



9. savjetovanje Hrvatskog geotehničkog društva s međunarodnim sudjelovanjem i pod pokroviteljstvom ISSMGE-a
9th Conference of Croatian Geotechnical Society with international participation and under the auspices of ISSMGE
Geotehnika u epicentru – Petrinja 2020
SISAK, Croatia, 4. - 6. 5. 2023.
ISBN:xxxxxxxxxxxxx

ANALIZE STABILNOSTI PROGRAMOM GEO5 U SEIZMIČKIM UVJETIMA

ANALYSIS OF STABILITY USING THE GEO5 IN SEISMIC CONDITIONS

Željko LEBO¹, Ivan DOLIBAŠIĆ², Dalibor GELO³, Ivan LEBO⁴

SAŽETAK

U radu se daje kratak osvrt na analizu dokaza stabilnosti programom GEO5 u seizmički uvjetima. Prikazane su i sažete spoznaje u pogledu analiza stabilnosti klizanja tla s kritičnim osvrtom na trenutačno stanje propisa za projektiranje u seizmičkim uvjetima u Hrvatskoj. Poseban fokus se daje na postupak modeliranja tla i odabiru parametara tla pri analizama stabilnosti prema Eurokodu 7 i Eurokodu 8. U radu se navode postupci statičke i pseudostatičke (seizmičke) analize stabilnosti kosine tla (s građevinom) na lokaciji Pantovčak u Zagrebu, prema teoriji više autora, programom GEO5. Rezultati pseudostatičkih (seizmičkih) analiza pokazuju određena odstupanja za opću kliznu plohu, dok za kružnu kliznu plohu odstupanja nije bilo. Na temelju analiza iz ovoga rada potrebno je na inženjerski adekvatan način pristupiti provjeri stabilnosti kosina u seizmičkim uvjetima uz oprezno korištenje ponuđenih modela programskih alata. Ovim radom dati su određeni zaključci i preporuke za buduće provjere stabilnosti kosina programskim alatom GEO5 u sličnim uvjetima.

Ključne riječi: potres, pokos, stabilnost, seizmički, GEO5

ABSTRACT

The paper gives a brief overview of the analysis of stability evidence by the GEO5 program in seismic conditions. A summary of knowledge regarding soil sliding stability analyzes is presented, with a critical review of the current state of regulations for designing in seismic conditions in Croatia. Special focus is given to the soil modeling procedure and the selection of soil parameters during stability analyzes according to Eurocode 7 and Eurocode 8. The paper describes the procedures of static and pseudostatic (seismic) stability analysis of the soil slope (with building) at the Pantovčak location in Zagreb, according to the theory of several authors, using the GEO5 program. The results of pseudostatic (seismic) analyzes show certain deviations for the general sliding surface, while there were no deviations for the circular sliding surface. Based on the analysis from this paper, it is necessary to approach the stability check of the slope in seismic conditions in an engineering-adequate way, with the careful use of the offered models of software tools. This paper provides certain conclusions and recommendations for future checks of slope stability with the GEO5 software tool under similar conditions.

Keywords: earthquake, slope, stability, seismic, GEO5

¹ mr.sc., Zagreb University of Applied Sciences, Zagreb, Croatia, zeljko.lebo@tvz.hr

² mag.ing.aedif., Zagreb University of Applied Sciences, Zagreb, Croatia, ivan.dolibasic@tvz.hr

³ dr.sc., Zagreb University of Applied Sciences, Zagreb, Croatia, dalibor.gelo@tvz.hr

⁴ student, Zagreb University of Applied Sciences, Zagreb, Croatia, ivan.lebo@tvz.hr

UVOD

Tijekom 2020. godine Hrvatsku su zatresla tri jaka potresa. Dana 22. ožujka potres magnitude 5,5 po Richteru zatresao je Zagreb i užu okolicu te izazvao materijalnu štetu uz jednu ljudsku žrtvu. Zatim je 28. prosinca uslijedio potres magnitude 5,0 kod Petrinje, koji je prethodio najjačem i izuzetno razornom potresu sljedećeg dana 29. prosinca, magnitude 6,2 po Richteru s epicentrom 3 km jugozapadno od grada Petrinje, a koji se osjetio u krugu od oko 400 km od epicentra. Uz velike materijalne štete na objektima život je izgubilo 7 osoba.

