



GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA I ZEMLJOTRESNO
INŽENJERSTVO - Vrnjačka Banja, 01-03. novembar 2023.

Jovan Br. Papić¹, Aleksandar Andonov-Sarev², Marko Maraš³

EVROKOD 7 202X I JUS 1990: TAKO DALEKO, A NIKAD BLIŽI

Rezime: Tradicija uspešnog projektovanja kosina u građevinarstvu i rudarstvu u regionu SFRJ rezultat je dosledne primene odgovarajućih standarda. U njima su bili propisani i korišteni su i različiti dozvoljeni koeficijenti sigurnosti (FS). Sa dolaskom Evrokoda 7 (EC7), postojeće standarde projektovanja trebalo je napustiti, ali je bilo važno i ispoštovati ih, što je učinjeno preko Nacionalnog priloga (NA). Međutim, prilikom pripreme NA ukazano je na nekoliko ograničenja u aktuelnoj verziji EC7 sa aspekta projektovanja kosina. Ali, već u početnoj fazi primene evrokodova započela je evolucija ka novoj generaciji EC7 koja je označena sa EC7 202x. Ista prevazilazi različitosti koje su se javile širom Evrope prilikom usvajanja NA, a ujedno i vrši korekcije, pored ostalog i – primenom „kliznih“ FS, što nas približava našem tradicionalnom projektovanju kosina. U radu su date teorijske osnove i numerička upoređenja koja to potvrđuju.

Ključne reči: Evrokod 7, Evrokod 7 202x, JUS, koeficijenti sigurnost, stabilnost kosina.

EUROCODE 7 202X AND JUS 1990: SO FAR, BUT NEVER BEEN CLOSER

Summary: The tradition of successful slope design in construction and mining in the SFRY region was based on the consistent application of appropriate standards. Different permitted factors of safety (FS) were prescribed and used in them. With the arrival of Eurocode 7 (EC7), the existing design standards had to be abandoned, but it was also important to comply with them, which was done through the National Annex (NA). But, during the preparation of the NA, several limitations were pointed out in the current version of EC7 from the aspect of slope design. However, already in the initial phase of the application of Eurocodes, the evolution towards a new generation of EC7 began, which was marked with EC7 202x. It overcomes the differences that appeared throughout Europe during the adoption of NA, and at the same time makes corrections, among other things, by applying "sliding" FS, which brings us closer to our traditional slope design. The paper provides theoretical foundations and numerical comparisons that confirm this.

Keywords: Eurocode 7, Eurocode 7 202x, JUS, factors of safety, slope stability.

¹ d-r, vanredni profesor, Građevinski fakultet – Skoplje, bul. Partizanski odredi br.24, Skoplje, R. Sev. Makedonija, papic@gf.ukim.edu.mk

² m-r, GCM, ul. Đuro Đonović br.11, Skopje, R. Sev. Makedonija, aleksandarandonovsarev@gmail.com

³ dipl.inž.geot., student II ciklusa, Građevinski fakultet – Skoplje, bul. Partizanski odredi br.24, Skoplje, R. Sev. Makedonija, marcellomarko@gmail.com

1. UVOD

Tradicija uspešnog projektovanja kosina u građevinarstvu i rudarstvu u regionu SFRJ rezultat je dosledne primene odgovarajućih standarda. Tako, smernice za osiguranje donjeg stroja saobraćajnica i ukupne stabilnosti tla i trupa puta date su u JUS U.C4.200 iz 1990. god., dok se za projektovanje kosina u rudarstvu koristio još stroži “Pravilnik o tehničkim normativima za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih surovina” objavljenom 1986. god. Pored ostalog, u njima su bili propisani i različiti dozvoljeni koeficijenti sigurnosti (FS) kliznih površina, a koji su bili u zavisnosti od: materijala; pouzdanosti parametara smičuće otpornosti (PSO); slučaja opterećenja; vrste konstrukcije itd. Sa dolaskom Evrokoda 7 (EC7), postojeće standarde projektovanja trebalo je napustiti, ali je bilo važno i ispoštovati ih, što je učinjeno preko tzv. Nacionalnog priloga (NA), koji bi obuhvatio i pretočio dotadašnja stečena pozitivna iskustva. Ipak, već u početnoj fazi primene evrokodova započela je evolucija i priprema nove generacije EC7 koja je označena sa EC7 202x. Ista prevazilazi različitosti koje su se javile širom Evrope prilikom usvajanja NA, a ujedno vrši i korekcije i proširenja.

