

„Перестројка“ на еврокодови и верификација на стабилност на косини со примена на пресметковни случаи од Еврокод 7:202х

Александар А. Сарев^а, Јован Бр. Папик^б

^а ДГ Бетон, Скопје, Р.С.Македонија

^б Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Градежен факултет, Скопје, Р.С.Македонија

РЕЗИМЕ

Изминатите години се работи на подготовка на втора генерација на еврокодови, кои ќе внесат голем број на новости, особено во геотехничкото проектирање. Во рамките на трудот ќе се изнесат дел од предвидените текстовите за Еврокод 7:202х, фокусирани на општите правила за геотехничкото проектирање и верификацијата на граничната рамнотежа. Опфатени се нови методи за проверката на стабилноста на конструкциите, со примена на парцијални коефициенти: верификацијата се базира на Пресметковните постапки кои сега прераснуваат во т.н. Пресметковни случаи. Презентирана е употребата на парцијални коефициенти и комбинации при факторирање на ефекти и отпори кај конструкциите. Според ова е анализиран карактеристичен пример за стабилност на косина, со цел да се дефинираат зависностите кои можат да влијаат при идното усвојување на новиот Еврокод 7 кај нас.

КЛУЧНИ ЗБОРОВИ

Верификација; Пресметковни случаи; Стабилност на косини; Национален анекс

1. ВОВЕД

После само две години од назначувањето на еврокодovите како задолжителни на територија на Европската унија, Техничкиот комитет 250 (ТС 250) предлага нов програм за развој, т.е. усовршување за нова генерација на еврокодови. Првичните планови од еволуцијата на Еврокод 7 (ЕК7) се направени од страна на ТС 250, додека основните теми на реорганизирање веќе се објавени по интернационални конференции организирани од страна на Меѓународното друштво за механика на почви и геотехничко инженерство (ISSMGE). Важен дел од измените во ЕК7, претставуваат новите правила, услови и методи со кои се проверува граничната носивост на конструкциите (ULS). Овие нови методи за пресметка посебно се однесуваат на употребата и изборот на парцијалните коефициенти (ПК) за добивање на пресметковни вредности за акции, материјали и отпори. Во втората генерација на ЕК7, постојните Пресметковни постапки (ПП – DA) се заменети со Пресметковни случаи (ПС – DC). Во рамките на трудот се дава пример за нивна примена при проверка на стабилност на косини: анализата се базира на споредба на фактори на сигурност (FS), а вршени се со ПК за јакосните параметри земени од Националниот анекс на Македонија (за чии потреби е заклучено дека ПК треба да биде еднаков со досегашните глобални FS), при што се споредени постигнатите сигурности со ново предложените комбинации за верификација во ЕК7.

2. РЕОРГАНИЗАЦИЈА И ОПШТИ ПРАВИЛА ВО ЕК7

Од организациски аспект, донесена е одлука да се редуцира бројот на страни во основните книги за да се направи простор за нови поглавја и текстови: втората генерација предвидува три

посебни книги наменети само за ЕК7, како и измена во основната книга на Еврокод 0 (ЕК0):

Табела 1. Споредба на содржина на постојната и идната генерација на еврокодovi	
1-ва генерација Еврокодovi	2-ра генерација Еврокодovi
EN 1990: 2002 – “Основи на конструктивно проектирање”	EN 1990:202x – “Основи на конструктивно и геотехничко проектирање”
EN 1997-1:2004 – “Општи правила”	EN 1997-1:202x – “Општи правила”
EN 1997-2:2004 – “Истражни работи и испитување на земјиштето”	EN 1997-2:202x – “Истражни работи”
	EN 1997-3:202x – “Геотехнички конструкции”

Како и претходни, секоја од новите книги е составена од одредени клаузули и информативни анекси. Општите правила за геотехничкото проектирање (*Geotechnical design*) се презентирани во новата Книга 1 (prEN 1997-1:202x), додека клаузулите за геотехничките конструкции и методите за пресметка се преместени во новоформирана Книга 3 за ЕК7 (prEN1997-3:202x).

