коефициенти са дадени в таблици 1, 2, 3, 4, 5 и 6.

**Таблица 1. Частни коефициенти при въздействия ( $\gamma_F$ ) или влияния от въздействия ( $\gamma_E$ )**

Въздействие		Символ	Серия	
			A1	A2
Постоянно	Неблагоприятно	$\gamma_G$	1,35	1,0
	Благоприятно		1,0	1,0
Променливо	Неблагоприятно	$\gamma_Q$	1,5	1,3
	Благоприятно		0	0

**Таблица 2. Частни коефициенти за почвени параметри ( $\gamma_M$ ) (съгласно EN1997)**

Почвен параметър	Символ	Серия	
		<i>M1</i>	<i>M2</i>
Ъгъл на вътрешно триене <sup>a</sup>	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Кохезия с ефективни напрежения	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Недренирана якост на срязване	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Якост при едноосен натиск	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Обемно тегло	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

<sup>a</sup> Този коефициент се прилага за  $\tan \phi'$

**Таблица 3. Частни коефициенти на носеща способност ( $\gamma_R$ ) за забивни пилоти**

Носеща способност	Символ	Серия			
		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
Основа	$\gamma_b$	1,0	1,1	1,0	1,3
Стебло на пилот (при натиск))	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Пълна/комбинирана (натиск)	$\gamma_t$	1,0	1,1	1,0	1,3
Пилоти на опън	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

**Таблица 4. Частни коефициенти на носеща способност ( $\gamma_R$ ) за сондажни пилоти**

Носеща способност	Символ	Серия			
		R1	R2	R3	R4
Основа	$\gamma_b$	1,25	1,1	1,0	1,6
Стебло на пилот (натиск)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Пълна/комбинирана (натиск)	$\gamma_t$	1,15	1,1	1,0	1,5
Пилоти на опън	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

**Таблица 5. Частни коефициенти на носеща способност ( $\gamma_R$ ) за изливни пилоти, изпълнявани със сонда без прекъсване (CFA)**

Носеща способност	Символ	Серия			
		R1	R2	R3	R4
Основа	$\gamma_b$	1,1	1,1	1,0	1,45
Стебло на пилот (натиск)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Пълна/комбинирана (натиск)	$\gamma_t$	1,1	1,1	1,0	1,4
Пилоти на опън	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

**Таблица 6. Частни коефициенти на носеща способност ( $\gamma_R$ ) за подпорни конструкции**

Носеща способност	Символ	Серия		
		R1	R2	R3
Носеща способност на земната основа	$\gamma_{R,v}$	1,0	1,4	1,0
Носеща способност при хлъзгане	$\gamma_{R,h}$	1,0	1,4	1,0
Земен натиск	$\gamma_{R,e}$	1,0	1,4	1,0

Изчислителните стойности на геотехническите параметри ( $X_d$ ) се получават от характеристикните стойности, като се използва следният израз:

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad (10)$$

или се оценяват директно.

Частният коефициент  $\gamma_M$  за **постоянни и временни ситуации** е дефиниран в таблица 2. Стойностите на  $\gamma_\phi'$ ,  $\gamma_c'$ ,  $\gamma_{cu}$ ,  $\gamma_{qu}$  и  $\gamma_\gamma$  за използване в съответната страна се дават в техните **национални приложения** към EN 1997-1. В националното приложение NA BDS 1997-1 за България са предложени стойности съгласно таблица 7.

**Таблица 7. Частни коефициенти за получаване на изчислителните стойности на почвените параметри ( $\gamma_M$ ) за България**

Почвен параметър	Символ	Стойност
Ъгъл на вътрешно триене <sup>a</sup>	$\gamma_{\phi'}$	1,20
Кохезия с ефективни напрежения	$\gamma_{c'}$	1,60
Недренирана якост на срязване	$\gamma_{cu}$	1,4
Якост при едноосен натиск	$\gamma_{qu}$	1,4
Обемно тегло	$\gamma_{\gamma}$	1,0
<sup>a</sup> Този коефициент се прилага за $\tan\phi'$		

Стойностите в горната таблица показват минимално ниво на сигурност за традиционни проекти. **Те са валидни за първа серия на коефициентите  $\gamma_M$ .**

Ако изчислителните стойности на геотехническите параметри са оценени директно, стойностите на частните коефициенти, препоръчани в Приложение А на EN 1997 – 1, следва да се използват като ръководство при определяне на необходимото ниво на сигурност.

При проектирането на фундаментите се разглеждат следните гранични състояния:

- загуба на обща устойчивост;
- загуба на носеща способност, разрушаване на продънване, смачкване;
- устойчивост на плъзгане;
- комбинирано разрушаване на земната основа и конструкцията;
- устойчивост на конструкцията вследствие на преместване на фундамента;
- изключително големи слягания;
- изключително големи повдигания вследствие на набъбване, замръзване и други причини;
- недопустими вибрации.