2. PROJEKTOVANJE KOSINA U NISKOGRADNJI PREMA JUS

U okviru JUS definisano je da narušeni uslovi stabilnosti obuhvataju deformacije trupa puta, temeljnog tla ili okolnog terena, zbog kojih se narušava kontinuitet mase tla, što izaziva i diskontinuitete u kolovoznoj konstrukciji, velike izmene u podužnom i poprečnom preseku puta i oštećenja na okolnim objektima. Ključni ulazni podaci su PSO, u izboru kojih, a i drugih uslova, dopušta se deterministički i/ili probablistički pristup. Od primarnog je značaja izabrati one PSO (u totalnim ili efektivnim naponima, vršne ili rezidualne) koji su merodavni za privremenu, odnosno za trajnu stabilnost kosine, trupa puta i njegove okoline. Za potrebe projektovanja po ovom standardu usvajaju se deterministički kriterijumi (prošireni sa Maksimović, 2008) u tabeli 1.

Slučaj	Parametri	Fs (min)
Nasip na čvrstoj i malo deformabilnoj podlozi	φ', c' ili $\varphi'_B, \Delta\varphi', p_N$	1,4
Nasip na slabonosivom zasićenom tlu	φ', c' ili $\varphi'_B, \Delta\varphi', p_N$ c_u	1,4 1,4-2,0+
Usek u zasićenim glinama	φ', c' ili $\varphi'_B, \Delta\varphi', p_N$ c_u	1,4 1,4-2,0
Usek u krupnozrnom tlu	$\varphi' (c' = 0)$ ili $\varphi'_B, \Delta\varphi', p_N$	1,2
Prirodno nestabilna padina-klizište	$\varphi_r (c_r \approx 0)$ ili $\varphi'_{Br}, \Delta\varphi'_{r}, p_{Nr}$	1,10*
Uzvodna i nizvodna kosina nasute brane, puna akumulacija	φ', c' ili $\varphi'_B, \Delta\varphi', p_N$	1,5
Uzvodna kosina nasute brane, brzo spuštanje nivoa vode	φ', c' ili $\varphi'_B, \Delta\varphi', p_N$	1,3-1,4
*Samo ukoliko su parametri pouzdano određeni metodama povratne analize i ukoliko se na padini ne nalazi objekat osetljiv na moguće deformacije puzanja kosine		
U slučaju niske pouzdanosti parametara, minimalni Fs treba uvećati za 0,25, a za prosečnu pouzdanost za 0,1		
Umesto φ', c', φ_r preporučuje se $\varphi'_B, \Delta\varphi', p_N$ i nelinearni kriterij loma tla pri visokoj pouzdanosti parametara		

Tabela 1. Vrednosti minimalno dopuštenih FS pri statičkom opterećenju i visokoj pouzdanosti PSO

Sa druge strane, uticaj snažnog zemljotresa na stabilnost kosina unosi se nakon sprovedenih analiza za statičke uslove opterećenja. Ukoliko se izračuna $F_s < 1$, rezultat se može prihvatiti ako se posebnim proračunima pokaže da će pomeranja biti u prihvatljivim granicama.

Inače, prihvatljiv FS zavisi od više faktora, poput pouzdanosti rezultata proračuna, rizika, hazarda i ekonomskih posledica.

Pouzdanost rezultata proračuna u najvećoj meri zavisi od verodostojnosti reprezentativnih PSO i raspodele pornih pritisaka, a u manjoj meri od tačnosti metoda proračuna. Podrazumeva se da izbor projektne vrednosti FS treba provesti tako da se imaju u vidu pouzdanost PSO tla određenih laboratorijskim ispitivanjima i pouzdanost metode proračuna stabilnosti. Ukoliko se negde pouzdanost može ustanoviti na osnovu stvarnog ponašanja masa tla, tada bi se mogle upotrebiti i niže vrednosti FS sa prihvatljivo malom verovatnoćom pojave nestabilnosti.

3. EVROKOD 7 I NACIONALNI ANEKSI

Tokom pripreme NA, ustanovljeno je da se kontinuitet sa dosadašnjim stilom projektovanja kosina uspostavlja usvajanjem projektnog pristupa 3 (DA3), u kom se vrši redukcija PSO i delimično povećavaju nepovoljna povremena opterećenja. Međutim, EC7 ima manjkavost jer nudi samo jedan iznos za materijalne parcijalne koeficijente sigurnosti, čija je preporučena vrednost 1,25, i da se kao takav koristi u različitim uslovima opterećenja, za različite materijale i različite konstrukcije. Razradom je ustanovljeno da iznos ne može biti konstantan, a da treba biti jednak FS-u koji je prema JUS-u bio korišten u geotehničkom projektovanju kosina (Papić i dr., 2012; Papić i dr., 2014), poštujući, pored ostalog, razlike iznesene u tabeli 1, tj. $\gamma_\phi = \gamma_c = FS$.

