

PRILOG IZRADI NACIONALNOG ANEKSA EVROKODU 7 – IZ ASPEKTA POTPORNIH ZIDOVA

TOWARDS PREPARATION OF NATIONAL ANNEX TO EUROCODE 7 - FROM ASPECT OF RETAINING WALLS

Jovan B. PAPIĆ
Verka PROLOVIĆ
Ljupčo DIMITRIJEVSKI
Dragan LUKIĆ
Zoran BONIĆ

STRUČNI RAD
PROFESSIONAL PAPER
UDK: 624.131.52 ; 006.44:624.1
ID: 204280076

1 UVOD

Evrokod 7 (EK 7) sačinjavaju dva dela: u prvom delu obrađuju se opšta pravila u geotehničkom dimenzioniranju, dok su u drugom obuhvaćena laboratorijska i terenska ispitivanja. Oba sadrže podatke koji su ostavljeni na izbor državama, tzv. Nacionalno određene parametre (NOP), čiji izbor zavisi od dosadašnjih „lokalnih” proračunskih tradicija, ispitivanja, sigurnosti, trajnosti i ekonomičnosti objekata, kao i od preporučenih vrednosti koje Evropska unija traži da budu primenjene. Osim toga, usled različitih geoloških, geomehaničkih, geografskih, klimatskih i drugih uslova koji su doveli do razvijanja različitih geotehničkih metoda, modela, istraživanja i drugog na teritoriji Evrope, a koji su usporili razvoj i prihvatanje EK 7, u prvom delu ponuđena su i tri postupka dimenzioniranja geotehničkih konstrukcija. Time je svakoj državi omogućeno da izabere najadekvat-

Asist. dr Jovan Papić, dipl.inž.građ., Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij”, Građevinski fakultet, Katedra za geotehniku, bul. Partizanski odredi br.24, Skoplje, R. Makedonija; e-pošta: papic@gf.ukim.edu.mk
Prof. dr Verka Prolović, dipl.inž.građ., Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Katedra za građevinsku geotehniku, ul. Aleksandra Medvedeva br.14, Niš, R. Srbija
Prof. dr Ljupčo Dimitrijevski, dipl.inž.građ., Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij”, Građevinski fakultet, Katedra za geotehniku, bul.Partizanski odredi br.24, Skoplje, R. Makedonija
Prof. dr Dragan Lukić, dipl.inž.građ., Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet – Subotica, Katedra za geotehniku i saobraćajnice, Kozaračka 2/a, Subotica, R. Srbija
Doc. dr Zoran Bonić, dipl.inž.građ., Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Katedra za građevinsku geotehniku, ul. Aleksandra Medvedeva br.14, Niš, R. Srbija

1 INTRODUCTION

Eurocode 7 (EC 7) consists of two parts: the first part elaborates general rules in geotechnical design, while the second includes laboratory and field testing. Both parts include data which are left to the choice of particular countries - so called nationally determined parameters (NDP), whose selection depends on present "local" designing traditions, testing, safety, durability and cost-effectiveness of structures, as well on the values recommended by EU. Besides, due to various geological, geomechanical, geographical, climatic and other conditions that led to the development of different geotechnical methods, models, investigations etc. in Europe, which slowed down the development and adoption of the EC7, the first part introduces three designing approaches for geotechnical structures. Thus, every country is free to select the most appropriate design

Asist. dr Jovan Papić, Civ.Eng., University „St Kiril i Metodij”, Faculty of Civil Engineering, Chair of geotechnics, bul. Partizanski odredi 24, Skoplje, R. Makedonija; e-mail: papic@gf.ukim.edu.mk
Prof. dr Verka Prolović, Civ.Eng., University of Nis, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Chair of geotechnical constructions, ul. Aleksandra Medvedeva 14, Niš, R. Srbija
Prof. dr Ljupčo Dimitrijevski, Civ.Eng., University „St Kiril i Metodij”, Faculty of Civil Engineering, Chair of geotechnics, bul.Partizanski odredi 24, Skoplje, R. Makedonija
Prof. dr Dragan Lukić, Civ.Eng., University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering – Subotica, Chair of geotechnical and traffic artery, Kozaračka 2/a, Subotica, R. Srbija
Doc. dr Zoran Bonić, Civ.Eng., University of Nis, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Chair of geotechnical constructions, ul. Aleksandra Medvedeva 14, Niš, R. Srbija

niji proračunski postupak (PP) i da delimično promeni navedene parametre, među kojima su i parcijalni koeficijenti (PK) koji se dodeljuju karakterističnim vrednostima parametara, usled čijeg se rasporeda PP međusobno razlikuju. To se čini izradom Nacionalnih aneksa (NA), koje svaka zemlja, saglasno svojim zahtevima, priprema nakon objavljivanja EK. Pre donošenja konačne odluke o odgovarajućim PP i NOP, neophodno je uraditi analize, proračune i verifikacije. Metodologija je opisana u sledećim redovima.