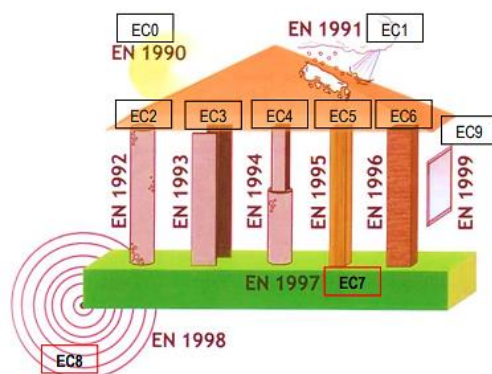
Do pojave potresa, odnosno tih destruktivnih prirodnih pojava dolazi uslijed naglog oslobađanja energije akumulirane djelovanjem posmičnih naprezanja na dodirnim ploham formacija stijena koje nazivamo rasjedima. Kada naprezanja premaše kritičnu čvrstoću stijena, dolazi do njihova naglog pomaka i oslobađanja ekstremno velike energije. Akumulirana energija tada se troši za lom i promjenu gravitacijske potencijalne energije stijena, pri čemu se u okolnu litosferu oslobađaju seizmički valovi te toplina kao rezultat trenja.

Seizmološki gledano područje Hrvatske je seizmički vrlo aktivno i potresi su prirodna pojava na koju se u fazi projektiranja kao i eksploatacije mora računati. Stoga regulativni propisi koji se primjenjuju u Hrvatskoj za primarni cilj imaju očuvanje života ljudi uz što manje štete u ekonomskom smislu. Pristupanjem Europskoj uniji od 2013. godine u Hrvatskoj se primjenjuju Europske norme, odnosno Eurokodovi.

Europske norme (EN), odnosno Eurokodovi čine skupinu standarda za projektiranje konstrukcija građevina od 10 zasebnih cjelina podjeljenih prema tehničkim karakteristikama (Lebo, 2014.). Na slici 1 dat je shematski prikaz eurokodova.

Normativni okvir za projektiranje konstrukcija Eurokod 8 je stalno u procesu nadopune i za cilj ima uvrstiti najnovija saznanja i alternativne pristupe pravilnog projektiranja potresne otpornosti građevinskog fonda. Postepeno se razvijaju metode proračuna, od metoda temeljenim na silama, preko metoda

temeljenih na pomacima pa do suvremenih metoda temeljenih na trošenju energije (Stepinac, 2020.)



Slika 1. Shematski prikaz eurokodova prilagođen prema Lebo, 2014.

Eurokod 8 se bavi projektiranjem potresne otpornosti konstrukcija i tla. U Hrvatskoj se primjenjuje s nacionalnim dodacima (NA).

EUROKOD 8 I PARAMETRI TLA ZA ANALIZE

Stupanj sigurnosti se uporabom Eurokoda 8 povećava, jer su u njega unesene najnovije spoznaje istraživača, uz izmijenjeni pristup aseizmičkom projektiranju, ali se potrošnja materijala povećava 20% do 30% uz povećanje nivoa sigurnosti. U filozofiju aseizmičkog projektiranja polako ulaze nova shvaćanja. Metode dimenzioniranja bazirane na osnovi reguliranja očekivanog ponašanja i pomaka tijekom potresa, koje je lakše povezati s nivoom oštećenja negoli sile, već su polako zamijenile postojeće metode (Sigmund i dr., 2000.)

Eurokod 8 izdvaja dva različita zahtjeva vezana uz razinu zaštite građevine, a to su „*near collapse*“ (blizu/do kolapsa) i „*damage limitation*“ (ograničenje štete). Prema prvome zahtjevu, nosive konstrukcije moraju biti projektirane i izvedene tako da izdrže i seizmička (dinamička) opterećenja do granice kolapsa (kolaps nije dopušten), s obzirom na najjači mogući potres na lokalnome terenu na kojem se grade. Drugi se osnovni zahtjev Eurokoda 8 odnosi na ograničavanje mogućih oštećenja. Sama konstrukcija bi kao sustav morala moći evakuirati oštećenja u neopasna (nenosiva) područja, a pri tome izdržati

referentni potres koji ima znatno veću vjerojatnost pojave od projektiranog potresa na granici oštećenja. (Bisch i dr., 2011.)