4. EVROKOD 7 202X

4.1. Osnovne promene u EC7 202x

Razvoj i formiranje nove generacije EC7 započeto je preko Potkomiteta 7 u okviru Tehničkog komiteta 250 i njegovih Evolucionih grupa, sa ciljem olakšane primene standarda u praksi i harmonizacije kod svih NA (Bond et al., 2015). Osnovna reorganizacija EC7 je sprovedena u tri zasebne knjige: EN 1997-1:202x – Opšta pravila; EN 1997-2:202x – Istražni radovi; EN 1997-3:202x – Geotehničke konstrukcije. Ovim je napravljen prostor za nova poglavlja, kao što su numeričke metode, armirano tlo, dinamička analiza, mehanika stena itd. Dopunjene su i reference za materijale, podzemnu vodu, izbor karakterističnih vrednosti za PSO, dobijanje proračunskih akcija ili opterećenja, specifične geotehničke konstrukcije i mnoge druge.

Metode za geotehničko projektovanje se iz aktuelne Knjige 1 prebacuju u Evrokod 0 (EC0), koji u novoj generaciji evrokodova nosi naslov “Osnove konstruktivnog i geotehničkog projektovanja”. Jedna od glavnih promena je i zamena postojećih projektnih pristupa – Design Approach (DA) sa tzv. projektним slučajevima - Design Cases (DC). Na slici 1 je prikazan odlomak iz Aneksa A gde su DC dati kao obavezujući, zajedno sa vrednostima PK (γ_E) za stalna (G_k) i promenljiva (Q_k) opterećenja, kao i posebni faktori γ_E za efekte od akcija.

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	1,35 K_F	1,35 K_F	1,0	1,0	G_k is not factored
	Water	$\gamma_{G,w}$		1,2 K_F	1,2 K_F	1,0	1,0	
	All ^f	$\gamma_{G,stab}$	stabilizing ^g	not used	1,15 ^e	1,0	not used	
	Water	$\gamma_{G,w,stab}$			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	1,5 K_F	1,5 K_F	1,5 K_F	1,3	$\gamma_{Q,1}/\gamma_{G,1}$ ⁱ
	Water	$\gamma_{Q,w}$		1,35 K_F	1,35 K_F	1,35 K_F	1,15	
	All	$\gamma_{Q,fav}$	favourable	0				
Effects of actions (E)		γ_E	unfavourable	effects are not factored				1,35 K_F
		$\gamma_{E,fav}$	favourable					1,0

Slika 1. Prikaz DC sa pripadajućim parcijalnim koeficijentima za akcije (EC7 202x)

Za razliku od DA, u DC nema kombinovanja zasebnih kompleta za akcije A_i , materijale M_i i otpore R_i , tj. PK se odabiru za proveru određenog graničnog stanja: ravnoteža (EQU), konstruktivno (STR) ili geotehničko (GEO). Na ovaj način, redukuje se i broj kombinacija za proračun u NA za različite vrste geotehničkih konstrukcija.

4.2. Verifikacija stabilnosti konstrukcija

Verifikacija graničnog stanja nosivosti ULS u geotehnici (DC3 i DC4) vrši se preko provere osnovnog uslova ravnoteže iz EC0: $E_d \leq R_d$. Ali, sada se proračunski efekti od akcija (E_d) dobijaju direktno preko datih PK (slika 1), dok se proračunski otpori R_d dobijaju preko faktorisanja materijalnih karakteristika (*Material factor approach* - MFA) ili preko faktorisanja otpora (*Resistance factor approach* - RFA):

$$DC_i + MFA/RFA \quad (1)$$

Ovakve kombinacije mogućih metoda ili DC su prikazani u tabelama u Knjizi 3 EC7 202x, u pod-poglavljima za različite geotehničke konstrukcije. Tako, za verifikaciju stabilnosti kosina, nasipa i useka predložena je samo metoda DC3, u kombinaciji sa MFA (Slika 2). U ovom slučaju, u EC7 202x uopšte nije ponuđeno da se to vrši putem RFA, što je, na pr., dato kao mogućnost u aktuelnom EC7, preko DA2, ali što je u prilog harmonizaciji. Naime, prilikom verifikacije sa redukcijom PSO, tj. sa MFA, PK iz kompleta M_i treba da se pozovu prema označenim referencama i tabelama iz Knjige 1.