Prilikom određivanja odgovarajućeg PP, dotičnu geotehničku konstrukciju treba uporedno analizirati s postojećim i s ponuđenim metodama, iz čega će se ustanoviti koji je postupak najbliži dosadašnjem „stilu” proračuna. Kompatibilnost „starog” i novog metoda proračuna vodi ka odabiru PP koji će omogućiti inženjerima da nastave proračune na način sličan aktuelnom. Nakon toga, sledi određivanje iznosa PK koji se utvrđuje iz uslova dobijanja približno istih dimenzija konstrukcija, preko dosadašnjeg i gore predloženog PP. Ovaj preduslov je opravdan jer je dosadašnja praksa pokazala uspešnost primenjenih „zastarelih” postupaka i koeficijenata i dokazala ih višedecenijskom upotrebljivošću objekata, a time bi se paralelno stabilnost i sigurnost objekata zadržala i obezbedila – i fizički i pravno – jer ostaje u nadležnosti države. Ujedno, predloženi PP i PK biće prihvatljivi i iz aspekta naknadnog proračuna postojećih konstrukcija prilikom bilo kakve dogradnje/nadgradnje, sanacije ili rekonstrukcije. Zahvaljujući tome što će se nakon sličnih proračuna (po kojima je objekat nekada projektovan i izgrađen, i po kojima se na objektu trenutno rade intervencije), dobiti približno iste dimenzije. U suprotnom, usvajanje neodgovarajućih PP i PK prouzrokovalo bi disperziju između dimenzija, ugrozilo sigurnost i realizaciju objekata, a i stvorilo bi konfuziju među projektantima i izvođačima. Pritom, treba imati u vidu da različiti PP sa odgovarajućim PK ne dovode uvek do istog ili sličnog stepena sigurnosti i dimenzija koji su dosad bili obezbeđeni (npr. globalnim faktorom) [16], pa ukoliko se određene konstrukcije realizuju prema njima, izvesno je da bi bile nesigurne, zbog čega je neophodan oprez prilikom izbora PP i određivanja PK.

Međutim, činjenica da su evrokodovi trenutno aktuelni proračunski normativi u Evropskoj uniji, ne svrstava ih neminovno u kategoriju savršenih, što se odnosi i na EK 7. Naravno zbog toga što je njegova priprema trajala nekoliko decenija, pa je jasno da je morao da ostane „imun” na unošenje u međuvremenu postignutih naučnih dostignuća. Takođe, na neke nedostatke i ograničenja stidljivo je ukazano u samom njegovom tekstu, pa su upravo zato propisane „revizije” na nekoliko godina kako bi se „evolucija” dirigovala. Tokom njih će moći da se dodaju poglavlja koja trenutno nedostaju, a koja jesu potrebna, pa će pojedine prisutne oblasti detaljnije moći da se opišu, te da se predloži prihvatanje određenog metoda za proračun sleganja i slično. Iz vizure ovde obrađivanih potpornih konstrukcija, to se dominantno odnosi na određivanje parametara smičuće otpornosti, definisanje merodavnih i za proračun koeficijenata zemljanih pritisaka. Deo njih je delimično obuhvaćen u EK 7-1, a i u njegovim aneksima, o kojima se u NA takođe treba izneti stav. Imajući u vidu da su ostali aneksi informativnog karaktera, sa izuzetkom dodatka A koji je obavezan, moguće je uvesti

approach (DA) and partially change parameters, including partial factors (PF) assigned to the characteristic values of parameters, and whose order causes differences between design approaches. This is done with preparation of National annexes (NA) which every country develops after publishing the EC, according to its own demands. Before making final decision on appropriate DA and NDP, it is necessary to perform analyses, calculations and verifications, whose methodology is described in the following part.

When determining appropriate DA, a geotechnical structure should be comparatively analyzed using current and proposed methods, which determines the closest approaches to the actual designing "style". The compatibility between "old" and new method leads to the selection of DA that shall provide engineers to continue with design in a manner that is similar to the current one. This is followed by determination of the PF, based on the conditions for gaining approximately similar dimensions of the structures using actual and proposed DA. This prerequisite is valid because present practice has shown efficacy of "outdated" approaches and factors, proved with serviceability of the structures; besides that, the stability and safety shall be provided and sustained both physically and legally, because it remains in state competence. Moreover, the proposed DA and PF shall also be acceptable for any additional design of existing structures due to upgrade, rehabilitation or reconstruction. This comes from the fact that similar designs (once used for designing and building purposes and now to perform interventions) will obtain similar dimensions. On the contrary, the adoption of inappropriate DA and PF causes dispersion among designs and threatens the safety and implementation of a structure, but also causes confusion between designers and contractors. It should be emphasized that different DA with corresponding PF do not always lead to the same or similar degree of safety and dimensions provided thus far (e.g., with global factor) [16], so if particular structures are built according to them, they could become unstable. Thus, the selection of DA and PF should be performed with great caution.