Различни геотехнички конструкции се повикуваат по посебни клаузули, а при нивна анализа треба да применуваат општи правила (како подклаузули) од Книга 1:

Табела 2. Распределба на клаузули и подклаузули во EN 1990:202x	
Клаузули од EN 1997-3:202x	Подклаузули од EN 1997-1:202x
1. Цел	x1. Цел
2. Нормативи	x2. Основи на проектирање
3. Поими, дефиниции и симболи	x3. Материјали
4. Косини, засеци и насипи	x4. Подземна вода
5. Плитко фундаирање	x5. Геотехничка анализа
6. Длабоко фундаирање	x6. Гранична состојба на носивост
7. Потпорни конструкции	x7. Гранична состојба на искористеност
8. Анкери	x8. Изведба
9. Армирана земја	x9. Тестирање
10. Подобрување на почви	x10. Извештај

Главната цел на подклаузулата x.6. е да ја идентификува гранична состојба на носивост ULS (на пр., GEO, STR или EQU), која треба да се провери за секоја избрана геотехничка конструкција. Така, подклаузулата 4.6 од Книга 3 за верификација на косини покрива одредени карактеристики (во согласност со EN 1997-1: 202x) како:

- нарушување на глобалната и локалната стабилност на подлогата и конструкцијата,
- лом поради деградација на јакоста на почвата,
- лом по дисконтинуитети,
- стабилност на карпести маси,
- нарушување на стабилноста во подлогата кај насипи,
- конструктивен лом на лицето на косината,
- хидраулички ефекти поради лом на дренажи, филтри и испусти,
- лом на косината поради ерозија или големи поместувања.

3. ВЕРИФИКАЦИЈА НА СТАБИЛНОСТ НА ГЕОТЕХНИЧКА КОНСТРУКЦИЈА

Според Општите правила од Книга 1, за верификација на стабилноста се применуваат методи со ПК, со проценка, со тестирање и со веројатност. Верификацијата на ULS со методот на ПК се врши преку проверка на основниот услов за стабилност од ЕК0:

$$E_d \leq R_d$$

каде вкупните пресметковни ефекти од акции E_d треба да бидат помали од вкупните пресметковни отпори R_d на конструкцијата.

За секоја фаза на проверка на ULS за конструкцијата, треба да се добијат пресметковните вредности за ефекти E_d , материјали X_d и отпори R_d , во согласност со EN 1997-1: 202x:

Табела 3. Верификација на гранична состојба на носивост (ULS) според EN 1997-1:202x

E_d	X_d	R_d
Пресметковни случаи ПС-DC (EN 1990: 202x)	Парцијални коефициенти γ_M (EN 1990-1: 202x)	MFA/RFA (EN1997-3:202x)

3.1. Пресметковни случаи

Ефектите од акции E_d во постоечкиот ЕК7 се добиваат со Пресметковни постапки. Во ЕК7:202x тие се заменуваат со т.н. Пресметковни случаи, кои вклучуваат ПК за поволни и неповолни акции врз конструкцијата. Формирани се вкупно четири ПС, наменети за:

- ПС1: конструктивен отпор и димензионирање против неповолните отстапувања на акции од нивните карактеристични вредности (STR).
- ПС2: проверка на статичка рамнотежа и испливување на конструкцијата (EQU UPL).
- ПС3, ПС4: геотехничко проектирање и проверка на стабилност (GEO).

Вредностите на ПК за постојани (G_k) и променливи (Q_k) товари, како и посебни фактори γ_E за ефекти од акции, се дадени во табела од Анекс А во prEN 1990:202x, прикажани на слика 1:

Action or effect				Partial factors γ_F and γ_E for Design Cases 1 to 4				
Type	Group	Symbol	Resulting effect	Structural resistance	Static equilibrium and uplift		Geotechnical design	
Design case				DC1 ^a	DC2(a) ^b	DC2(b) ^b	DC3 ^c	DC4 ^d
Formula				(8.4)	(8.4)		(8.4)	(8.5)
Permanent action (G_k)	All ^f	γ_G	unfavourable /destabilizing	$1,35K_F$	$1,35K_F$	1,0	1,0	G_k is not factored
	Water	$\gamma_{G,w}$		$1,2K_F$	$1,2K_F$	1,0	1,0	
	All ^f	$\gamma_{G,stb}$	stabilizing ^g	not used	$1,15^e$	1,0	not used	
	Water	$\gamma_{G,w,stb}$			$1,0^e$	1,0		
	All	$\gamma_{G,fav}$	favourable ^h	1,0	1,0	1,0	1,0	
Variable action (Q_k)	All ^f	γ_Q	unfavourable	$1,5K_F$	$1,5K_F$	$1,5K_F$	1,3	$\gamma_{Q,1}/\gamma_{G,1}^1$
	Water	$\gamma_{Q,w}$		$1,35K_F$	$1,35K_F$	$1,35K_F$	1,15	1,0
	All	$\gamma_{Q,fav}$	favourable	0				
Effects of actions (E)		γ_E	unfavourable	effects are not factored				$1,35K_F$
		$\gamma_{E,fav}$	favourable					1,0