Kompleti koeficijenata M1 i M2 primenjuju se za različite slučajeve opterećenja: stalna i povremena i/ili incidentna, a mogu se korigovati saglasno tradicionalnim principima projektovanja u državama (tzv. NDP). Odmah se može primetiti da EC7 202x zadržava poznate vrednosti za efektivne PSO, jer je iznos 1,25 već bio prisutan u kompletu M2 u aktuelnom EC7. Ujedno, EC7 202x nudi novi PK, a koji se odnosi na PSO u kritičnom stanju $\tan \phi'_{cv}$, za koji je predložena niža vrednost ($\gamma_{\tan \phi'_{cv}} = 1,1$), što je razumljivo jer je kao parametar mnogo manje promenljiv u poređenju sa vršnom čvrstoćom ϕ'_{peak} , naročito kod zbijenih tla sa prisustvom dilatancije (Sarev, 2022).

Ground property	Symbol	M1	M2	
		Persistent Transient Accidental	Persistent Transient	Accidental
Soil parameters				
Effective shear strength (τ_s)	γ_{ts}	1,0	1,25 K_M	1,1
Coefficient of peak internal friction ($\tan \phi'_p$)	$\gamma_{\tan\phi}$	1,0	1,25 K_M	1,1
Peak effective cohesion (c'_p)	γ_c	1,0	1,25 K_M	1,1
Coefficient of internal friction at the critical state ($\tan \phi'_{cs}$)	$\gamma_{\tan\phi,cs}$	1,0	1,1 K_M	1,0
Coefficient of interface friction along a residual surface ($\tan \phi'_{res}$)	$\gamma_{\tan\phi,res}$	1,0	1,1 K_M	1,0
Residual effective cohesion (c'_{res})	$\gamma_{c,res}$	1,0	1,1 K_M	1,0
Undrained shear strength (c_u)	γ_{cu}	1,0	1,4 K_M	1,2
Rock parameters				
Shear strength of rock (τ_r)	γ_{tr}	1,0	1,25 K_M	1,1
Interface parameters				
Coefficient of ground/structure interface friction ² ($\tan \delta$)	$\gamma_{\tan\delta}$	1,0	1,25 K_M	1,1

¹ M1, and M2 are alternative sets of material factors. EN 1997-3 specifies which set to use for specific geotechnical structures.

Slika 2. Prikaz kompleta materijalnih parcijalnih koeficijenata za različite slučajeve opterećenja, različite materijale i različite parametre smičuće otpornosti (EC7 202x)

Na slikama 1 i 2 se može videti da EC7 202x uvodi dodatne podfaktore K_F i K_M . To su koeficijenti kojima se povećavaju vrednosti što množe sile i što množe materijalne parcijalne koeficijente, odgovarajuće, omogućavajući variranje koeficijenata prema potrebi i prilagođavajući traženi nivo sigurnosti. Tako, njihovi iznosi zavisi od klase posledica (Consequence Class – CC), tj. rizika koji nosi određena konstrukcija po pitanju ljudskih zaguba i povreda, i ekonomskih i ekoloških šteta.

Ujedno, vrednosti materijalnih PK iz kompleta M2 koje treba primeniti (na pr., prilikom analize stabilnosti kosina) u uslovima stalnih i povremenih opterećenja su u funkciji od pod-faktora K_M , a koji zavise od klase geotehničke složenosti (Geotechnical Complexity Class - GCC) kojom se obuhvataju obim ispitivanja, specifične karakteristike tla, složenost terena i procena pouzdanosti projektnih geotehničkih parametara, tj. da li su isti dobijeni i provereni sa velikim brojem terenskih i laboratorijskih ispitivanja, ili su primenjeni drugi, manje pouzdani pristupi. Kombinovanjem CC i GCC, u EC7 202x definiše se geotehnička kategorija (Geotechnical Category – GC).

Klasa posledica Consequence class		Indikativne kvalifikacije posledica		Primeri objekata	Faktor posledice K_F / K_M
Oznaka	Opis	Zagube ljudskih života ili povreda*	Ekonomska, zemljišna ili ekološka zaguba*		
CC4	Veoma visoka	Ekstremne	Ogromna	Mogu da budu potrebne i druge odredbe. Određeni primeri su: Kritične konstrukcije Geotehničke konstrukcije koje su od vitalnog značenja za čovekovu zaštitu (nasipi za sprečavanje prirodnih katastrofa, zemljane brane povezane za sistemima za prenos vode, lučne i nasute brane sa visokim rizicima nakon nastanka loma itd.) Klizišta sa velikom verovatnoćom pojave	
CC3	Visoka	Visoke	Veoma velika	Tribine, veliki objekti (koncertne sale) Potporni zidovi i fundamenti javnih objekata sa velikom izloženošću rizicima Kosine, zaseci i potporne konstrukcije sa velikom izloženošću Glavni putevi, autoputevi i mostovi koji mogu prekinuti eksploataciju u itnim situacijama Konstrukcije na lukama za zaštitu od poplava Podzemne konstrukcije sa čestom posećenošću (podzemni parkinzi, metroa)	1.1
CC2	Uobičajena	Srednje	Značajna	Stanbene i administrativne zgrade Manje zgrade i objekti Sve geotehničke konstrukcije što ne spadaju u CC1, CC3 i CC4	1.0
CC1	Niska	Niske	Mala	Poljoprivredni objekti, objekti gde ljudi uobičajeno ne ulaze, kao magacini i skladišta Potporni zidovi i temelji objekata sa niskom izloženošću Kosine i zaseci u oblastima gde se pojava loma neće odraziti na privredu/društvo Podzemne konstrukcije sa povremenom izloženošću (propusti i sl.)	0.9
CC0	Veoma niska	Veoma niske	Zanemarljiva	Mogu da budu potrebne i druge odredbe. Ne primenjuje se za geotehničke konstrukcije	