Проверката на *обща устойчивост* отделно със или без фундаментите се извършва задължително при следните ситуации:

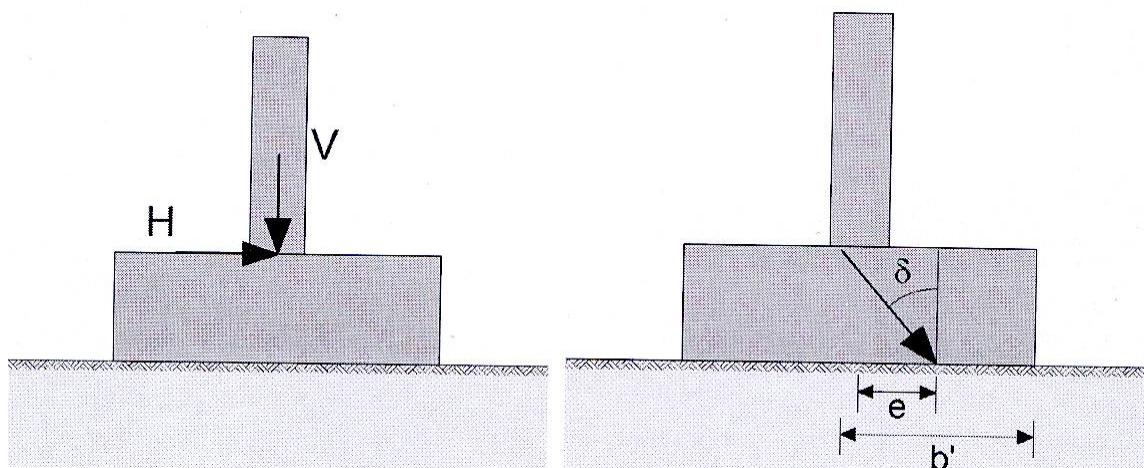
- в близост или върху естествени или изкуствени откоси;
- в близост до изкоп или подпорна стена;
- в близост до река, канал, езеро, резервоар или морски бряг;
- в близост до минни разработки или подземни конструкции.

За всички крайни гранични състояния трябва да е удовлетворено следното условие:

$$V_d \leq R_d \quad (11)$$

Носещата способност  $R_d$  се изчислява съобразно избрания изчислителен метод.

$V_d$  включва теглото на фундамента, теглото на материали от обратния насип и всички напрежения от земен натиск, благоприятен или неблагоприятен. Във въздействията трябва да бъде включен и хидростатичен натиск, който не е предизвикан от фундамента (фиг. 1).



**Фиг. 1. Обща схема на натоварването от фундаментите върху земната основа**

Изчислителната носеща способност може да бъде определена с израза (известната формула на Brinch – Hansen) [1, 7]:

$$R/A' = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot b' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma. \quad (11)$$

Изчислителните стойности на бездименсионните коефициенти се определят във функция от ефективния ъгъл на вътрешно триене.

Прилагането на комбинациите на частните коефициенти съгласно трите изчислителни метода е илюстрирано с два числени примера.

### 7. Числен пример 1.

Изисква се да се определи носещата способност на земната основа на плоскостен фундамент с размери 3.40/2.85 m, натоварен с характеристични товари съгласно схемата (фиг.1). За земната основа са определени характеристични стойности на почвените параметри, както следва: ъгъл на вътрешно триене  $\varphi'_k=22^\circ$ ; кохезия  $c'_k=20 \text{ kN/m}^2$ ; обемно тегло  $\gamma_k=19.1 \text{ kN/m}^3$ . Решението е извършено с компютърна програма DC Software.

Резултатите от изчислението показват, че при размери 3.40/2.85 m, земната основа може да поеме изчислителни товари  $V_d=450 \text{ kN}$ ,  $H_d=170 \text{ kN}$ ,  $M_d=350 \text{ kN.m}$ .

Решението е получено, като се прилагат четири серии комбинации на частните коефициенти съгласно методи 1, 2, 3 и таблица 7 (NA BDS 1997-1).