Слика 1 Табела на пресметковни случаеви со соодветни коефициенти, дадени во новата книга од ЕК0

Според ПК, овие ПС овозможуваат да се избере методот за верификација т.е. соодветните формули кога се факторираат акции или, пак, ефекти од акции:

Табела 4. Задавање на парцијални коефициенти според пресметковни случаи

Пресметковни случаи (DC)	Коефициенти зададени на	Равенка за пресметување
DC1, DC2(a/b), DC3	Акции	$E_d = E\{\Sigma(\gamma_F, F_{rep}); a_d; X_{Rd}\}$
DC4	Ефекти од акции	$E_d = \gamma_E E\{\Sigma F_{rep}; a_d; X_{Rd}\}$

$E\{..}$ означува ефект на дадени променливи; Σ означува комбинација на акции; γ_F е парцијален фактор за неповолното отстапување на акциите од својата карактеристична вредност; γ_E е парцијален коефициент кој одговара на ефект од акција; $F_{\text{тер}}$ е дадена вредност за акција; a_d е дизајнирана вредност за геометрички карактеристики; X_{Rd} е вредност на материјални карактеристики кои се користат во проценка на R_d

3.2. Факторирање на материјали и отпори

Вториот дел од верификацијата овозможува да се определат пресметковните отпорите R_d на конструкцијата, што се добива преку факторирање на материјални карактеристики (Material factor approach - MFA), или преку факторирање на отпори (Resistance factor approach - RFA):

Табела 5. Задавање на парцијални коефициенти кај материјални карактеристики и отпори		
Методи	Коефициенти зададени на	Равенка за пресметување
MFA	Јакосни параметри	$R_d = R \left\{ \frac{X_{ki}}{\gamma_{Mi}}; a_d; \Sigma F_{Ed} \right\}$
RFA	Отпори	$R_d = \frac{R\{X_k; a_d; \Sigma F_{Ed}\}}{\gamma_R}$

$R\{..}$ означува излезен отпор од пресметката; X_k е карактеристична вредност на јакосниот материјал; γ_M е парцијален коефициент за материјалот; a_d е дизајнирана вредност за геометрички карактеристики; F_{Ed} е пресметковна вредност за акции кои се користат во проценка на E_d ; γ_R е парцијален коефициент за отпори

Со употреба на MFA, коефициентот γ_M (избран од комплет M1 или M2) во равенката се задава само на јакосните параметри на почвата, додека кај RFA, коефициентот γ_R се задава на отпорите кај конструкцијата (на пр., редуција на носивоста во основата кај колови). ПК за отпори се дадени за избор во клаузулите во prEN 1997-3:202x за различни геотехнички конструкции.

4. АНАЛИЗА НА КОСИНА СО ПРЕСМЕТКОВНИ МЕТОДИ ОД ЕК7

Верификацијата на глобалната стабилност по ЕК7 кај косините најчесто се базира на ULS, а најприменувана постапка во Европа и во нашиот регион е ППЗ. Кај неа се користи коефициент за променливи товари $\gamma_Q=1,3$, додека постојаното оптеретување не се зголемува ($\gamma_G=1,0$). Од друга страна, ПК за јакосните параметри на почвата (со кои треба да се редуцираат кохезијата и тангенсот на аголот на отпорност на смолкнување) се земени да бидат еднакви на поранешните „глобални“ коефициенти на сигурност ($\gamma_\phi=\gamma_c=FS$). Развојот на ЕК7 при анализата на стабилност на косини се фокусира на MFA, па согласно подклаузулата 4.6, во prEN 1997-3 е предложена методата ПСЗ:

Табела 6. Предложена комбинација на пресметковни методи за глобална стабилност во prEN 1997-3				
Суб-калуза	Верификација на:	Парцијални фактори на:	Материјално факторирање (MFA)	Факторирање на отпори (RFA)
4.6	Глобална стабилност на косини, насипи и засеци	Акции / ефекти (γ_F/γ_E)	DC3 ($\gamma_G=1,0$; $\gamma_Q=1,3$)	Не се применува
		Јакосни параметри (γ_M)	M2 ($\gamma_\phi=\gamma_c=1,25$)	

Во оваа постапка, според слика 1, се применуваат идентични ПК за постојани и променливи товари како и во постоечката ППЗ. Воедно, комплетот M2, како и досега, овозможува ПК за јакосните параметри да се дефинираат согласно национално одредени параметри (НОП) во анексите кај државите. Исто така, сите надворешни товари, вклучувајќи од сообраќај и други конструкции врз косината, може да се третираат како геотехнички, т.е. со коефициент 1,0.