*CC se bira na osnovu gorih posledica iznetih u srednja dva stupca

Tabela 2. Opis klase posledica (EC7 202x)

5. UPOREDNA ANALIZA

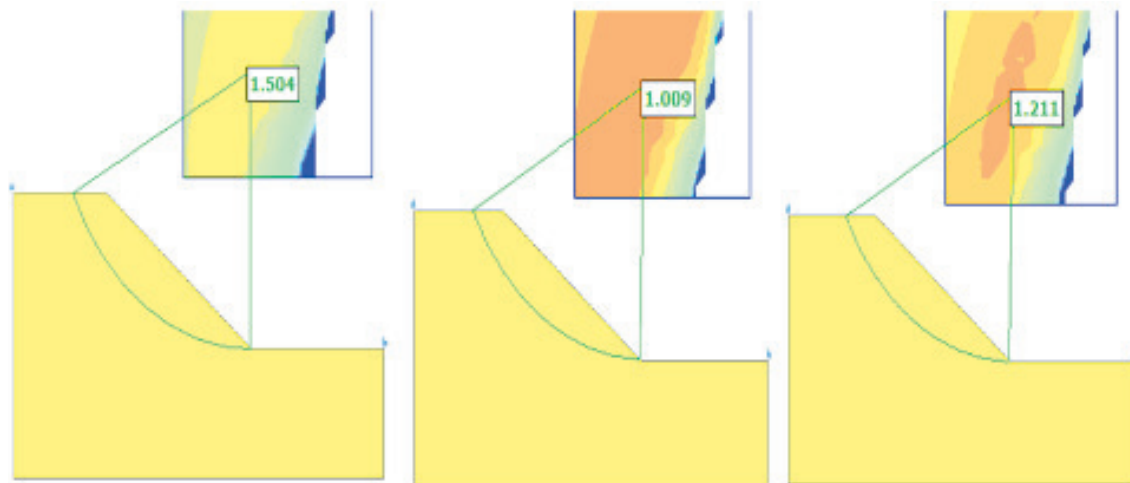
5.1. Uspostavljanje relacije između JUS-a, aktuelnog EC7 i EC7 202x

Saglasno iznetom gore, za analizu stabilnosti kosina u okviru JUS-a definisan je zahtev da se na kraju verifikacije postigne određeni minimalni faktor opšte sigurnosti F_s ,

u zavisnosti od nivoa pouzdanosti PSO a koji se unose “punim” (nekorigovanim) iznosom. Sa druge strane, prilikom analiza stabilnosti kosina prema aktuelnom EC7, dovoljno je obezbediti $FS=1,0$, ali pritom se PSO unose sa redukovanim iznosom, tj. nakon njihovog deljenja sa PK. Podsetimo da je analizama i upoređenjima za primenu EC7 u našem regionu ustanovljeno da se treba koristiti DA3 u kom se unose PK za PSO koji se trebaju izjednačiti sa minimalnim faktorima opšte sigurnosti iz JUS-a (Papić i dr., 2012). U takvom slučaju, kosina koja je prema JUS-u imala $FS=1,5$, prilikom analize sa EC7 i primenu PK u iznosu od 1,50, imaće $FS=1,0$ i odnosiće se na istu kritičnu kliznu površinu. Ovaj pristup je prihvaćen u okviru NA za Makedoniju, a primenljiv je i za NA država proizašlih iz SFRJ.

Kao što je već napomenuto, EC7 202x za analizu stabilnosti daje samo varijantu DC3, za koju je evidentno da su PK sa slika 1 i 2 prepoznatljivi, jer su veoma slični onima za DA3. Poштуjući i DA3 i DC3, sa pripadajućim PK (iz NA i iz EC7 202x, odgovarajuće), u softverskom paketu ROCSCIENCE izvršena je analiza stabilnosti jednostavne kosine visine $H=6$ m u stalnim (statičkim) uslovima, za ugao smičuće otpornosti $\phi_k=20$ i koheziju $c_k=10$ kPa. Izlazi su prikazani na sl. 3, koji ponovo potvrđuju relaciju i ranije konstatacije za održavanje postojećeg stepena sigurnosti kosina.