However, the fact that eurocodes are recent standards in designing within EU does not make them perfect, and that also stands for EC7. This is particularly because of the fact that several decades took for their preparation, so it is clear that EC7 had to stay "immune" to any possible introduction into the scientific attainments achieved thus far. Besides that, some shortcomings and limitations were suggested in the original version of paper, which demanded some "revisions" to guide its "evolution". Thus, it would be allowed to incorporate chapters that are currently missing but required, to describe in greater extent some of the topics, propose acceptance of particular method for calculation of settlement, etc. From the point of view of retaining structures elaborated in this paper, it is mostly related to determination of shearing strength parameters, definition of relevant values and calculation of coefficients for earth pressures. Some of them are explained in EC7-1 and its annexes, but they should also be commented in NA. Having in mind that all annexes are informative (except the mandatory annex A), it is possible to introduce enhanced methods for calculation of required parameters (e.g., non-linear instead of Mohr-

i poboljšane metode određivanja ili proračuna potrebnih parametara (npr. nelinearnu umesto Mor-Kulombovu anvelopu loma).

U radu su tretirani opisani geotehnički aspekti dimenzioniranja potpornih konstrukcija, na koje se nadovezuju oni armirano-betonski, koji su detaljnije obuhvaćeni Evrokodom 2, a međusobno sinhronizovani putem EK 0 i EK 1.

2 OPIS PRORAČUNSKIH POSTUPAKA

U proračunskom postupku 1 (PP1) potrebno je ispitati dve kombinacije PK:

$$A1 + M1 + R1 \quad (1)$$

$$A2 + M2 + R1 \quad (2)$$

gde A_i , M_i i R_i redosledno označavaju skupove PK kojima se množe ili dele karakteristične vrednosti akcija (dejtva), materijala i otpora, pretvarajući ih u proračunske. Njihove izvorne vrednosti su date u [3] i [4] i iznose:

Coulomb failure envelope).

This paper presents the described geotechnical aspects for design of retaining structures and reinforced concrete elements (covered in more depth within Eurocode 2), which are synchronized under EC0 and EC1.

2 DESCRIPTIONS OF DESIGN APPROACHES

Design approach 1 (DA1) requires testing of two combinations of PF:

Where, A_i , M_i and R_i indicate sets of PF to multiply or divide characteristic values of actions (impacts), materials and resistance, turning them into design values. Their original values are shown in [3] and [4]:

Tabela 1. Parcijalni koeficijenti za dejstva (γ_F) ili efekte od dejstva (γ_E)
Table 1. Partial factors for actions (γ_F) or effects of actions (γ_E)

Dejstvo Action		Oznaka Symbol	Skup Set	
			A1	A2
Trajno Permanent	Nepovoljno Unfavourable	γ_G	1.35	1.0
	Povoljno Favourable		1.0	1.0
Povremeno Variable	Nepovoljno Unfavourable	γ_Q	1.5	1.3
	Povoljno Favourable		0	0

Tabela 2. Parcijalni koeficijenti za parametre tla (γ_M)
Table 2. Partial factors for ground parameters (γ_M)

Parametar tla Soil parameter	Oznaka Symbol	Skup Set	
		M1	M2
Efektivni ugao otpornosti na smicanje ^a Effective angle of shearing resistance ^a	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Efektivna kohezija Effective cohesion	γ_c	1.0	1.25
Nedrenirana otpornost na smicanje Undrained shear strength	γ_{cu}	1.0	1.4
Jednoaksijalna pritiska čvrstoća Unconfined strength	γ_{qu}	1.0	1.4
Jedinična težina Weight density	γ_γ	1.0	1.0
^a Ovaj koeficijent se primenjuje na $\tan \varphi'$ ^a This factor is applied to $\tan \varphi'$			

Tabela 3. Parcijalni koeficijenti za otpore (γ_R)
Table 3. Partial factors for resistance (γ_R)

Otpor Resistance	Oznaka Symbol	Skup Set		
		R1	R2	R3
Slom u podtlu Bearing capacity	$\gamma_{R,v}$	1.0	1.4	1.0
Klizanje Sliding resistance	$\gamma_{R,h}$	1.0	1.1	1.0

Kombinacija 1 (PP1 K1) tretira nepovoljno odstupanje dejstava od njihovih karakterističnih vrednosti, dok se kombinacijom 2 (PP1 K2) obezbeđuje sigurnost od nepovoljnog odstupanja parametara smičuće otpornosti (PSO) tla od njihovih karakterističnih vrednosti i od nesavršenosti u proračunskom modelu. Kako bi proračun bio u skladu sa EK 7, potrebno je napraviti analize za obe kombinacije PK, što znači da se ista konstrukcija mora dva puta računati, mada je neretko očigledno koja je od njih merodavna. Ovo predstavlja nedostatak sa inženjerske tačke gledišta, što se naročito odnosi na naš region (Srbija, Makedonija, Crna Gora, BiH itd.), gde apsolutno nema tradiciju primene, jer se uvek realizuje samo jedan proračun, zbog čega se on i ne treba razmatrati kao potencijalan – PP.