4.1. Споредби со Националниот анекс на Македонија

Во националниот анекс на Македонија (МКС EN 1997-1:2012/НА:2020) за проверка на глобалната стабилност се применува методата ППЗ, а се предложени коефициенти за редуција на аголот на отпорност на смолкнување и на кохезијата во износ:

$$\gamma_{\phi} = \gamma_c = 1,50$$

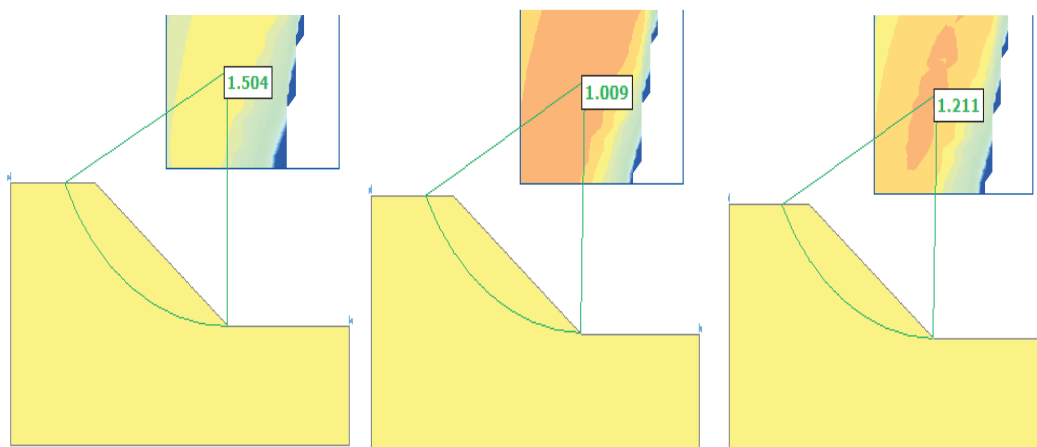
На таков начин, косина што имала фактор на сигурност $FS_{\text{ГЛО}}=1,5$, при анализа по ЕК7 ќе има $FS=1,0$ (Papić, 2013), извесно по иста клизна површина. Таа релација важи и во променливи проектни услови на оптеретување каде јакосните параметри треба да се редуцираат со коефициент 1,3, но и во сеизмички услови, кога $ПК=1,10$.

Согласно оваа релација, направена е верификација на стабилноста на косина со гранична рамнотежа, со примена на докажани методи (на пр., Бишоп) во модулот SLIDE на програмскиот пакет ROCSCIENCE. За произволно одбрани параметри на јакост на смолкнување на почва, дефинирана е геометрија на косина со висина $H=6,0$ m и наклон од $\beta=37^\circ$, кога е исполнет услов за стабилност на косината преку постигање на $FS=1.504$ (со карактеристични параметри), после што стабилноста е проверена според ППЗ и ПК од Анексот на актуелниот Еврокод 7, кога е добиен коефициент на сигурност од 1.009 (поради редуција на јакосните параметри со парцијален коефициент од 1,50). Со тоа е верификувана нејзината стабилност во постојани (статички) услови, што е потврдено и при анализи со надворешно оптеретување од променлив карактер: излезите од пресметките се дадени во табела 7. Оваа косина потоа е испитана согласно погоре изнесените препораки дадени во ЕК 7:202х, со кои – при почитување на $\gamma_{\phi}=\gamma_c=FS=1,50$ – се постигнати истите резултати.