U Hrvatskoj se primjenjuje norma HRN EN 1998-1:2011/NA, koja uz još 5 normi (1998-1 do 1998-6) za pojedine konstrukcije uz nacionalne dodatke (NA), zajedno čine cjelinu Eurokoda 8 u RH. Prema normi HRN-EN 1998-1 definiraju se tipovi temeljnog tla A, B, C, D i E opisani stratigrafskim profilima i parametrima. Ako je moguće, lokaciju treba razvrstati u skladu s vrijednošću prosječne brzine poprečnog vala, $v_{s,30}$. U protivnom treba upotrijebiti vrijednost N_{SPT} i C_u .

Sukladno HRN-EN 1998-5 svojstva temeljnog tla se izražavaju parametrima čvrstoće, a za seizmičke analize obvezno se koriste vrijednosti parametara čvrstoće tla koji se upotrebljavaju za statičke nedrenirane uvjete. Za koherentna tla (glina, prah...) prikladan parametar čvrstoće je nedrenirana posmična čvrstoća, c_u . Za nekoherentna tla (šljunak, pijesak,...) parametar čvrstoće je ciklička nedrenirana posmična čvrstoća, $\tau_{cy,u}$. Glavni parametar krutosti temeljnog tla pri potresnom opterećenju je modul posmika, G . Za stijene se može uzeti jednoosna tlačna čvrstoća uz ne spriječenu bočnu deformaciju, q_u .

U nacionalno dodatku Eurokoda 8 su definirane vrijednosti parcijalnih koeficijenata za svojstva materijala tla na isti način kako su definirana i u Eurokodu 7.

Lokacija općenito treba biti geološki analizirana uz provedenu klasifikaciju tla u pogledu nestabilnosti kosina, lociranja rasjeda, pojave opasnosti od sloma tla, likvefakcije ili velike stišljivosti.

Zgrade razreda važnosti II, III, IV definirane u Eurokodu 8 (EN 1998-1:2004), ne smiju se graditi u neposrednoj blizini tektonskih rasjed koji su potresno aktivni prema službenim dokumentima. Za zgrade razreda važnosti I nije obvezno provjeravati stabilnost ako je iz usporedivog iskustva poznato da je temeljno tlo stabilno na lokaciji građenja.

METODE PRORAČUNA U GEOTEHNICI

Provjera stabilnosti temeljnog tla mora se provesti za konstrukcije građevina koje će se

temeljiti na prirodnim ili umjetnim kosinama ili njihovoj blizini kako bi se utvrdilo da za proračunski potres postoji očuvana sigurnost i uporabivost građevine.

U literaturi postoje razne metode provjere konstrukcija i tla na seizmička djelovanja. U Hrvatskoj se sukladno Eurokodu 8 i Eurokodu 7 odziv kosina temeljnog tla na proračunski potres mora proračunati utvrđenim metodama dinamičkog proračuna kao što su metoda konačnih elemenata (MKE), modelima s krutim blokovima i/ili pojednostavljenim pseudostatičkim metodama. U inženjerskoj praksi pseudostatičke metode proračuna stabilnosti u obzir uzimaju uključnje horizontalnih i vertikalnih inercijskih sila koji djeluju na svaki dio mase tla i na sva gravitacijska opterećenja koja djeluju na vrhu kosine. U pseudostatičkim analizama koriste se isti parcijalni koeficijenti za parametre čvrstoće tla kao i u statičkim analizama, što se kasnije pokazuje dosta diskutabilnim.

ANALIZE STABILNOSTI

Dobro je poznato da se i stabilne kosine u trenutku potresa mogu dovesti u nestabilne, odnosno klizišta. Slika 2 prikazuje klizišta koja su nastala kao posljedica potresa na otoku Hokkaido u Japanu 2018. godine.



Slika 2. Klizišta uzrokovana seizmičkim aktivnostima na Hokkaidu 2018., Japan (Vrček, 2021.)

Za dokaze stabilnosti pokosa na klizanje u inženjerskoj se praksi se najčešće provodi metoda granične ravnoteže (eng. *limit equilibrium methods* - LEM). Najviše se primjenjuju metode lamela, gdje se tlo iznad pretpostavljene klizne plohe podijeli na

nekoliko, uglavnom vertikalnih, lamela, a rezultat je vrijednost faktora sigurnosti na klizanje kosine, dok se u Eurokodu 7 kao rezultata analiza dobiva stupanj iskoristivosti, baziran na sustavu parcijalnih koeficijenata, a ne kao recipročna vrijednost faktora sigurnosti.

