



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580110](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580110)

Получена: 05.12.2024 г.

Приета: 13.12.2024 г.

НОВИ КОНЦЕПЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕТО НА УКРЕПИТЕЛНИ СЪОРЪЖЕНИЯ СЪГЛАСНО ЕВРОКОД 7 – ВТОРО ПОКОЛЕНИЕ

И. Марков¹

Ключови думи: подпорна стена, укрепителна стена, ЕК7, второ поколение

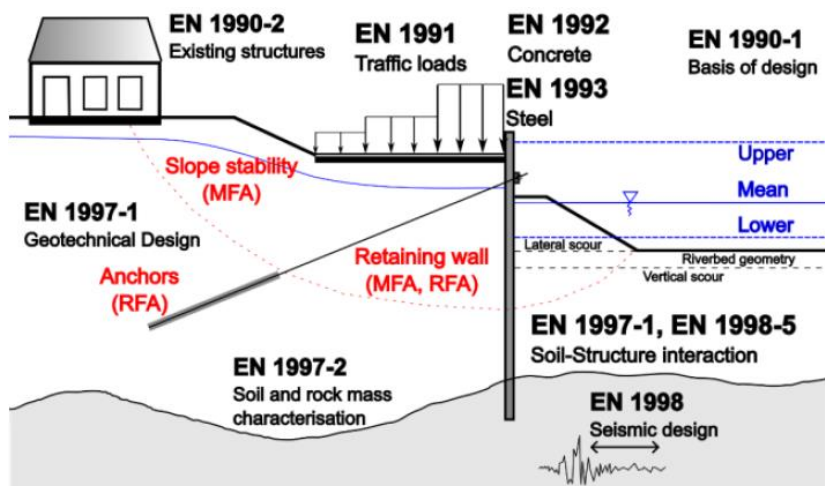
РЕЗИЮМЕ

Второто поколение внася промени в различни аспекти на геотехническото проектиране. Указанията за проектирането на укрепителни конструкции вече се намират в Глава 7 на новата част 3 от второ поколение на Еврокод 7. Тази статия представя новите аспекти в проектирането на укрепителни съоръжения и сравнение с действащите в България НППС и Еврокод 7 – първо поколение.

1. Въведение

Към момента в България валидните норми за проектиране на подпорни стени са както НППС [1], така и Еврокод 7 първа и втора част [2, 3]. За укрепителни стени не са налични български норми за проектиране. В новото поколение проектирането на подпорни и укрепителни стени е преместено в новата част 3 на Еврокод 7 [4], като няма принципни промени в теоретичните постановки и геотехническите принципи, които познаваме. Основната промяна идва от общото подобрене на второто поколение Еврокодове, което се състои в хармонизация на всички части на Еврокодовете и уеднаквяване на принципите за конструктивно и геотехническо проектиране. В случая на геотехническо проектиране на фиг. 1 се вижда връзката между укрепителните стени и останалите части на геотехническите конструкции.

¹ Илиян Марков, гл. ас. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: imarkov_fte@uacg.bg



Фиг. 1. Взаимосвързаност между отделните части на Еврокодовете [5]

Глава 7 на Еврокод 7-3 [4] за укрепителни конструкции дава насоки за основи на проектирането, геотехнически анализ, подпочвена вода, проверка по гранични състояния, както и осигуряване на качеството на:

- подпорна стена – подпорна конструкция, изградена от камък, бетон или стоманобетон с основна плоскост със или без пета, разтоварваща конзола или контрафорс;
- укрепителна стена – относително тънка подпорна конструкция от стомана, стоманобетон или дървен материал, чиято устойчивост е осигурена от пасивното съпротивление на почвата и/или анкери. Огъвната коравина на конструкцията е от съществено значение, докато собственото тегло не е от значение. Като укрепителни се приемат и стените, които нямат голяма част под изкопа;
- комбинирани стени – състоящи се от елементи на подпорни и укрепителни стени.

В тази статия се представят основните различия спрямо предходната версия на Еврокод 7, както и новите точки, които не са били част от предходното издание.

