



DOI: [10.71167/uaceg.2024.570116](https://doi.org/10.71167/uaceg.2024.570116)

Получена: 28.11.2022 г.

Приета: 05.12.2022 г.

## ЛЕКА ПОДПОРНА СТЕНА – ПРИНЦИПНИ РАЗЛИКИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ ПО НППС И ЕК7 ПРИ СТАТИЧНО НАТОВАРВАНЕ

И. Марков<sup>1</sup>

*Ключови думи:* подпорна стена, ЕК7, НППС

### РЕЗЮМЕ

Това изследване представя принципните разлики между НППС [1] и ЕК7 [2] при проектиране на лека подпорна стена. Изследвани са различията в нормативната постановка. Направено е сравнение на числен пример, като са показани разликите в коефициентите на сигурност при вариация на геометрични размери на стената, както и на параметрите на почвата, използвана за обратен насип. Проблемът е изследван само за статичен товар. За динамично натоварване е направено изследване в [3].

### 1. Общи положения на двете норми

В Република България, при определени условия, действат паралелно Норми за проектиране на подпорни стени [1], както и Конструктивната система Еврокодове, валидна за всички страни от Европейския съюз, както и в някои страни, които не са част от ЕС. В Еврокод 7 [2], са залегнали всички правила които касаят геотехническото проектиране на сгради и съоръжения. Съгласно [2] се извършва и проектирането на подпорни стени.

Теоретичните постановки, залегнали в [1 и 2], са еднакви. Коефициентът на активен земен натиск, определянето на хлъзгателната повърхнина и определянето на фиктивния гръб практически не се различават. Статическите условията за равновесие също се припокриват.

---

<sup>1</sup> Илиян Марков, гл. ас. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [imarkov\\_fte@uacg.bg](mailto:imarkov_fte@uacg.bg)

Разликите са породени от прилагането на парциалните коефициенти на сигурност. Условно можем да разделим три групи коефициенти на сигурност: за натоварване, за материални параметри на почвата и за носеща способност. Съгласно [1] коефициентът на сигурност за носеща способност се дефинира като отношение „съпротивление/натоварване“. В [2] е приета реципрочната стойност „натоварване/съпротивление“.

При постановката на [1] всички коефициенти – на натоварване и по материал – се прилагат еднозначно върху натоварване и материал. С така коригирани въздействия се извършват проверките на плитко хлъзгане и преобръщане и се проверява коефициентът на сигурност на съответното гранично състояние.

При прилагането на [2] граничните състояния се разделят на пет групи – като за настоящия анализ са важни две – EQU и GEO. Проверката на преобръщане попада в група EQU, а проверката на плитко хлъзгане в група GEO. В ЕК7 въздействията се разделят на благоприятни и неблагоприятни. Коефициентите за сигурност за натоварване се разделят по големина в зависимост от това дали въздействието е благоприятно или неблагоприятно. Коефициентите за сигурност по материал са еднакви за двата вида въздействие. Коефициентът на сигурност за съпротивление приема стойност единица.

## 2. Коефициенти на сигурност при НППС и ЕК7

Прилагат се коефициенти за сигурност върху: въздействия, материални параметри на почвата и коефициент на сигурност на изследваното крайно гранично състояние.