Programski paket GEO5 u modulu Slope stability nudi odabir više projektnih pristupa u EC7, a za RH odabire se projektni pristup 3 (PP3). Projektnim pristupom 3 odabiru se parcijalni koeficijenti kojima se sile, opterećenja i rezultati faktoriziraju i izračunava se vrijednost stope iskorištavanja kapaciteta, odnosno

stupanj iskoristivosti V_u , (engl. *Value of capacity utilization*), na način:

$$V_u = \frac{M_a}{M_p} \times 100 < 100\%$$

gdje je

M_a -moment klizanja (*sliding moment*),

M_p -moment otpornosti (*resisting moment*)

U tablici 1 dat je prikaz metoda granične ravnoteže s karakterističnim rubnim uvjetima po pojedinom autoru:

Programski alat GEO5 koristi modul slope stability, baziran na HRN-EN 1997-1,

Tablica 1. Karakteristike nekih varijanti metode granične ravnoteže

Naziv varijante	Klizna ploha	Jednadžbe ravnoteže		Sile među lamelama		Funkcija nagiba među lamelama f (x)
		$\Sigma_x = 0$	$\Sigma_m = 0$	ΔX	ΔY	
Obična ili Felleniusova (Fellenius, 1936)	Kružna	Ne	Da	= 0	= 0	X = 0 Y = 0
Janbuova pojednostavljena (Janbu, 1954)	Opća	Da	Ne	≠ 0	= 0	= 0
Bishopova pojednostavljena (Bishop, 1955)	Kružna	Ne	Da	≠ 0	= 0	= 0
Morgenstern-Priceova (Morgenstern i Price, 1965)	Opća	Da	Da	≠ 0	≠ 0	Zadaje korisnik
Spencerova (Spencer, 1967)	Opća	Da	Da	≠ 0	≠ 0	= 1
Sarmina (Sarma, 1973)	Opća	Da	Da	≠ 0	≠ 0	Y = C+X·tanφ

Napomene: $\Sigma_x = 0$ jednadžbe ravnoteže u horizontalnom smjeru
 $\Sigma_m = 0$jednadžba ravnoteže momenta sila

GEOSTATICKE ANALIZE STABILNOSTI

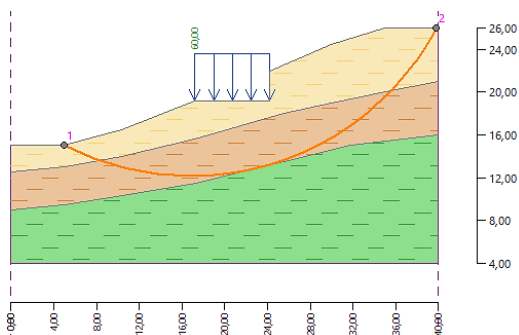
Većina programskih alata koji se koriste u praksi sadržavaju analize za kružnu i opću kliznu plohu. U ovom radu dat je primjer analiza za programski alat GEO5 koji u svom portfelju ima modul „Slope stability“ kojim se analizira stabilnost kosina metodom granične ravnoteže za kružnu i opću kliznu plohu. Analiza stabilnosti je provedena za jednu građevinu izvedenu na lokaciji Pantovčak u Zagrebu sagrađenu netom prije velikog potresa u Zagrebu koji se desio 22.03.2020. jakosti 5,5° po Richteru.

Teren je zakošen u nagibu oko 19°, a geotehničkim istraživanjima nije ustanovljena podzemna voda i izdvajaju se tri specifična sloja:

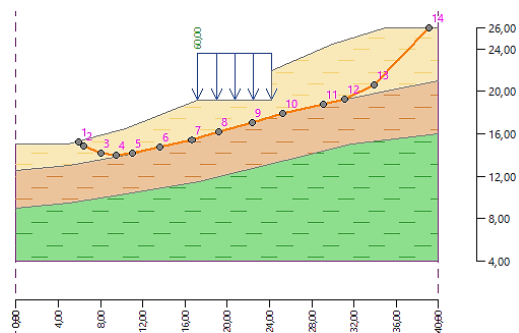
1. Glina CL
 $\gamma=19,0\text{kN/m}^3$
 $c_u=50\text{ kPa}$
2. Glina CH
 $\gamma=19,0\text{kN/m}^3$
 $c_u=80\text{ kPa}$
3. Glina CH,
 $\gamma=19,0\text{kN/m}^3$
 $c_u=150\text{ kPa}$.