2. Основи на проектирането

Донякъде се запазва структурата на тази подточка. Тук новостите не са конкретно за укрепителни съоръжения¹, а за общата система Конструктивни Еврокодове:

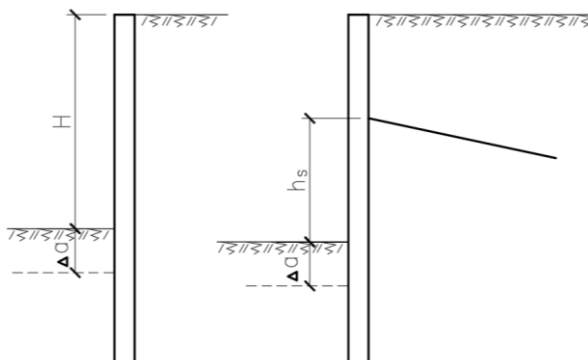
- зона на влияние – включва влиянието на проектираното съоръжение върху съществуващи конструкции;
- клас по степен на отговорност (Consequences of failure), клас по геотехническа сложност (Geotechnical Complexity Class), геотехническа категория (Geotechnical Category);

¹ Тук под укрепително съоръжение се разбира както подпорна, така и укрепителна стена.

- здравина, дълготрайност и изисквания за устойчивост за зададения проектен живот;
- почвен модел със стойности на геотехническите параметри, точен геоложки строеж и условия на подпочвената вода;
- проектни ситуации и геометрични свойства;
- въздействия и влияние на околната среда;
- подпочвена вода;
- точно определяне на подходящите гранични състояния с надеждни изчислителни модели;
- представителни стойности на почвените параметри за всяко гранично състояние;
- изисквания за управление на качеството.

Понеже няма възприет термин, на някои от термините нарочно е оставен и оригиналният текст на английски език.

2.1. Дълбочина на изкопаване



Фиг. 2. Приемане на по-голяма дълбочина на изкопа спрямо проектната [4]

Проектното ниво на почвата пред стената трябва да се понижи под номиналното ниво с Δa , определено от условията:

- за конзолни стени, $\Delta a = \min(0,1H; 0,5 \text{ m})$, където H е височината на стената над нивото на изкопа;
- за подпирени стени, $\Delta a = \min(0,1h_s; 0,5 \text{ m})$, където h_s е разстоянието между най-долната опора и нивото на изкопа.

2.2. Минимална дълбочина на проучване на земната основа

В хоризонтална посока вече се намесва зоната на влияние, в която трябва да се изясни геоложкият строеж, достатъчен за описание на почвен модел. За подпорни се използва дълбочината на проучване, заложена в главата за плоски фундаменти, която вече зависи от геотехническата категория:

- $d_{\min} - 2$ m за геотехническа категория 1;
- d_{\min} – по-голямото от 3 m, или 3 пъти по-малкия размер на фундамента за геотехническа категория 2;
- d_{\min} – по-голямото от 6 m, или 3 пъти по-малкия размер на фундамента за високи сгради.

За укрепителни стени минималната дълбочина за проучване на земната основа е 5 m, като се отчита от Глава 6 – проектиране на пилотни фундаменти.

3. Подпочвена вода

Докато имаше разминаване в предходното поколение на EN1990-7, сега вече в т. 6 на [6] ясно е решено как да се отчита водата. При наличието на достатъчно информация за статистическа обработка и очаквано превишаване на средното ниво, представителната стойност на напрежението от вода $F_{w,rep}$ се избира измежду двете възможни:

- единична постоянна стойност, равна на характеристична висока стойност $G_{wk,sup}$ или ниска стойност $G_{wk,inf}$, която е по-неблагоприятна;
- комбинация от:
 - постоянна стойност G_{wk} , равна на средноаритметичната стойност на хидростатичния натиск;
 - променлива стойност $Q_{w,rep}$, равна на промяната на хидростатичния натиск.

4. Геотехнически анализ

Под геотехнически анализ се разбира предимно определянето на стойностите на земния натиск, разпределението му и влиянието върху ефекта от въздействия. Допуска се използването на три групи модели:

- аналитични модели – такива са моделите по метода за гранично равновесие, методи за греда на еластична основа;
- полуемпирични – включват моделите с обвивка на земния натиск;
- числено полупространство – модели по МКЕ.