Табела 7. Анализирани случаи за косина со примена на Пресметковен случај 3 од ЕК7:202х

Анализиран случај	Агол на внатрешно триење [deg] ϕ_k / ϕ_d	Коххезија [kPa] c_k / c_d	Товар [kPa] q_k / q_d	Фактор на сигурност $FS_{\text{ГЛО}} / FS_{\text{DC3}}$
Постојана косина во статички услови без товар (DC3 ; $\gamma_{\phi}=\gamma_c=1,50$)	20/ 13,64	10/ 6,66	0/0	1,504 / 1,009
Постојана косина со товар од променлив карактер (DC3 ; $\gamma_{\phi}=\gamma_c=1,30$)	19/ 12,93	12/ 8	10/ 13	1,323 / 1,003

Овие резултати укажуваат дека со примена на ПСЗ и ППЗ во Анексот на МК, се изедначува условот на стабилност според ЕК7. Дополнително, релацијата се потврдува со добивање на иста клизна рамнина при анализата на косината во програмот, што е дадено на слика 2:



Слика 2 Добиени FS испитани за косина според: „глобален“ коефициент на сигурност (лево); ППЗ од Национален МК анекс и DC3 од ЕК7:202х (средина: $\gamma_\phi=\gamma_c=1,50$); DC3 од ЕК7:202х (десно: $\gamma_\phi=\gamma_c=1,25$)

Од сликата се гледа дека ако се прифатат ПК понудени во ЕК7 ($\gamma_\phi=\gamma_c=1,25$) ќе се постигне сигурност од 1,211, што е доста повисоко од доволните 1,0, а се должи на согласноста на ПК предложени во Националниот МК анекс и нивното поврзување со FS (и отстапување од оние понудени во ЕК7). Впрочем, тоа може да се види и од споредбата на постигнатите коефициенти: $1,50/1,211=1,24$, што практично ги дава $\gamma_\phi=\gamma_c=1,25$.

5. ЗАКЛУЧОЦИ

Пред неколку години се започна со развој на втората генерација на еврокодovите и реструктурирање на Еврокодот 7. Истите се планирани да се објават на почетокот на третата деценија на 21-от век. Најавени се неколку значајни промени и новитети (три дела на ЕК7, преименување на ЕК0, полесно разбирање и користење, воведување на геотехнички модел, класи на последици и геотехничка сложеност, замена на ПП, подобро покривање на постојни области и воведување на нови, како карпи, нумерички методи, геофизика, термални карактеристики, набљудување итн.), дел од кои накусо беа изнесени погоре.

Воедно, во рефератот беше даден пример за анализа на стабилност на косина, проектирана според ППЗ и испитана според ПСЗ, со која се заклучи дека ПСЗ може да ја замени усвоената ППЗ во Анекс МК. На таков начин се дава придонес кон побрзо прилагодување на инженерите кон новостите содржани во ЕК7:202х! Воедно, ЕК7 во комплетот М2 ги нуди вредностите од 1,25 како ПК за редукција на јакоста на смолкнување на почвата, додека во усвојувањето на нашиот анекс се предлага да се придржуваме до предложените (1,50), барем уште извесно време додека еврокодovите реално и секојдневно не заживеат и се применуваат во пракса, особено од аспект на геотехнички истражувања и испитувања, чиј зголемен обем ќе даде основа за оправдано намалување на парцијалните коефициенти.

REFERENCES

- Bond A., Burlon S., Seters A., Simpson B., 2015. Planned changes in Eurocode 7 for the second generation of Eurocode, *Proceedings of the XVI ECSMGE-2015, Edinburg, Scotland*.
- Bond A., Janner C., Moormann C., 2019. Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-3:202x Geotechnical structures. *Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Reykjavik, Island*.
- Estaire J., Arroyo M., Scarpelli G., Bond A.J., 2019. Tomorrow's geotechnical toolbox: Design of geotechnical structures to EN 1997:202x. *Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Reykjavik, Island*.

- Franzen G. Arroyo M., Lees A., Kavvadas M., Van Seters A., Walter H., Bond A.J., 2019. Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-1:202x General rules. *Proceedings of the XVII ECSMGE-2019, Reykjavik, Island.*
- МКС EN 1997-1:2012/HA:2020 : Геотехничко проектирање- Дел 1: Општи правила-Национален анекс, 2020.
- Papić J., 2013. *Razvoj i unapređenje metoda za proračun geotehničkih konstrukcija i primenu Evrokoda 7*. Ph. D. thesis, GAF Niš, Niš, Srbija.
- prEN 1997-1:202x. *Eurocode 7: Geotechnical design — Part 1: General rules*, CEN/TC 250/SC 7, N 1436, 2020.
- prEN 1997-2:202x. *Eurocode 7: Geotechnical design — Part 2: Ground properties*, CEN/TC 250/SC 7, N 1437, 2020.
- prEN 1997-3:202x. *Eurocode 7: Geotechnical design — Part 3: Geotechnical structures*, CEN/TC 250/SC 7, N 1438, 2020.
- Правилник за техничките нормативи за темелење на градежни објекти. Службен весник на СФРЈ бр.15. 1990.