Sve geostatičke analize su provedene s proračunskim vrijednostima parametara čvrstoće. Za navedenu kosinu prvotno je provedena geostatička analiza uz stalno opterećenje od građevine (60 kN/m²), a korišten je programski alat GEO5, modul Slope stability za kružnu kliznu plohu, prema navedenim autorima (Slika 3).

Nakon provedene geostatičke analize za odabir opcija „optimizacija“ tj. odabir najkritičnije kružne klizne plohe dolazimo do zaključka da je svim autorima za najkritičnija kružnu kliznu plohu stupanj iskoristivosti od 55,8 %.



Slika 3. Prikaz modela geostatičke analize za kružnu kliznu plohu



Slika 4. Prikaz modela geostatičke analize za opću kliznu plohu

Nakon provedene za najkritičniju kružnu kliznu plohu provedena je analiza stabilnosti i za opću kliznu plohu (slika 4).

Rezultati analiza bez potresa za kritičnu kružnu i opću kliznu plohu dati su u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati analize bez potresa za kružnu i opću kliznu plohu

METODA ANALIZE BEZ POTRESA	STUPANJ ISKORISTIVOSTI (%)	
	KRUŽNA	OPĆA
Fellenius/Petterson (1936)	55,7 %	/
Janbu-ova pojednostavljena (1954)	55,8 %	59,9 %
Bishop-ova pojednostavljena (1955)	55,7 %	/
Morgenstern-Price (1965)	55,8 %	59,9 %
Spencer (1967)	55,8 %	58,4 %
Sarma (1973)	/	59,2 %

SEIZMIČKE ANALIZE STABILNOSTI

Sve seizmičke analize su provedene s proračunskim vrijednostima parametara čvrstoće.

Nakon provedene geostatičke analize pristupilo se analizi u seizmičkim uvjetima. Programski alat GEO5 za provedbu seizmičke analize koristi koeficijente k_h i k_v . Eurokod 8 definira (u HRN EN 1998-5, prema jednadžbi 4.1.) seizmičke parametre za pseudostatički proračun, te ga za potresno djelovanje prikazuje skupinom horizontalnih i vertikalnih statičkih sila jednakih umnošku gravitacijskih sila i potresnog koeficijenta.

S obzirom da za su za lokaciju provedeni standardni in-situ i laboratorijski istražni radovi, te ukoliko nema posebnih istraživanja, potresne koeficijente za horizontalni smjer k_h i vertikalni smjer k_v , kojima se množi težina klizeće mase, programski alat GEO5 navodi da se isti računaju na način:

$$k_h = \alpha \cdot s$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \text{ ako je } \frac{a_{vg}}{a_g} > 0,6$$

$$k_v = \pm 0,33 \cdot k_h \text{ u drugim slučajevima}$$

Gdje je:

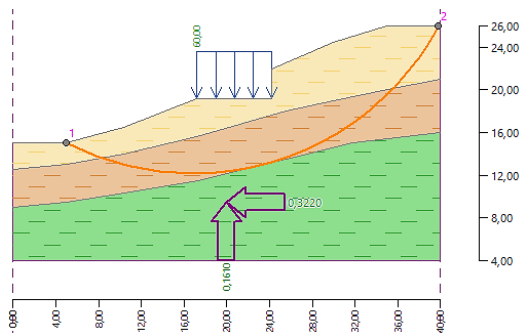
$$\alpha = \frac{a_g}{g}$$

S = parametar ovisan o tipu tla

Prema seizmičkim kartama iz Eurokoda 8 za Zagrebačko područje uzeto je horizontalno vršno ubrzanje od $a_g=0.26g$ za povratno razdoblje od 475 god. što nam daje vrijednost koeficijenta $\alpha=0.265$.