В ЕК7-3 [4] се дава детайлно описание на възможни постановки за определяне на граничните стойности на земния натиск – активен и пасивен, както и стойностите земен натиск в покой. Новото е постановки за определяне на междинни стойности на земния натиск.

При определяне на земния натиск се използват познати вече постановки. Нововъведението е, че има минимална стойност на земния натиск $p_{a,\min} = 10\%$ от вертикалното напрежение, което съответства на коефициент на земен натиск $K_a = 0,1$. Въведени са нови формули за отчитане на земния натиск от уплътнение, както и земен натиск, породен от циклично движение на устоите на интегрални мостове, дължащо се на температурни промени. Нова е постановката за определяне на междинни стойности на земен натиск, който зависи от големината на преместването (завъртането) на укрепителната конструкция.

$$K_{ph,mob}(z) = K_0 + (K_{ph} - K_0) \frac{v(z)/z}{a + v(z)/z}, \quad (1)$$

където K_0 е коефициент на земен натиск в покой;

K_{ph} – хоризонтална компонента на пасивен земен натиск;

z – дълбочина;

$v(z)$ – хоризонтално преместване на дълбочина z , $v(z) = s_h(1 - z/h)$;

s_h – хоризонтално преместване при върха на стената;

h – височината на укрепителната стена;

a – коефициент, зависещ от почвата зад стената.

5. Крайно гранично състояние

Основните КГС са описани в началото на Еврокод 7-3 [4], като в Глава 7 се допълват с конкретни КГС, които могат да се случат предимно за укрепителни съоръжения. Проверката по КГС, съгласно Еврокод 0 [7] се извършва под формата на сила (напрежение), съгласно израз (2), или деформация съгласно израз (3).

$$E_d = R_d, \quad (2)$$

$$E_d = C_{d,ULS}, \quad (3)$$

където E_d е изчислителна стойност на въздействие или ефект от въздействие в израз (2) и изчислителна стойност на деформация (3);

E_d – изчислителна стойност на съответното съпротивление;

R_d – граничната проектна стойност за крайно гранично състояние на прекомерната деформация, която се счита, че причинява крайно гранично състояние.

За разлика от предходното поколение Еврокод, тук вече проверката за разрушение и прекомерна деформация е заложена в отделни изрази. Проверката за прекомерни деформации има смисъл предимно за пластични материали, при които разрушение може да настъпи при много големи деформации.

5.1. Частни коефициенти

Тук е една от основните промени. Всички подгрупи гранични състояния вече са отменени и проверките за равновесие (EQU), разрушение в почвата (GEO) или конструктивни елементи (STR), воден подем (UPL) и хидравлично разрушение (HYD) вече се извършват с две възможни комбинации от коефициенти. Това са:

- Material Factor Approach (MFA) – подход, при който се прилагат коефициенти върху γ_F въздействия и γ_M материални (почвени) параметри;
- Resistance Factor Approach (RFA) – подход, при който се прилагат коефициенти γ_E върху ефект от въздействия и γ_R върху съпротивление (носеща способност).

Изборът кой от двата подхода да се използва следва да се направи в националните приложения. Комбинацията от частни коефициенти за въздействия или ефекти от

въздействия се базират на Verification Cases (VC)¹, които са показани в ЕК0 [7]. Частните коефициенти за материалните свойства (set M) са дадени в ЕК7-1 ([6]).