U postupku 2 (PP2) primenjuju se sledeći kompleti

$$A1 + M1 + R2, \quad (3)$$

pa se PK zadaju i spoljašnjim silama ili efektima od njih i otporu tla. U PP2, PK vezani za geotehnička dejstva i njihove efekte isti su sa onima koji se nanose dejstvima na konstrukcije ili s konstrukcije u PP1 K1. Karakteristične vrednosti PSO ujedno su i proračunske, dok se otpornost tla u vertikalnom i horizontalnom pravcu smanjuje za 40 %, odnosno 10 %. Ovde postoje dva načina sprovođenja proračuna. Naime, u izvornom postupku 2, PK se nanose dejstvima već na početku, zbog čega se i analiza vrši s proračunskim vrednostima, što, međutim, vodi u određenu nelogičnost u pogledu nosivosti [20], pa je pripremljena alternativa u vidu PP2*, gde se najveći deo proračuna sprovodi s karakterističnim vrednostima jer se PK priključuju tek u završnici analize. Ovaj postupak ujedno odgovara i jednom delu naših dosadašnjih projektantskih navika s obzirom na to što nanošenje PK na kraju proračuna nalikuje konceptu globalnog faktora.

Postupak 3 (PP3) zadržava principe iz PP1, ali prevazilazi njegov nedostatak, pošto je potreban samo jedan proračun

$$A1 \text{ or } A2 + M2 + R3 \quad (4)$$

u kom se PK nanose i silama ili efektima i PSO već na početku proračuna.

3 ODREĐIVANJE ODGOVARAJUĆEG PRORAČUNSKOG POSTUPKA

Potporni zidovi su tipičan primer ispunjavanja globalnih faktora sigurnosti, čije se dimenzioniranje svodi

Combination 1 (DA1 C1) treats unfavourable deviation of actions from their characteristic values, while combination 2 (DA1 C2) precludes unfavourable deviations of parameters of shearing resistance (PSR) of the ground from their characteristic values and imperfections in the design model. To bring calculations in line with the EC7, it is necessary to perform both analyses for PF and that implies that a single structure has to be calculated two times, even when it is obvious which calculation is valid. This poses disadvantage from engineering point of view, especially in our region (Serbia, Macedonia, Montenegro, Bosnia and Herzegovina etc.) where there is no tradition of its application, because it is common to perform only one calculation, so it should not be concerned as a possible DA.

DA2 uses following sets

so PF are assigned to external forces and their effects as well to soil resistance. In DA2, the partial factors related to geotechnical actions and their effects are equal to those caused by actions on the structure or from the structure in DA1 C1. The characteristic values for PSR are also design values, while the soil resistance in vertical and horizontal direction is decreased by 40% and 10%. But, there are two different modes to perform calculation. Namely, the PF in original DA2 are assigned to actions in the very beginning, so the analysis is performed with design values; yet, this leads to a certain inconsistency for bearing capacity [20], which implied the preparation of DA2* as an alternative solution; the most of calculation in DA2* is performed with characteristic values, because PF are incorporated at the final stage of analysis. In part, this approach is also suitable to our actual designing habits, because the assignment of PF at the end of calculation resembles the concept of a global factor.

DA3 employs principles form DA1, but also overcomes its shortcoming since only one design is required

where PF are assigned to forces and effects or PSR at the beginning of calculation.

3 FINDING APPROPRIATE DESIGN APPROACH

Retaining walls are typical examples for meeting the requirements of global factors of safety whose design is conducted by controlling contact and section stresses

na kontrolu kontaktnih i presečnih napona i provere stabilnosti klizanja, preturanja i one globalne. Novitet EK 7 predstavlja i isključivanje provere na prevrtanje iz GEO proračuna, jer se uslov za nju ispuni ukoliko je pitanje nosivosti podloge zadovoljeno [12]. Tačnije, ona se prebacuje u tzv. EQU probleme: pojava gubitka ravnoteže konstrukcije ili tla, gde su njihove čvrstoće neznajčajne u obezbeđivanju otpora. S praktične strane, to bi značilo da će se dimenzioniranje potpornih zidova ubrzati zbog smanjenja broja analiza.