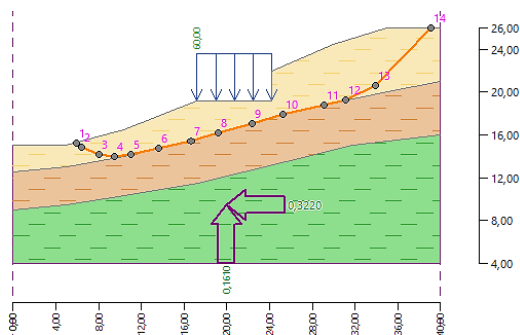
$S = 1,15$ (odabran za tip tla C prema Tablici 3.2. iz norme HRN-EN 1998-1)

Provedena je seizmička analiza stabilnosti kosine za isti model prema autorima koje nudi programski alat GEO5 modul Slope stability za kružnu i opću kliznu plohu (tablica 3).



Slika 5. Prikaz modela seizmičke analize za kritičnu kružnu kliznu plohu

Opća klizna ploha je ujedno i kritična klizna ploha za dati model, čija je pozicija određena geološkim i geotehničkim istražnim radovima (slika 6)



Slika 6. Prikaz modela seizmičke analize za opću kliznu plohu

Tablica 3. Rezultati seizmičke analize za kružnu i opću kliznu plohu

METODA SEIZMIČKE ANALIZE	STUPANJ ISKORISTIVOSTI (%)	
	KRUŽNA	OPĆA
Fellenius/Petterson (1936)	96,3 %	/
Janbu-ova pojednostavljena (1954)	96,3 %	102,3 %
Bishop-ova pojednostavljena (1955)	96,3 %	/
Morgenstern-Price (1965)	96,4 %	102,3 %
Spencer (1967)	96,4 %	98,0 %
Sarma (1973)	/	90,3 %

ANALIZE REZULTATA PRORAČUNA

Ako se promatra analiza rezultata zasebno za kružnu i zasebno za opću kliznu plohu mogu se bolje spoznati vrijednosti rezultata analiza.

U tablici 6. dati su rezultati seizmičkih analiza za kritičnu kružnu kliznu plohu dok u tablici 7. su prikazani rezultati za opću kliznu plohu.

Nakon provedene analize rezultata za kritičnu kružnu kliznu plohu (tablica 4) u geostatičkim uvjetima i u seizmičkim uvjetima vrijednosti stupnja iskoristivosti su gotovo identični (u razini statističke pogreške) za sve navedene autore iz tablice 2.

Tablica 4. Rezultati geostatičkih i seizmičkih analiza za kritičnu kružnu kliznu plohu

METODA ANALIZE ZA KRUŽNU PLOHU	STUPANJ ISKORISTIVOSTI (%)	
	STATIČKA	SEIZMIČKA
Fellenius/Petterson (1936)	55,7 %	96,3 %
Janbu-ova pojednostavljena (1954)	55,8 %	96,3 %
Bishop-ova pojednostavljena (1955)	55,7 %	96,3 %
Morgenstern-Price (1965)	55,8 %	96,4 %
Spencer (1967)	55,8 %	96,4 %
Sarma (1973)	/	/

Međutim rezultati analiza za opću kliznu plohu (tablica 5) u geostatičkim uvjetima daju vrlo bliske rezultate stupnja iskoristivosti, dok za seizmičke uvjete oni se razlikuju u toj mjeri da neki prekoračuju dopuštene vrijednosti.

Tako recimo rezultati seizmičkih analiza za Janabu (1954) i Morgenstern-Price (1965) daju stupanj iskoristivosti od 102,3% što prekoračuje granično stanje nosivosti prema Eurokodu 7. Za usvajanje metode analize u seizmičkim uvjetima za opću kliznu plohu po Janbu ili Morgenstern-Price evidentno je da je građevinu potrebno temeljiti na geotehničkim pilotima ili, na bilo koji drugačiji način od predloženoga, a sve kako bi se stupanj iskoristivosti doveo u prihvatljive granice.