Таблица 1. Частни коефициенти за проектиране на укрепителни съоръжения за основни (временни и постоянни) проектни ситуации, [4]

Проверка на	Частният коефициент се прилага върху	Символ	Material Factor Approach			Resistance Factor Approach	
			Две комбинации (a) и (б) или единична (c)			d)	e)
			a)	b)	c)	d)	e)
Обща устойчивост ¹⁾	Въздействия и ефект от въздействия	γ_F и γ_E	VC3			Не се използва	
	Почвени свойства	γ_M	M2				
Носеща способност на земната основа и съпротивление срещу плитко хлъзгане ²⁾	Въздействия и ефект от въздействия	γ_F и γ_E	VC1	VC3	VC1	VC1	VC4
	Почвени свойства	γ_M	M1	M2	M2	Не се прилагат коефициенти	
	Носеща способност	γ_{RN}	Не се прилагат коефициенти			1,4	
	Съпротивление срещу хлъзгане	γ_{RT}	Не се прилагат коефициенти			1,1	
Носеща способност за укрепителни стени ³⁾	Въздействия и ефект от въздействия	γ_F и γ_E	VC4	VC3	-	Не се прилагат коефициенти	
	Почвени свойства	γ_M	M1	M2	-	Не се прилагат коефициенти	
	Пасивно съпротивление	γ_{Rtr}	Не се прилагат коефициенти			Не се използва	
Ротационна загуба на устойчивост	Въздействия и ефект от въздействия	γ_F и γ_E	VC4	VC3			
	Почвени свойства	γ_M	M1	M2			
	Пасивно съпротивление	γ_{Re} и γ_E	Не се прилагат коефициенти			1,4 γ_E (1,12 γ_E) ^c	

¹⁾ от Глава 4 – откоси;

²⁾ от Глава 5 – плоски фундаменти;

³⁾ от Глава 6 – пилотни фундаменти;

В случай на RFA съществува възможност за използване на частни коефициенти за въздействия (VC1) или ефекти от действия (VC4). Прилагането на коефициенти върху

¹ Някои от термините нямат приет превод на български език и поради това е оставен оригиналният термин.

ефектите от действията (VC4), по подобен начин на подхода DA2* от първото поколение Еврокод 7, може да бъде особено полезно при прилагане на числени методи и за проблеми, при които водният натиск има доминиращо влияние върху проекта. За конструктивно проектиране на подпорна или укрепителна стена ефектите от действията по отношение на разрезните усилия трябва да бъдат взети под внимание, за да се получат техните проектни стойности. За числени модели се препоръчва MFA, докато RFA е подходящ за аналитични модели.

Еврокод 7-3 [4] предлага точно пет набора от частни коефициенти – три за MFA и два за RFA, показани в табл. 1.

VC (Verification case) е набор от коефициенти, които се прилагат върху натоварването и зависят както от това, дали натоварването е благоприятно или не, така и от клас по значимост. Точната стойност на частните коефициенти за съответния VC се отчитат от табл. 2.

Таблица 2. Частни коефициенти за въздействия и ефекти от въздействия за проектни случаи VC1 до VC4 за постоянни и временни проектни ситуации, [4]

Въздействие или ефект				Частни коефициенти γ_f и γ_E за проектни случаи				
Тип	Група	Символ	Краен ефект	Конструктивно съпротивление	Статично равновесие и воден подем		Геотехническо проектиране	
Проектен случай				VC1	VC2(a)	VC2(b)	VC3	VC4
Постоянно въздействие (G_k)	Всички	γ_G и γ_E	Неблагоприятен/	1,35 k_F	1,35 k_F	1,0	1,0	Не се прилагат коефициенти върху G_k
	Вода	γ_{Gw}	Дестабилизиращ					
	Всички	$\gamma_{G,stab}$	Стабилизиращ	Не се използва	1,15	1,0	Не се използва	
	Вода	$\gamma_{Gw,stab}$			1,15	1,0		
	Всички	$\gamma_{G,fav}$	Благоприятен	1,0	1,0	1,0	1,0	
Временно въздействие (Q_k)	Всички	γ_Q	Неблагоприятен	1,50 k_F	1,50 k_F	1,50 k_F	1,3	$\gamma_{Q,red}$
	Вода	γ_{Qw}		1,35 k_F	1,35 k_F	1,35 k_F	1,15	1,0
	Всички	$\gamma_{Q,fav}$	Благоприятен	0				
Ефект от въздействие (E)		γ_E	Неблагоприятен	γ_E не се прилага				1,35 k_F
		$\gamma_{E,fav}$	Благоприятен					1,0

Коефициентът k_F приема стойности 1,1/1,0/0,9 съответно за клас по значимост CC3, CC2, CC1. Коефициентите за редуция на материални параметри M1, M2 и M3 се отчитат от табл. 3.