Proračuni stabilnosti zidova prema globalnom faktoru sigurnosti daju određene smernice koje su od krucijalnog značaja za izbor prihvatljivog PP, saglasno dosadašnjoj praksi inženjera. Pritom, imajući u vidu opise, izbor se ograničava na postupke 2 i 3. Međutim, oba imaju karakteristike koje ih i favorizuju, ali i ograničavaju kada je u pitanju usvajanje.

Prema klasičnom proračunskom modelu, prilikom analize stabilnosti na klizanje vrši se deljenje sila trenja na kontaktu osnove zida i tla i horizontalnih sila, i poređenje sa određenim globalnim faktorom sigurnosti. Višedecenijske navike, stečene njihovim korišćenjem, diriguju da iz kruga potencijalnih kandidata za izbor odgovarajućeg PP, pored PP1, treba isključiti i PP3 u kom se redukciju PSO, što se do sada nije radilo kod nas prilikom dimenzioniranja zidova.

U postupku 2 primenjuju se faktori na otpore, što ga čini primamljivim za usvajanje. Ali, glavno opterećenje koje stalno deluje na potporne zidove jeste zemljani pritisak koji je, između ostalog, u funkciji od čvrstoće tla, a ona zavisi od opterećenja [11], pa je zato važno da se kod njegovog određivanja ne vrši množenje opterećenja s PK. U suprotnom, rezultiralo bi modifikacijom pritiska bez mogućnosti njegove dalje kontrole, naročito prilikom analiza u MKE, što zahteva da se proračuni sprovode s njihovim karakterističnim vrednostima, čime se iz izbora izbacuje PP2, ali ne i PP2*, jer upravo on omogućava takav proračun. Ovo nalikuje aktuelnoj praksi, a položaj PK u jednačinama ionako podseća na globalni faktor sigurnosti. Dakle, kako bi bili dosledni tradiciji kada se koriste izvorne veličine sila i na kraju upoređuju otpori, poželjni PP locira se u onom sa oznakom 2*, kod koga se PK nanose na sile i otpore, ali tek na kraju proračuna, tako da se on, u najvećem delu, odvija primenom karakterističnih vrednosti, kao što je kod nas bilo i do sada. Ono što takođe ohrabruje jeste to što je najviše zemalja za dimenzioniranje potpornih zidova preporučilo upravo navedeni pristup. To je pristup koji je predložila Nemačka, a koji se zasniva na iskustvu od 80 godina projektovanja bez lomova, pa je stoga blizak korisnicima, što važi i za naš region.

Na osnovu navedenih razloga, PP 2* pozitivno je ocenjen i preporučen za analitički proračun zidova prema EK 7. Međutim, on ima ograničenu primenu u MKE programima koji imaju gotovo rutinsku primenu u geotecnici, ali ne toliko i kod samostalnog dimenzioniranja potpornih zidova. Iz aspekta MKE, kritika je generalno usmerena ka pristupu 2, a ne samo 2*, pošto su – i pored primene karakterističnih vrednosti – neophodne intervencije u proračunu ili nakon njega, usled potrebe redukcije otpora jer je jedna od sila i ona s pasivne strane, koja se u MKE automatski generiše i predstavlja usputnu proračunsku, a ne ulaznu veličinu. Naime, u tim softverima ne postoji mogućnost redukovanja otpora, pa se to treba ručno uraditi. Tako bi

and checking the sliding, overturning and overall stability. Novelty in EC7 is also the exclusion of checking of overturning from GEO design, since its requirement is fulfilled if requirements for sub grade bearing capacity are met [12]. Namely, it is transferred into so called EQU problems - instances of loss of structure or ground equilibrium, when their strength values are inconsiderable to provide resistance. From practical point of view the design of retaining walls should be performed much faster, due to the reduction of number of analysis.

Designs of wall stability according to the global factor of safety provide certain guidelines critical for selection of acceptable DA according to actual engineering practice. Thereby, having in mind descriptions, the selection is limited to DA2 and DA3. However, both approaches show some positive and negative features that affect their adoption.

Within classic design approach, the analysis of sliding stability involves division between forces of friction at the contact area between wall and ground with horizontal forces and comparison with particular global factor of safety. Traditional habits imply that selection of appropriate DA should exclude both DA1 and DA3 (in which PSR are reduced), that has never been the practice for wall designing in our region.