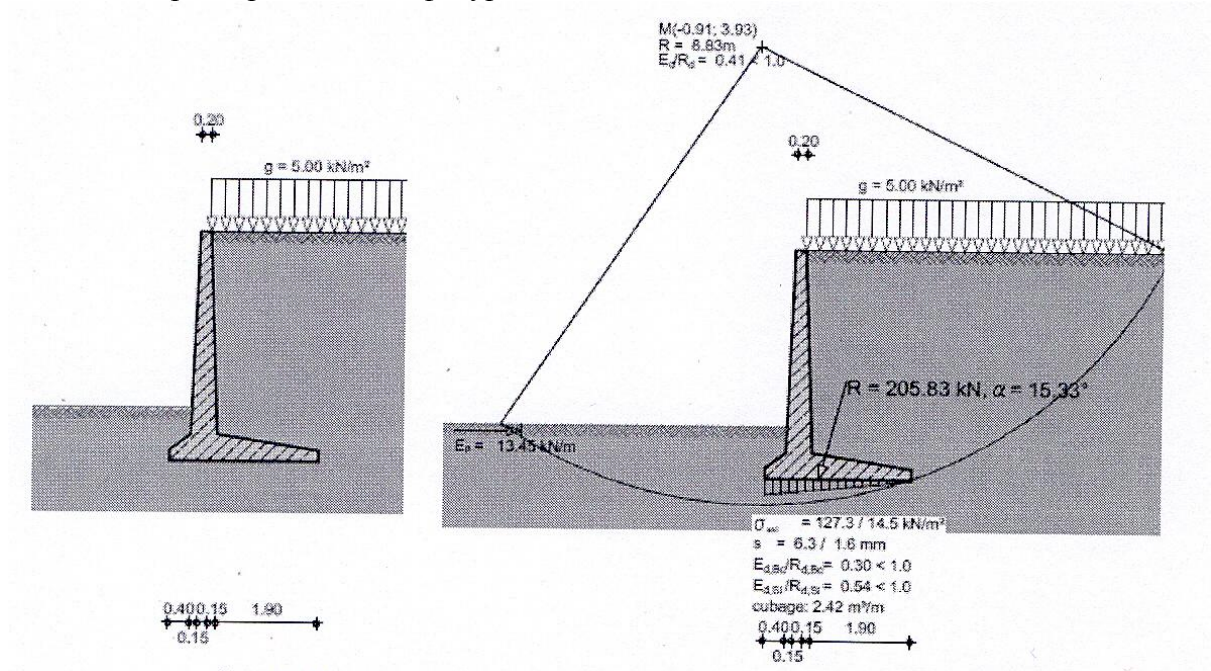
Детайлните резултати от изчисленията тук не се представят. В таблица 8 са дадени обобщените стойности на изчислителните (проектните) въздействия ( $N_d$ ) и изчислителните стойности на съпротивлението на земната основа ( $R_d$ ). Очевидно е, че при всички методи е изпълнено условието  $N_d \leq R_d$ .

**Таблица 8. Проверка на носеща способност на земната основа (резултати от изчисленията с програмата DC Software)**

Методи на проектиране	$N_d$	$R_d$	$N_d/R_d$
Метод 1 (BS)	934.54	1344.54	0.69
Метод 2 (DIN)	692.25	847.42	0.82
Метод 3 (NF)	692.25	847.42	0.82
Метод 4 (NA BDS 1997-1)	878.74	692.25	0.79

## 8. Числен пример 2.

Разглежда се устойчивостта на земната основа при подпорна стена. Стената е с височина 3.70 m и размери съгласно фигура 2.



**Фиг. 2. Схема на изследване на устойчивостта на подпорна стена**

Земната основа и масивът зад стената са представени от свързана почва със следните характеристични стойности на почените параметри: ъгъл на вътрешно триене  $\phi'_k = 28^\circ$ ; кохезия  $c'_k = 7.00$  kPa; обемно тегло  $\gamma = 19.00$  kN/m<sup>3</sup>.

### 8.1. Проверка на носеща способност на земната основа

Резултатите от изчисленията са представени в Таблица 9. Граничната стойност на изчислителната носеща способност на земната основа е означена с  $p_d$ .



**Таблица 9. Проверка на носеща способност на земната основа (резултати от изчисленията с програмата DC Software)**

Методи на проектиране	$p_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$N_d$ [kN]	$R_d$ [kN]	$N_d/R_d$
Метод 1 (BS)	383.22	2394.66	7885.46	0.30
Метод 2 (DIN)	273.73	2394.66	5632.47	0.43
Метод 3 (NF)	383.22	2140.54	7885.46	0.27
Метод 4 (NA BDS 1997-1)	383.22	2071.94	7885.46	0.26

### 8.2. Проверка на обръщане

Проверката се извършва с определяне на приложната точка на резултатната сила и изискването изчислителният ексцентрицитет да е  $e_d \leq b/6$ .