Таблица 3. Частни коефициенти за почвени параметри за постоянни и временни проектни ситуации

Почвен параметър	Символ	M1	M2
Ефективна якост на срязване (τ_f)	γ_f	1,0	1,25 k_M
Коефициент за върхов ъгъл на вътрешно триене ($\tan\phi'_p$)	$\gamma_{\tan\phi,p}$	1,0	1,25 k_M
Върхова кохезия (c'_p)	$\gamma_{c,p}$	1,0	1,25 k_M
Коефициент за остатъчен ъгъл на вътрешно триене ($\tan\phi'_r$)	$\gamma_{\tan\phi,r}$	1,0	1,1 k_M
Остагъчна ефективна кохезия (c'_r)	$\gamma_{c,r}$	1,0	1,1 k_M
Недренирана кохезия (c_u)	γ_{c_u}	1,0	1,4 k_M
Коефициент на триене между конструкция и земна основа ($\tan\delta$)	$\gamma_{\tan\delta}$	1,0	1,25 k_M

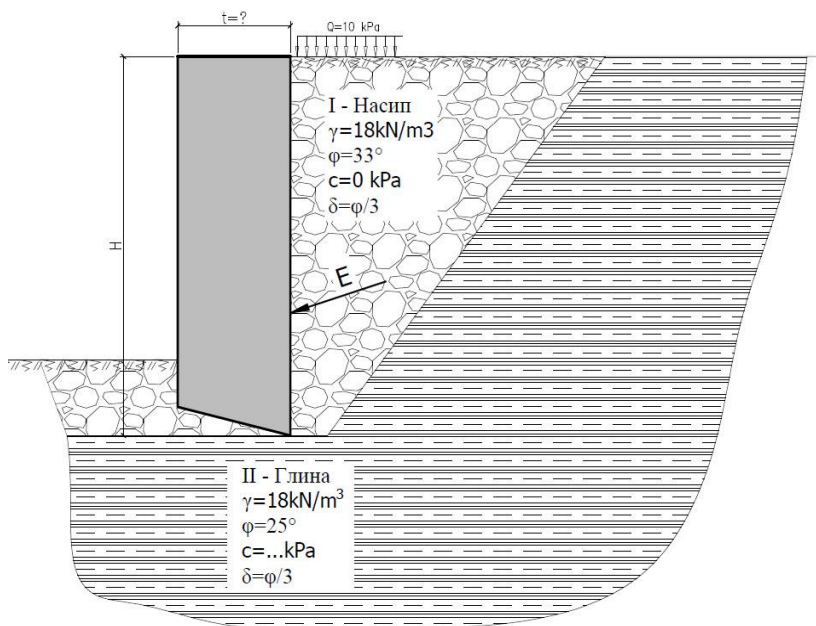
Коефициентът k_M приема стойности 1,1/1,0/0,9 съответно за клас по значимост СС3, СС2, СС1.

Новите Еврокодове [4, 6, 7] позволяват последователна проверка на множество крайни гранични състояния с един набор от частни коефициенти. Това е възможно дори за решения, комбиниращи повече от една геотехническа конструкция в числени модели. Въпреки това, липсата на официални насоки относно избора на набор от коефициенти би следвало да се смята за затруднение. Новият Еврокод предоставя насоки за избор между следните възможности:

- Подход 1 (за предпочитане) с две проверки [5]:
 - прилагане на коефициенти върху резултатите – корекция на ефектите от въздействия (VC4), напр. огъващи моменти;
 - прилагане на коефициенти върху входните данни – корекция предимно на материалните свойства (комплекти VC3 и M2);
- Подход 2 (алтернативен): Прилагане на коефициенти върху резултатите – корекция на ефектите от въздействия (VC4) и съпротивление, без корекция на материалните параметри.