DA2 applies partial factors on resistance, which makes it favourable for acceptance. In addition, the earth pressure is main loading that constantly affects retaining walls. Among the others, it is a function of ground strength which depends on loadings [11]; thus it is important not to multiply loading by PF when determining its value. Otherwise, it would result with modification of pressure without possibility to control it, especially during analysis in FEM. Thus it is required to perform the calculations with their characteristic values, so the selection excludes DA2, but not DA2*, as it is the approach which enables such design. This is similar to actual practice, and the location of PF in equations resembles the global factor of safety. Thus, in order to be consistent with tradition when using original values of forces and comparing resistances at final stage, DA2* is set as favourable; PF in this approach are set for forces and resistances, but only at the final stage of designing, so it is mostly conducted with application of characteristic values, as it has been our common practice. Yet another encouraging fact is that most countries also recommend this approach for design of retaining wall. Germany has proposed this approach based on 80 years of design practice without any instance of failure, so it is also familiar to our region.

These are the reasons for positive assessment of DA2* and its recommendation for analytic design of walls according to EC7. However, its application is limited within FEM programs which are commonly used in geotechnics, but not that much when only retaining walls are designed. From FEM aspect, the criticism is generally directed towards DA2 (not only DA2*); besides application of characteristic values it is necessary to make some intervention during the design or afterwards due to the need to reduce the resistance as one of the forces from the passive side is automatically generated within FEM (result of calculation process, but not input value). Namely, these kinds of software prevent reduction of resistance, so it has to be done manually.

mogao da se dobije odnos između dejstva i otpora, kada je potrebno vršiti integrisanje reakcije tla na pasivnoj strani [1]. Međutim, kako za otpor i ne postoji dovoljno iskustva, potrebno je vremena i uporednih proračuna kako bi se ocenila pouzdanost usled zavisnosti od deformacija. Zato je preporučljivo da se oni paralelno provere i tradicionalnim načinom, jer ovi softveri prekidaju proračun kada se postigne numeričko granično stanje koje ne znači da je to i granično stanje tla [6]. Takođe, zbog nelinearnog ponašanja tla, ovaj PP u pojedinim slučajevima može dovesti do drastičnog odstupanja pasivnog pritiska od tačnih rešenja, a time i od rezultata postignutih sa ostalim PP [17].

Generalno, primena koncepta PK sigurnosti, saglasno novim standardima [2], veoma je važna za interakciju tlo–konstrukcija, jer je tlo prisutno kako na strani dejstva, tako i na strani otpora. Ali, treba podsetiti na to da se upravo prema evrokodovima zahteva jasno i nedvosmisleno razdvajanje dejstva i otpora, mada treba imati u vidu i to da se za dejstva može zapaziti princip „istog porekla sila”. U tom smislu, olakšavajuću okolnost u našem regionu predstavlja to što se u dosadašnjim proračunima potpornih zidova pasivni pritisak najčešće nije uzimao u obzir. U EK 7-1, preko tačke 9.3.2.2, omogućava se nastavak takvih naših običaja, što se i preporučuje da se usvoji, čime se izbegavaju i pojedine zamke koje se mogu javiti u kompjuterskim programima zasnovanim na MKE, a na koje je, međutim, PP 3 imun. Ovo je i jedan od razloga što se predlaže kao alternativa PP 2* prilikom proračuna zidova u MKE, jer su postupci u kojima se PK nanosi trajnim nepovoljnim dejstvima problematični za numeričke analize. Među ostalim „plusevima”, jeste i to što se u PP 3 geotehnička dejstva ne menjaju, pa je on identičan PP 1 K 2, koja je najčešće merodavna u PP 1. Usled opisanog, predlaže se da se prilikom eventualnih numeričkih analiza potpornih zidova sa MKE primenjuje PP 3, koji je veoma zahvalan za takve proračune, te ga je kao rešenje već ponudila i Austrija [13].

Iako su obrazloženi razlozi usvajanja PP 2* za potporne zidove, neophodno ih je potkrepiti i opravdati, što se i čini u nastavku teksta, gde se ujedno daju i izvodi iz analitičkih proračuna putem kojih su utvrđene vrednosti PK, potrebne da obezbede dosadašnje dimenzije, nosivost i stabilnost zidova.

4 ODREĐIVANJE VREDNOSTI PARCIJALNIH KOEFICIJENATA

Dosadašnji brojni proračuni, a i praksa, pokazali su da je kod potpornih zidova najčešće kritična stabilnost na klizanje koja se proračunava kao

$$\eta = \frac{\sum V \cdot \tan \phi}{\sum H} \geq 1,50 \quad \begin{array}{l} \text{bez uzimanja pasivnog pritiska (otpora) u obzir (u suprotnom - 2,00)} \\ \text{without considering passive pressure (in contrary - 2,00)} \end{array} \quad (5)$$

Budući da zbog izvođačkih, rekonstrukcijskih ili hidroloških razloga prisustvo pasivnog pritiska nije „zagarantovano” sve vreme, u analizi će se pasivni otpor zanemariti. Ovo se preporučuje i u EK7, gde se ukazuje na to da treba uzeti u obzir moguće uklanjanje tla ispred zida zbog iskopa ili erozije, kao i na to da se visina na kojoj se javlja pasivni pritisak treba smanjiti za 50 cm. Prikazana jednačina, primenom usvojenog PP2* i onih

Thus, the relation between action and resistance can be gained, when integration of reactions of the ground on a passive side is required [1]. However, since there is insufficient experience considering the resistance, it would take time and comparative calculations to estimate reliability due to dependence on deformations. So it is also recommended to perform traditional comparative check, because the software stops the calculation after obtaining numerical limit state, which is unlikely the limit state of the ground [6]. Due to non linear behaviour of the ground, this DA may also lead to extreme deviation of the passive pressure from accurate results, and thus, from the results gained in other DA [17].