Tablica 5. Rezultati geostatičkih i seizmičkih analiza za opću kliznu plohu

METODA ANALIZE ZA OPĆU PLOHU	STUPANJ ISKORISTIVOSTI (%)	
	STATIČKA	SEIZMIČKA
Fellenius/Petterson (1936)	/	/
Janbu-ova pojednostavljena (1954)	59,9 %	102,3 %
Bishop-ova pojednostavljena (1955)	/	/
Morgenstern-Price (1965)	59,9 %	102,3 %
Spencer (1967)	58,4 %	98,0 %
Sarma (1973)	59,2 %	90,3 %

ZAKLJUČAK

Prema rezultatima analiza programskim paketom GEO5 može se zaključiti ukoliko analiza stabilnosti u geostatičkim uvjetima za opću kliznu plohu daje stupanj iskoristivosti po EC7 do cca 60 %, za očekivati je da ista kosina (model) u seizmičkim uvjetima daje upitno prihvatljive rezultate u pogledu globalne stabilnosti kosine uz stupanj iskoristivosti po EC7 (od 90% do 102%), što upućuje na oprez i potrebu za dubokim temeljenjem na pilotima ili na neki drugi način čime će se stupanj iskoristivosti dovesti u prihvatljive granice.

Ako se radi o kritičnoj kružnoj kliznoj plohi koja u geostatičkim uvjetima daje stupanj iskoristivosti do cca 56%, za očekivati je da će ista kružna klizna ploha zadovoljavati stupanj iskoristivosti u seizmičkim uvjetima. No to treba uvijek dokazati.

U radu se navode postupci provjere statičke i pseudostatičke analize stabilnosti kosine prema teoriji više autora programom GEO5. Rezultati pseudostatičkih analiza pokazuju određena odstupanja za opću kliznu plohu, dok za kritičnu kružnu kliznu plohu nema odstupanja. Ovaj rasap rezultat manje je važan problem od značajnijeg problema što se u pseudostatičkim analizama Eurokoda 8 koriste isti parcijalni koeficijenti kao i u geostatičkim analizama.

Kada primjena pseudostatičkih analiza stabilnosti kosina ukazuje na nestabilnu kosinu i kada to baš nije za realno očekivati u tim slučajevima bolje je koristiti metodu kližućeg bloka koju Eurokod 8 priznaje kao prihvatljivu.

Da bi se uspješno provjerili stabilnost tla kosine u seizmičkim uvjetima potrebno je inženjersko znanje i iskustvo u korištenju gotovih programskih alata koji koriste EC7 i EC8.

Najveći problem korištenja EC7 su stečene navike koje se u principu teško iskorjenjuju i među inženjerima, pa je zato važno imati na umu način na koji se propisi i proračuni primjenjuju u praksi. Posljedice raskoraka sadržaja propisa i načina njegove provedbe u praksi su vidljive tek nakon pojave snažnijeg potresa.

REFERENCE

- Bisch, P., i dr. 2011., *Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples*, Workshop „EC 8: Seismic Design of Buildings“, Lisbon.
- Bishop, A.W., 1955. *The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*, Geotechnique, Great Britain, Vol. 5, No. 1, Mar., pp. 7-17.
- Janbu, N., 1973. *Slope Stability Computations. Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume*, R.C. Hirschfeld and S.J. Poulos, eds., John Wiley and Sons, New York, pp 47-86.
- Janbu, N., 1954. *Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis*. European

Conference on Stability Analysis, Stockholm, Sweden.

Lebo, Ž., 2014. *Eurokod 7 u geotehničkom inženjerstvu RH*, Program stručnog usavršavanja ovlaštenih arhitekata i inženjera u graditeljstvu, Tehničko veleučilište u Zagrebu.

Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1965. *The analysis of the stability of general slip surfaces*, Géotechnique, 15(1): 79-93.

Morgenstern, N.R., and Price, V.E. 1967. *A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces*, Computer Journal, 9: 388-393.

Petterson KE., 1955. *The early history of circular sliding surfaces*. Geotechnique 5:275-296.

Sarma, S. K., 1973. *Stability analysis of embankments and slopes*, Géotechnique 23, 423-433.

Sigmund, V., Mirjana Bošnjak-Klečina, M., Guljaš, I., Stanić, A., 2000. *Usporedba primjene hrvatskih propisa i Eurokoda 8*, Građevinar br. 52, pp 379-388.

Spencer, E., 1967. *A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces*. Géotechnique, 17(1): 11-26.

Stepinac, M., Borak, F., Šušteršič, I., Gavrić, I., 2020. *Metode proračuna potresne otpornosti - energetske metode*, Polytechnic & Design, Vol. 8, No. 1, pp 15-28.

Vrček, D., 2021. *Eurokod 8: Seizmički dizajn u geoinženjerstvu okoliša*, Diplomski rad, pp. 23.