**Таблица 1. Сравнение между товарните коефициенти при НППС и ЕК7**

Коефициент за сигурност	Параметър	НППС	ЕК7,GEO fav	ЕК7,GEO unfav	ЕК7,EQU stb	ЕК7,EQU dst
Въздействия върху стената	Постоянно натоварване	$\gamma_G=1,1$	$\gamma_{G,fav}=1,0$	$\gamma_{G,unfav}=1,35$	$\gamma_{G,stb}=0,9$	$\gamma_{G,dst}=1,1$
	Временно натоварване	$\gamma_Q=1,1\div 1,4^*$	$\gamma_{Q,fav}=0$	$\gamma_{Q,unfav}=1,5$	$\gamma_{Q,stb}=0$	$\gamma_{Q,dst}=1,5$
Материални параметри на почвата	Обемно тегло	$\gamma_\gamma=1,1^{**}$	$\gamma_\gamma=1,0$	$\gamma_\gamma=1,0$	$\gamma_\gamma=1,0$	$\gamma_\gamma=1,0$
	Ъгъл на вътрешно триене	$\gamma_\varphi=1,2^{**}$	$\gamma_\varphi=1,0$	$\gamma_\varphi=1,0$	$\gamma_\varphi=1,2$	$\gamma_\varphi=1,2$
	Кохезия	$\gamma_c=2,0^{**}$	$\gamma_c=1,0$	$\gamma_c=1,0$	$\gamma_c=1,6$	$\gamma_c=1,6$
Коефициентът на сигурност за носеща способност	Плитко хлъзгане	$\gamma_R=1,3$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$
	Преобръщане	$\gamma_R=1,5$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$

Забележки:

\* –  $\gamma_Q$  при НППС зависи от вида на временното натоварване

\*\* – за  $\gamma_\gamma$ ,  $\gamma_\varphi$ ,  $\gamma_c$ , се дефинират с тези стойности при липса на достатъчно проби за статистическа обработка. При повече от 6 проби се прави обработка по метода на най-малките квадрати.

Макар и в двете норми да се използват различни означения, тук за целта на сравнението се използват следните означения:

$\gamma_G$  е коефициент на сигурност, прилаган върху постоянния товар;

- $\gamma_Q$  – коефициент на сигурност, прилаган върху временния товар;  
 $\gamma_\gamma$  – коефициент на сигурност, прилаган върху обемното тегло на почвата;  
 $\gamma_\varphi$  – коефициент на сигурност, прилаган върху ъгъла на вътрешно триене;  
 $\gamma_c$  – коефициент на сигурност, прилаган върху кохезията;  
 $\gamma_R$  – коефициент за носеща способност.

**Таблица 2. Обобщено сравнение между коефициентите, прилагани върху различните гранични състояния**

Коефициент, прилаган върху:	НППС	EK7,GEO	EK7,EQU
Въздействие	Коефициентът се прилага с <b>еднаква</b> тежест върху благоприятни и неблагоприятни въздействия	Коефициентът се прилага с <b>различна</b> тежест върху благоприятни и неблагоприятни въздействия*	Коефициентът се прилага с <b>различна</b> тежест върху благоприятни и неблагоприятни въздействия*
Материал	Кохезията и ъгълът на вътрешно триене се <b>коригират</b> (при по-малко от 6 проби)	Кохезията и ъгълът на вътрешно триене <b>не се коригират</b>	Кохезията и ъгълът на вътрешно триене се <b>коригират</b>
Коефициентът на сигурност за носеща способност	$\frac{\text{благоприятни}}{\text{неблагоприятни}} > 1,3(1,5)$	$\frac{\text{неблагоприятни}}{\text{благоприятни}} \leq 1$	$\frac{\text{неблагоприятни}}{\text{благоприятни}} \leq 1$

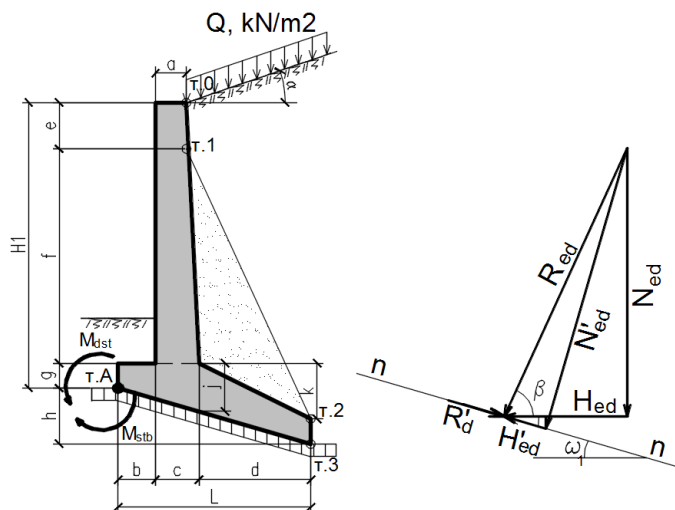
Забележки:

\* – Тук се нарушава правилото “Single Source Principle”. Едно и също въздействие има различно последствие в зависимост от това дали е благоприятно или не. Например полезният товар участва с коефициент 1,5 при определяне на натоварването, а не участва при определяне на съпротивлението.