Generally, the application of the concept of PF of safety according to new standards [2] is very important for the ground-structure interaction, because the ground is present both on the side of action and resistance. But, it should be emphasised that eurocodes require clear distinction between action and resistance, although the principle of the "same origin of forces" can stand for the actions. In this regard, retaining wall design practice in our region thus far failed to take passive pressure into consideration. EC7-1 (9.3.2.2) allows continuation of such common practice and it is recommended for adoption as it avoids some flaws that may occur in computer software based on FEM. This is one of the reasons to recommend this approach as an alternative to DA2* for wall design in FEM, because procedures in which PF is set to permanent unfavourable actions pose problems for numerical analysis. Yet another advantage is that geotechnical actions in DA3 sustain, thus making it identical to DA1 C2, which is commonly relevant in DA1. All stated suggest application of DA3 for numerical analyses of retaining walls with FEM, as it is very suitable for this type of designs. Austria has already proposed such solution [13].

Although the reasons for adoption of DA2* for retaining walls are explained, it is also necessary to offer some further justification with excerpts from analytic calculations used to define values of PF required to obtain dimensions, bearing capacity and stability of the walls.

4 DETERMINATIONS OF VALUES OF PARTIAL FACTORS

Until now, numerous designs and practices have shown that the most critical part concerning retaining walls is sliding stability, calculated as:

Considering that the presence of passive pressure is not "guaranteed" all the time (due to building, reconstruction or hydrological reasons), the passive pressure will be omitted. This is also recommended in EC7, with suggestion to take into consideration eventual removal of ground in front of the wall (because of excavation or erosion); it is also suggested that the height of occurrence of the passive pressure should be decreased

PK za dejstva predloženih u EK 7, za česte slučajeve u praksi imala bi sledeći oblik (pri čemu je $\tan \varphi_d = \tan \varphi$):

$$\frac{\sum V_d \cdot \tan \phi_d}{\gamma_{R,h} \cdot \sum H_d} = \frac{\sum \gamma_{G,fav} V \cdot \tan \phi}{\gamma_{R,h} \cdot \sum \gamma_{G,unfav} H} = \frac{\sum 1,0V \cdot \tan \phi}{\gamma_{R,h} \cdot \sum 1,35H} = 1,00 \quad (6)$$

odakle se izvodi da je

$$1,35\gamma_{R,h} = \frac{\sum V \cdot \tan \phi}{\sum H} \quad (7)$$

Izjednačavanjem nove i „početne” jednačine [(7) i (5)] po $\frac{\sum V \cdot \tan \phi}{\sum H}$, dobija se

$$1,35\gamma_{R,h} = 1,50 \quad (8)$$

iz koje sledi da je

$$\gamma_{R,h} = \frac{1,50}{1,35} = 1,1 \quad (9)$$

zbog čega se preporučuje da se za PK za klizanje $\gamma_{R,h}$ usvoji vrednost od 1,10. Ovaj iznos verifikovan je na još dva načina [14].

Inače, u analizama je neophodno izabrati najnepovoljniji mogući slučaj opterećenja, a to je kada su vertikalna i horizontalna promenljiva sila nezavisne međusobno, što omogućava da se vertikalna – kao povoljna za stabilnost, isključi iz proračuna [15]. Takođe, u našim proračunima pasivni pritisak nije uziman u obzir, što se može uzeti kao nastavak negovanja dosadašnje pozitivne tradicije i što je, svakako, na strani sigurnosti.