Na slici se vidi da ako se za postojeću kosinu, projektovanu prema JUS (gde su unete izvorne vrednosti za ϕ i c , pa je postignut $FS=1,504$) ili saglasno NA MKS (gde su primenjeni $\gamma_\phi=\gamma_c=1,50$ i postignut je $FS=1,009$), uradi analiza prema DC3 iz EC7 202x, za koju bi bili primenjeni $\gamma_\phi=\gamma_c=1,25 \cdot K_M$, dobilo bi se da je $FS=1,211$. Ako se dosadašnji zahtevani i ciljni $FS_{min}=1,50$ podeli sa postignutim FS pri proračunu stabilnosti prema EC7 202x, dobilo bi se: $1,50/1,211=1,24$ ($\sim 1,25$). Ovaj iznos bi trebao da bude i iznos za K_M s kojim bi se zadržao dosadašnji stepen sigurnosti, umesto ponuđenog 1,0 za prosečni nivo istraženosti tla. Praktično, ukoliko se pretpostavi da je nivo istraženosti tla visok, pa bi saglasno JUS-u trebalo dostići $FS=1,40$, onda bi $K_M=1,40/1,211=1,16$ ($\sim 1,15$), a za nizak stepen istraženosti tla, gde bi FS prema JUS-u trebalo biti 1,65, onda bi $K_M=1,65/1,211=1,36$ ($\sim 1,35$). Ove varijacije (1,15/1,25/1,35) i odstupanja od ponuđenih iznosa u EC7 202x (0,9/1,0/1,1) duguju se višim FS koji su, saglasno JUS-u, bili traženi u našem regionu (1,40/1,50/1,65) i rezultovali su dugoročno stabilnim kosinama, a kao takvi su i predloženi za usvajanje u NA za γ_ϕ i γ_c .



Slika 3. Nalazi iz analize stabilnosti kosina prema: levo – JUS ($\gamma_\phi=\gamma_c=1,0$; $FS=1,504$); sredina – NA MKS (DA3) ($\gamma_\phi=\gamma_c=1,50$; $FS=1,009$); desno – EC7 202x (DC3) ($\gamma_\phi=\gamma_c=1,25$; $FS=1,211$)

Navedeni nalazi važe ukoliko se prihvate ponuđeni izrazi na slici 2 u kojoj su $\gamma_\phi = \gamma_c = 1,25 \cdot K_M$, pri čemu 1,25 potiče iz aktuelnog EC7, koliki su i bili iznosi za γ_ϕ i γ_c . Ali, ako se umesto 1,25 prihvati iznos za FS iz JUS za prosečnu pouzdanost PSO, tj. 1,50, onda bi iznosi za K_M mogli ostati nepromenjeni u odnosu na tabelu 3, tj. 0,9, 1,0 i 1,1, što bi dalje vodilo do $\gamma_\phi = \gamma_c = 1,35/1,50/1,65$, što je gotovo identično dosadašnjoj tradiciji projektovanja kosina u regionu za uslove visoke, prosečne i niske pouzdanosti PSO (vidi tabelu 1: FS=1,40/1,50/1,65), a dalje ujedno i za različite CC, GCC i GC, zadržavajući tako dosadašnji nivo sigurnosti.

Parametri smičuće otpornosti	Komplet M2		
	EK 7	*povremena opterećenja	EK7:202x
Efektivni ugao smičuće otpornosti ($\tan \varphi'$)	1,25	1,3*/1,4/1,5/1,65	1,25 K_M
Efektivna kohezija (c')	1,25	1,3*/1,4/1,5/1,65	1,25 K_M
Vršni ugao smičuće otpornosti ($\tan \varphi'_{peak}$)	1,25	/	1,25 K_M
Vršna efektivna kohezija (c'_{peak})	1,25	/	1,25 K_M
Ugao smičuće otpornosti u kritičnom stanju ($\tan \varphi'_{cv}$)	1,25	/	1,1 K_M
Rezidualni ugao smičuće otpornosti ($\tan \varphi'_{rez}$)	/	/	1,1 K_M
Rezidualna efektivna kohezija	/	/	1,1 K_M
Nedrenirana čvrstoća c_u	1,4	1,8	1,4 K_M
Parametri otpornosti stena			
Smičuća otpornost	/	/	1,4 K_M
Ugao trenja po pukotinama	/	/	1,4 K_M
Čvrstoća na pritisak	1,4	1,4	1,4 K_M

Tabela 3. Upoređenje PK za PSO iz aktuelnog EC7, Nacionalnog priloga u Makedoniji i EC7 202x