### 3. Количествена оценка на различията при решение на лека подпорна стена, засипана с несвързан материал

Изследвана е лека подпорна стена с геометрия, съгласно фиг. 1. Обратният насип зад стената е проектиран от несвързан материал. В анализа се използва варирането на геометричните размери, както и ъгълът на вътрешно триене на насипа. Задачата е решена според класическата теория, при която се образува фиктивен гръб по ъгъл  $\nu = 45 + \varphi/2$  спрямо хоризонта. При така образуваната повърхнина фиктивният гръб се разделя на три участъка, върху които са приложени равнодействащите сили на всички външни натоварвания:

- уч. 0-1 е вертикален гръб. Земният натиск е определен по закона на Кулон;
- уч. 1-2 е вертикален гръб. Земният натиск е определен по закона на Ранкин;
- уч. 2-3 е вертикален гръб. Земният натиск е определен по закона на Кулон.



Фиг. 1. Типово сечение на изследваната подпорна стена

Анализирани са четири варианта на леката подпорна стена от фиг. 1, като се променя височината. Размерите са показани в табл. 3.

Таблица 3. Размери на изследваните подпорни стени

Височина	$L$ , cm	$a$ , cm	$b$ , cm	$c$ , cm	$d$ , cm	$h$ , cm	$g$ , cm	$i$ , cm
$H_1 = 3$ m	1,50	0,25	0,00	0,30	1,20	0,35	0,30	0,25
$H_1 = 4$ m	2,10	0,25	0,00	0,40	1,70	0,45	0,14	0,35
$H_1 = 5$ m	2,50	0,35	0,00	0,55	1,95	0,50	0,55	0,40
$H_1 = 6$ m	3,00	0,40	0,00	0,60	2,40	0,75	0,60	0,50

За да се получи по-цялостно решение, е променян и ъгълът на вътрешно триене на почвата. Така се получават 16 решения, от които може да се получи сходимост на коефициента на носещата способност.

Таблица 4. Стойности на материалните параметри при сравнителен анализ на двете гранични състояния.  $\varphi_1 = 25^\circ$ ,  $\varphi_2 = 30^\circ$ ,  $\varphi_3 = 35^\circ$ ,  $\varphi_4 = 37^\circ$  с приложени материални коефициенти на сигурност

Норми	$\varphi_1$ , [°]	$\delta_1$ , [°]	$\varphi_2$ , [°]	$\delta_2$ , [°]	$\varphi_3$ , [°]	$\delta_3$ , [°]	$\varphi_4$ , [°]	$\delta_4$ , [°]	$\gamma_n$ , kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_b$ , kN/m <sup>3</sup>	$Q$ , kN/m <sup>2</sup>
Характеристични стойности	25	8,33	30	10	35	11,6	37	12,3	18	25	10
НППФ	20,8	6,9	25	8,3	29,2	9,6	33,3	11,0	19,8	30	12
EK7 (GEO, fav)	25	8,33	30	10	35	11,6	37	12,3	18	25	0
EK7 (GEO, unfav)	25	8,33	30	10	35	11,6	37	12,3	24,3	33,8	15
EK7 (EQU, stb)	20,8	6,9	25	8,3	29,2	9,6	33,3	11,0	16,2	27,5	0
EK7 (EQU, dst)	20,8	6,9	25	8,3	29,2	9,6	33,3	11,0	19,8	22,5	15

Изследвани са граничните състояния на всички четири подпорни стени с размери, показани в табл. 3. За материални параметри са ползвани стойностите, показани в табл. 4.