**Таблица 10. Проверка на обръщане**

Методи на проектиране	$N_d$ [kN]	$M_d$ [kNm]	$e_d$ [m]
Метод 1 (BS)	247.00	84.41	0.34
Метод 2 (DIN)	204.90	80.50	0.39
Метод 3 (NF)	201.43	75.33	0.37
Метод 4 (NA BDS 1997-1)	201.43	75.33	0.37

### 8.3. Проверка на хлъзгане

Тази проверка е традиционна и включва спазване на условието  $T_d/(R_{t,d} + E_{p,d}) < 1.00$ . ( $T_d$  е хлъзгащата сила;  $R_{t,d}$  – силата на триене в основата;  $E_{p,d}$  - пасивен земен натиск от въздушната страна на стената.

**Таблица 11. Проверка на хлъзгане**

Методи на проектиране	$T_d$ [kN]	$R_{td}+E_{pd}$ [kN]	$T_d/R_{td}+E_{pd}$
Метод 1 (BS)	54.42	105.55	0.54
Метод 2 (DIN)	57.12	75.39	0.76
Метод 3 (NF)	61.79	105.55	0.59
Метод 4 (NA BDS 1997-1)	58.06	105.55	0.55

### 8.4. Устойчивост по кръгово-цилиндрична повърхнина

Условието за устойчивост е отношението  $E_d/R_d < 1.0$  ( $E_d$  активните сили;  $R_d$  - съпротивителните сили)

**Таблица 12. Устойчивост по кръгово-цилиндрична повърхнина**

Методи на проектиране	$E_d$ [kN/m]	$R_d$ [kN/m]	$E_d / R_d$
Метод 1 (BS)	2080.92	5117.82	0.41
Метод 2 (DIN)	2080.92	5117.82	0.41
Метод 3 (NF)	1720.58	4595.67	0.37
Метод 4 (NA BDS 1997-1)	1581.59	4201.90	0.38

### **Заклучение**

Представените изчисления не очертават съществена разлика между изчислителните стойности на усилията и носещата способност на земната основа и устойчивостта на почвения масив, прилагайки комбинациите съгласно различните изчислителни методи.

Приемането на изчислителен метод 2 (съгласно DIN) и частни коефициенти за почвените параметри съгласно таблица 7 като валиден за България показва относително по-голяма сигурност в сравнение с другите методи.

### **Литература**

1. БДС EN 1997- 1. Геотехническо проектиране. Част 1. Общи правила. (162 стр.)
2. БДС EN 1997- 2. Геотехническо проектиране. Част 2. Изследване и изпитване на земната основа. (189 стр.).
3. A Designers' Simple Guide to BS EN 1997, Department for Communities and Local Government: London, January 2007 (139 pp.).
4. Dr. Eng. Armin Doster, DC-Software GmbH. Bearing Capacity Analysis acc. to Eurocode 7 based on the 3 Design Approaches, 2010.
5. BS EN 1997-1:2004 Eurocode 7: Geotechnical design — Part 1: General rules (172 pp.).
6. BS EN 1997—2: 2007, Part 2: Ground investigation and testing (203 pp.).
7. Brinch – Hansen J. Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. Geotechnik, Jahrgang 13, Heft 1, Germany, 1990.

Постъпила: Февруари, 2013

# **БДС EN 1997- 1. ГЕОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАДЕЖНОСТИ НА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ**

**Трифон Германов, Димитър Диков**

Резюме

Представлены результаты от вычисления несущей способности основания и устойчивости грунтовых массивах, применяя основных методах даны в EN 1997-1. Рассмотрены примеры – подколонны фундамент мелкого заложения и подпорная стенка. Несущая способность оснований определна използва формула Vrinch – Hansen. Анализ устойчивости включает устойчивости на опрокидывания, проверка на несущей способности, проверка на скольжения и устойчивости по кругло-цилиндрической поверхности. Вычисления не показывают существенные разницы применя отдельных проектных методов.

# **BDS EN 1997- 1 GEOTECHNICAL DESIGN. EFFECT OF THE PARTIAL COEFFICIENTS ON THE GROUND BEARING CAPACITY**

**Trifon Germanov, Dimitar Dikov**

Abstract

Keywords: *Eurocodes; bearing capacity; partial coefficients*

Research area: *soil mechanics and foundations*

The results from a computation of the ground bearing capacity and stability of the soil massifs, applying the basic design approaches, according to EN 1997-1 is presented. Two examples are considered – spread column foundation and cantilever retaining wall. The bearing capacity for different approaches is determinate by using the Brinch – Hansen formula. Analysis of the cantilever wall includes: overturning check, bearing capacity analysis, sliding safety analysis and analysis of safety for slope stability. There are not considerable differences of the results applying the individual design approaches.

---

<sup>1</sup>Trifon Germanov, Prof. PhD Eng.

<sup>2</sup>Dimitar Dikov, Assistant, Eng., Dept. of Geotechnics UACEG., 1046, Sofia.