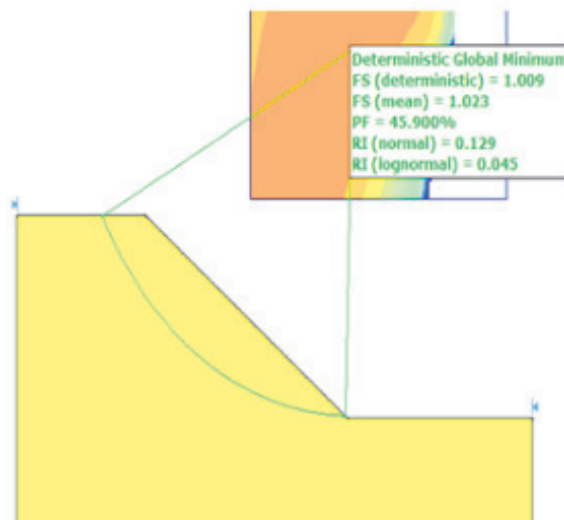
5.2. Verovatnoća rušenja

Navedeni postupak za verifikaciju stabilnosti ne tretira deformacije tla koje su od velike važnosti za stabilnost, dok iznos FS=1 sugeriše da neka kosina može biti u labilnom stanju (Maksimović, 2008). Kako je bilo navedeno, prihvatljiv FS zavisi od većeg broja faktora, u koje treba, osim pouzdanosti rezultata proračuna, ubrojati rizik, hazard i ekonomske posledice. Rezultati nekih metoda statističke analize, primenjene na probleme stabilnosti zemljanih masa u geotehničkom inženjerstvu sugeriraju da je verovatnoća rušenja ili loma značajniji i pogodniji pokazatelj od faktora sigurnosti FS.

Prema tački 13.3 u JUS-u, dopušta se izbor determinističkog ili probablističkog metoda. Definicija po kojoj treba usvojiti neku srednju vrednost za određenu zonu ili masu tla, kao deterministički metod može se u EC7 prepoznati kao izbor tzv. karakterističnih vrednosti X_k . Tačnije, za određeni dijapazon parametara dobijenih iz laboratorijskih i/ili terenskih istraživanja, primenjuje se konzervativni metod za njihovu selekciju, koje se na kraju prilože u okviru tzv. Modela tla. Ovaj metod u EC7 202x je obavezujući, a karakteristične vrednosti X_k se mogu dobiti preko jednačine date u Knjizi 1, gde se unose procenjena srednja vrednost parametra, procena neizvesnosti pojave parametara i koeficijent što zavisi od obima podataka koji se koristi za procenu srednje

vrednosti parametra. Probabilistički metod je u EC7 202x ponuđen kao opcija. Jedna od ovakvih metoda je tzv. Global Minimum kojom se opredeljuje verovatnoća loma kosine (Probability of Failure - PF). Parametri se variraju u odnosu na glavnu vrednost primenom standardne devijacije (σ_x), čime se dobijaju vrednosti za nisku (inferior) $X_{k,inf}$ i visoku (superior) karakterističnu vrednost $X_{k,sup}$, a u zavisnosti od statističkog koeficijenta koji se bazira na slobodi izbora parametara i broju proba.

Ovim metodom analizirana je ista kosina prema DC3, za koju su odabrani iznosi za standardnu devijaciju ($\sigma_\varphi=7$; $\sigma_c=3$), čime se dobija verovatnoća loma od oko 46%. Svakako, za primenu ovih metoda kod nas potrebno je napraviti širok opseg analiza i proračuna za definisanje tabelarnih vrednosti u kojima bi se predložili granični iznosi za PF koji se ne smeju nadmašiti za određene projektne uslove (Sarev, 2022).



Slika 4. Izlaz iz proračuna stabilnosti kosine analizirane probabilističkim metodom

6. PRAKTIČNO ZNAČENJE POUZDANOSTI I PRAVILNOG IZBORA PK

Definisanje geotehničke kategorije GC je obavezujuće u EC7 202x, preko tzv. menadžmenta pouzdanosti (Estaire et al., 2019). U JUS-u se ovakva definicija donekle može izjednačiti sa pouzdanošću geotehničkih parametara. Setimo se da se za nisku pouzdanost PSO preporučuje da se FSmin povećaju za 0,25 (tabela 1). Saglasno time, u NA MKS su predložene različite vrednosti za PK za PSO koji se, za visoku do niske pouzdanosti, kreću u dijapazonu $\gamma_{\varphi,c}=1.40\div 1.65$.