### 3.1. Проверка на плитко хлъзгане

Тази проверка е силово изражение на закона на *Coulomb*. Всички сили са редуцирани до равнодействащата им, която е приложена със своята големина, посока и наклон в центъра на тежестта на основната плоскост. Равнодействащата се разлага на тангенциална и нормална компонента спрямо равнината на основната плоскост на подпорната стена, съгласно фиг. 1. Счита се, че проверката е удовлетворителна, когато е изпълнено условие (1)

$$R_d \geq H_{Ed}, \quad (1)$$

където  $R_d$  е съпротивителната сила в kN;

$H_{Ed}$  – хлъзгащата сила, kN.

За целта на това изследване е прието съпротивителната сила да се получава от израза  $R_d = N_{ed} \tan \delta$ , като е използвана същата стойност на  $\delta$ , както при получаване на натоварването. При количествената оценка на решенията по двете норми се сравнява отношението (2) (3).

Коефициентът на сигурност за носещата способност, съгласно [1] се дефинира с отношението (2):

$$F_{s, \text{НППС}} = \frac{R_d}{H_{Ed}} > 1,3. \quad (2)$$

За да се разграничи сравнението от различите коефициенти на сигурност, изкуствено въвеждаме коефициент на използваемост:

$$f_{i, \text{НППС}} = \frac{\frac{R_d}{H_{Ed}}}{1,3} = \frac{F_{s, \text{НППС}}}{1,3}. \quad (3)$$

Коефициентът на сигурност за носещата способност, съгласно [2] се дефинира с отношението (3):

$$\Lambda_{EK} = \frac{H_{Ed}}{R_d} \leq 1,0. \quad (4)$$

За да се разграничи сравнението от различите коефициенти на сигурност, изкуствено въвеждаме коефициент на използваемост:

$$f_{i, EK} = \frac{\frac{\Lambda_{EK}}{H_{Ed}}}{\frac{R_d}{H_{Ed}}} \geq 1. \quad (5)$$

Коефициентът на използваемост показва запаса спрямо заложения нормативен коефициент на сигурност за носещата способност. При  $f_i = 1,0$  стената е проектирана

точно според изискуемата сигурност. При  $f_i = 1,1$ , стената има 10 % запас. При  $f_i = 0,6$ , стената има 60 % от изискуемата сигурност.

**Таблица 5. Получени коефициенти за носеща способност за плитко хлъзгане при различни ъгли на вътрешно триене и различна височина**

		$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 35^\circ$	$\varphi = 37^\circ$
$H_1 = 3 \text{ m}$	$f_{i,\text{НППС}}$	0,35	0,60	1,15	1,60
$H_1 = 3 \text{ m}$	$f_{i,\text{ЕК}}$	0,39	0,71	1,50	2,25
$H_1 = 4 \text{ m}$	$f_{i,\text{НППС}}$	0,39	0,68	1,37	1,96
$H_1 = 4 \text{ m}$	$f_{i,\text{ЕК}}$	0,45	0,84	1,87	2,91
$H_1 = 5 \text{ m}$	$f_{i,\text{НППС}}$	0,37	0,63	1,20	1,64
$H_1 = 5 \text{ m}$	$f_{i,\text{ЕК}}$	0,44	0,81	1,71	2,55
$H_1 = 6 \text{ m}$	$f_{i,\text{НППС}}$	0,43	0,80	1,86	3,10
$H_1 = 6 \text{ m}$	$f_{i,\text{ЕК}}$	0,51	1,04	2,65	5,07

При анализ на получените резултати от всички 16 решения се вижда, че за проверката на плитко хлъзгане извършена по ЕК7 [2] е с (15 – 50) % по консервативна.

### 3.2. Проверка на преобръщане

При проверката на преобръщане се анализира възможността стената да се преобръгне около т. А (фиг. 1). Стената и присъединената почвена призма се приемат като твърди тела, които са натоварени със силите от активен земен натиск, както и собствено тегло, и полезен товар.