Донякъде Подход 1 се припокрива с проектен подход DA3, при който имаше корекция на въздействия (ефекти от въздействия), и материални параметри, докато коефициентът за съпротивление е $\gamma_R = 1,0$. Подход 2 се припокрива с проектен подход DA2, при който имаше корекция на въздействия (ефекти от въздействия), при който коефициентът за съпротивление е $\gamma_R = 1,0$.

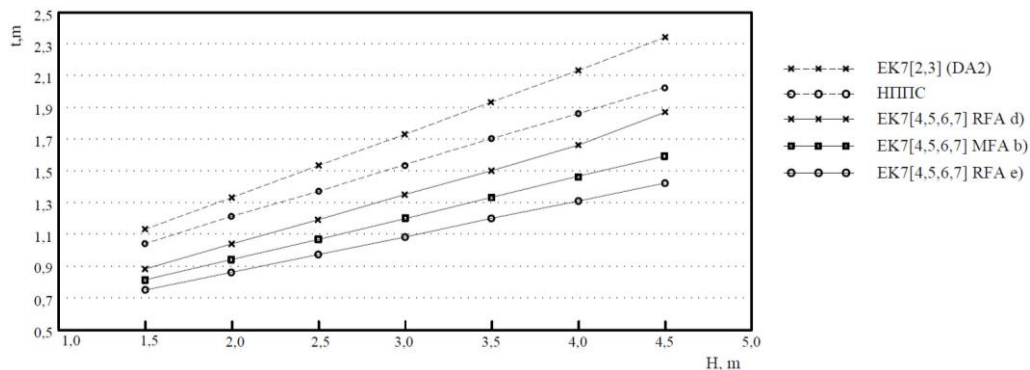
6. Сравнителен анализ



Фиг. 3. Типова схема за решение при сравнение на проектни подходи и текущи норми за проектиране

За количествена оценка на различните набори от коефициенти е направен анализ на една задача, решена по различните MFA и RFA, както и текущите НППС [1] и ЕК7 [2, 3]. Конструкцията и земната основа са показани на фиг. 3. Търси се тази дебелина на стената, при която проверките са удовлетворени точно, и натоварването е точно равно на съпротивлението, без излишен запас.

Резултатите са показани на фиг. 4, като се вижда, че разсейването на резултатите е доста голямо. Най-скъпо решение се получава съгласно Еврокод 7 – първо поколение [2, 3]. След това се нареждат НППС [1], след което е второ поколение на Еврокод [4, 6, 7].



Фиг. 4. Сравнение между различни нормативи

7. Заключение

Новото поколение на Еврокодовете внася значителни подобрения. Едно от основните подобрения е това, че вече е отпаднал изборът на набор от частни коефициенти за отделните гранични състояния. С нововъведените MFA и RFA се облекчава проектирането, защото може с един модел да се изследват не само всички гранични състояния за подпорни стени, но също така и за устойчивост на откоси, и прилежащите конструкции. Като новост може да отбележи и минималната дълбочина на изследване, както и минималният земен натиск. Стойностите на повечето частни коефициенти следва да бъдат национално определени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Normi za projektirane na podporni steni.
2. BDS EN 1997-1: Geotechnical design – Part 1: General rules.
3. BDS EN 1997-2: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing.
4. prEN 1997-3:2022 – Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 3: Geotechnical structures.
5. Bogusz, W. Eurocode 7 – Second Generation: Retaining structures – Looking beyond the partial factors for safety in design.
6. FprEN 1997-1:2024 – Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules.
7. EN 1990:2023 – Eurocode – Basis of structural and geotechnical design.

NEW CONCEPTS IN THE DESIGN OF REINFORCEMENT FACILITIES ACCORDING TO EUROCODE 7 – SECOND GENERATION

I. Markov¹

Keywords: retaining wall, Eurocode7, second generation

ABSTRACT

The second generation brings changes in various aspects of geotechnical design. The guidelines for the design of retaining walls are already found in Clause 7 of the new Part 3 of the second generation of Eurocode 7. This paper presents the new aspects in the design of strengthening structures and a comparison with the Design Standards for Retaining Walls and Eurocode 7 – first generation, currently in force in Bulgaria.

¹ Iliyan Markov, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: imarkov_fte@uacg.bg