Konkretan primer značenja opisanog je jedna kosina na autoputu što je u fazi izgradnje u Makedoniji, za čiji proračun su projektanti – koji su iz inostranstva – koristili NA iz njihove otadžbine, čime su, pored DA3, u proračun uneli modelski faktor 1.1 i primenili ukupni materijalni PK u iznosu od 1,38. Ova vrednost bi, u našim uslovima, bila primenljiva samo prilikom visoke pouzdanosti parametara, što ovde, međutim, nije bio slučaj. Projektanti su, svakako, dobili dovoljnu rezervu postigavši $FS>1$. Ipak, da je NA MKS bio važeći i kao takav primenjen u analizi, onda bi se koristio materijalni PK u iznosu od 1,65 (saglasno JUS-u), odakle pri proizašlo da treba preduzeti mere stabilizacija jer se postiže $FS<1$. Ispravnost predložene više vrednosti se potvrdila već nakon prve godine od izgradnje, kada je kosina doživela lom.

7. ZAKLJUČAK

Tradicija uspešnog projektovanja kosina u građevinarstvu i rudarstvu u regionu SFRJ rezultat je dosledne primene odgovarajućih standarda. Pored ostalog, u njima su bili propisani i korišteni su i različiti dozvoljeni FS kliznih površina. Sa dolaskom EC7, postojeće standarde projektovanja trebalo je napustiti, ali je bilo važno i ispoštovati ih, što je učinjeno preko NA. Međutim, prilikom pripreme NA ukazano je na nekoliko ograničenja u aktuelnoj verziji EC7 sa aspekta stabilnosti kosina, kao što je, na pr., postojanje samo jednog iznosa FS za PSO, tj. jedan PK konstantnog iznosa. Ipak, već u početnoj fazi primene evrokodova započela je evolucija ka EC7 202x. On prevazilazi različitosti koje su se javile širom Evrope prilikom usvajanja NA, a ujedno i vrši korekcije, pored ostalog i primenom „kliznih“ FS u funkciji od klase geotehničke složenosti, a koja je u zavisnosti od kategorije konstrukcije, složenosti terena i obima istraživanja, što je već bilo obuhvaćeno u JUS-u. To nas približava našem tradicionalnom projektovanju kosina i omogućava budući bezbolan transfer ka EC7 202x, što se odnosi i na temelje i potporne zidove. Za ovakvo stanje, trebamo biti zahvalni viziji i mudrošću akademskoj zajednici, istraživačima i kolegama koji su svojevremeno pripremili standarde sa višeslojno i dalekosežno pozitivnim implikacijama.

8. REFERENCE

- [1] Андонов Сарев А., Папиќ Ј. Бр.: „Перестројка“ на еврокодovi и верификација на стабилност на косини со примена на пресметковни случаи од Еврокод 7 202x. Петти симпозиум на Друштво за геотехника на Македонија, Охрид, 2022
- [2] Andonov Sarev A., Papić J. Br. Eurocode 7 202x: Avoided offside in slope stability analyses. Proceedings of the 17th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Bucharest, 2023
- [3] Andonov Sarev, A.: Tendencies in the development of Eurocode 7 and in the design of geotechnical structures. Master thesis, Faculty of Civil Engineering – Skopje, Skopje, R. N. Macedonia, 2022
- [4] Bond A., Burlon S., Seters A., Simpson B.: Planned changes in Eurocode 7 for the second generation of Eurocode, Proceedings of the XVI ECSMGE, Edinburg, Scotland, 2015
- [5] Estaire J., Arroyo M., Scarpelli G., Bond A.J.: Tomorrow's geotechnical toolbox: Design of geotechnical structures to EN 1997:202x. Proceedings of the XVII ECSMGE, Reykjavik, Island, 2019
- [6] Franzen G., Arroyo M., Lees A., Kavvadas M., Van Seters A., Walter H., Bond A.J.: Tomorrow's geotechnical toolbox: EN 1997-1:202x General rules. Proceedings of the XVII ECSMGE, Reykjavik, Island, 2019
- [7] Maksimović M.M.: Mehanika tla. AGM knjiga. Beograd, 2008
- [8] Osiguranje donjeg stroja saobraćajnica i ukupne stabilnosti tla i trupa puta (JUS U.C4.200). Službeni list SFRJ br. 57/90, 1990
- [9] Papić J.Br., Dimitrievski Lj. and Prolović V: Value of partial factors for EC7 slope stability analysis: solved "mystery"?, 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Nicosia, 2012, pp.193-198.
- [10] Papić J. Br., Ristov R., Ognjenović Sl. and Peševski I.: Possible impact of Eurocode 7 on slope design for roads and railways, 3rd CETRA, Split, Croatia, 2014, pp.567-572.
- [11] Pravilnik o tehničkim normativima za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih sirovina. Službeni list SFRJ, br. 4/86 i 62/87, 1986