Уравнението за равновесие, съгласно НППФ:

$$F_{s,\text{НППС}} = \frac{M_{stb}}{M_{dst}} > 1,5, \quad (6)$$

където  $F_{s,\text{НППС}}$  е коефициентът на сигурност;

$M_{stb}$  – задържащият момент, kNm;

$M_{dst}$  – обръщащ момент, kNm.

Коефициентът на използваемост изглежда така:

$$f_{i,\text{НППС}} = \frac{M_{stb}}{1,5 M_{dst}} = \frac{F_{s,\text{НППС}}}{1,5} \geq 1. \quad (7)$$

Уравнението за равновесие, съгласно ЕК7, гранично състояние EQU:

$$\Lambda_{EK7} = \frac{M_{dst}}{M_{stb}} \leq 1,0. \quad (8)$$

За да се разграничи сравнението от различите коефициенти на сигурност, изкуствено въвеждаме коефициент на използваемост:

$$f_{i,EK} = \frac{\Lambda_{EK}}{\frac{M_{dst}}{M_{stb}}} = \frac{M_{stb}}{M_{dst}} \geq 1. \quad (9)$$

**Таблица 4. Получени коефициенти за носеща способност за преобръщане при различни ъгли на вътрешно триене и различна височина**

		$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 35^\circ$	$\varphi = 37^\circ$
$H_1 = 3 \text{ m}$	$f_{i,НППС}$	0,98	1,41	2,18	2,60
$H_1 = 3 \text{ m}$	$f_{i,EK}$	0,71	0,92	1,33	1,55
$H_1 = 4 \text{ m}$	$f_{i,НППС}$	1,09	1,51	2,48	3,08
$H_1 = 4 \text{ m}$	$f_{i,EK}$	1,15	1,62	2,57	3,17
$H_1 = 5 \text{ m}$	$f_{i,НППС}$	0,92	1,27	1,89	2,28
$H_1 = 5 \text{ m}$	$f_{i,EK}$	0,90	1,37	2,01	2,41
$H_1 = 6 \text{ m}$	$f_{i,НППС}$	0,96	1,32	1,95	2,34
$H_1 = 6 \text{ m}$	$f_{i,EK}$	1,01	1,40	2,05	2,45

При анализ на получените резултати от всички 16 решения се вижда, че за проверката на преобръщане, извършена по ЕК7 [2], е с около 10 % по-консервативна.

#### 4. Обобщение

При направения теоретичен и аналитичен анализ на двата норматива могат да се направят няколко извода. Теорията, залегнала зад нормите, е еднаква. Прилагането на частните коефициенти за сигурност по материал, натоварване и носеща способност се различава принципно. Може би най-важният извод е, че подпорна стена, решена по ЕК7, дава по-голяма сигурност спрямо тази, получена по НППС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Normi za proektirane na podporni steni. 1986 g.
2. BDS EN 1991-1/NA. 2007 g., Evrokod 7.
3. *Mihova, L., Sulay, I., Kerenchev.* Vliyanie na kompleksnite parametri varhu stoynostite na koefitsienta na aktiven zemen natisk po teoriyata na Mononobe-Okabe – chast parva. // Godishnik na UASG, 2019, 52 (2): 577-590.

## A CANTILEVER RETAINING WALL – PRINCIPAL DIFFERENCES OF BULGARIAN AND EC7 DESIGN FOR STATIC LOAD

I. Markov<sup>1</sup>

*Keywords: retaining wall, EC7*

### ABSTRACT

This study presents the fundamental differences between Bulgarian code and EC7 when designing a cantilever retaining wall. The differences in the normative formulation are investigated. A numerical example is compared, showing the differences in the coefficients of security for variations of wall geometric dimensions, as well as of soil parameters used for backfilling.

---

<sup>1</sup> Iliyan Markov, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: [info@mcadbg.com](mailto:info@mcadbg.com)