Ali, navedeni pristup određivanja PK ne može se primeniti prilikom određivanja iznosa PK za normalni otpor $\gamma_{R,v}$. Razlog je to što se za proračun nosivosti prema „Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevina” koristi jednačina u kojoj su prisutni parcijalni, a ne globalni faktori i gde ugao trenja figuriše u različitim delovima jednačine. Zbog pomenutih razloga, odlučeno je da se proračuni sprovedu u namenskom softveru za dimenzioniranje potpornih konstrukcija. Neki od komercijalnih već poseduju opciju proračuna prema evrokodovima, Među njima je i GEO5 koji, takođe, omogućava i to da se proračun sprovede i po drugim standardima, ali i da se prilagodi zahtevima korisnika. Ove prednosti su i primenjene u sledećoj analizi. U domenu najčešće prisutnih PSO tla $\varphi=15-25-35^\circ$, $c=0-10-20-30$ kPa, razmatrana su dva tipa potpornih zidova: gravitacioni betonski i konzolni armiranobetonski. Pretpostavljeno je da su oni visine 4 m, a analizirani su u uslovima bez spoljašnjeg opterećenja i sa spoljašnjim opterećenjem intenziteta $q=20$ kN/m². Dimenzije preseka određivane su iz uslova ispunjenja minimalnih globalnih faktora sigurnosti na prevrtanje, klizanje i nosivost čije su vrednosti zadate saglasno dosadašnjim standardima: 1,50, dok je nosivost temelja određivana prema „Pravilniku”. Stabilnost ovako dimenzioniranih konstrukcija proveravana je prema PP 2*, gde su uneti proračunati potrebni PK za horizontalni otpor $\gamma_{R,h}$ (dakle, za proveru stabilnosti na klizanje) u iznosu od 1,10 i predloženi PK u EK 7 za proveru nosivosti, odnosno redukovanje vertikalnog otpora u iznosu od 1,40. Na

by 50 cm. After application of accepted DA2* and PF for actions proposed in EC7, the above equation is as follows (where $\tan \varphi_d = \tan \varphi$):

deriving

Equalization of new and "starting" equation [(7) and (5)] by $\frac{\sum V \cdot \tan \phi}{\sum H}$, gains

which implies

Thus, it is recommended to adopt the value 1.10 for PF for sliding $\gamma_{R,h}$. This value is also additionally verified [14].

It is also necessary to select the most unfavourable possible case of loading in analysis, i.e. - when the vertical and horizontal forces are independent - which allows excluding vertical force from the design, as it is favourable for stability [15]. Moreover, our design did not take passive pressure into account, which can be seen as maintaining of our positive tradition and contribution to stability.

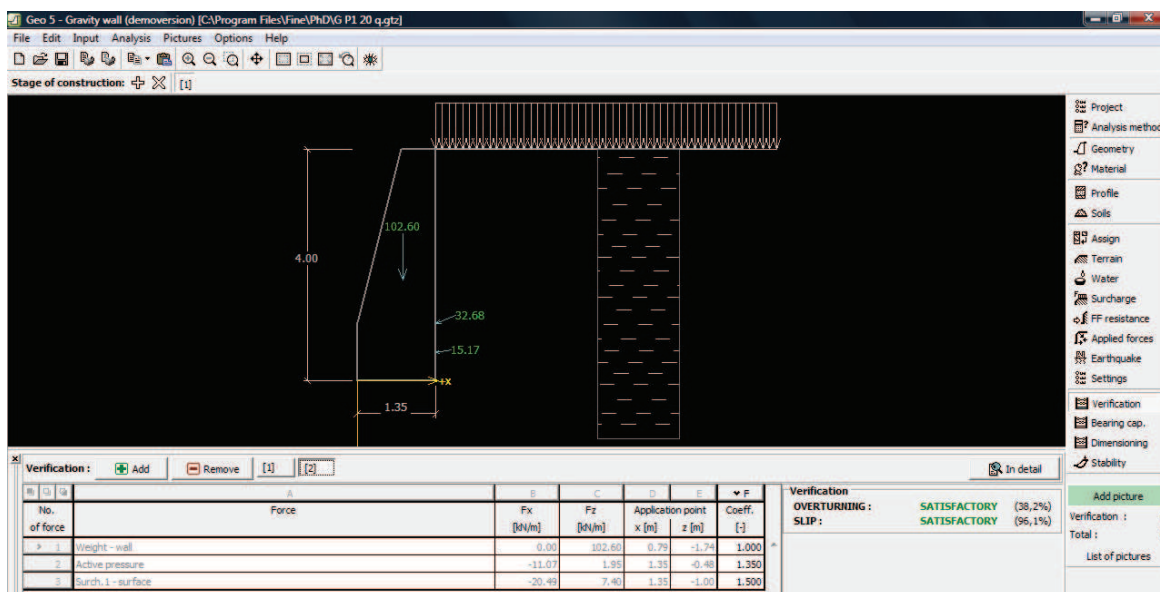
Still, the above described way of determination of PF may not be used when determining the amount of PF for normal resistance $\gamma_{R,v}$. The reason for this is that design of bearing capacity according to "Rulebook on Technical Standards for Building Foundations" uses equation with partial (not global) factors, and where angle of friction is present in different parts of equation. Those were the reasons to perform the design in appropriate software for designing of retaining structures. Some of commercial software packages (like GEO5) already have an option for calculation according to eurocodes. This software also allows designing according to other standards and customization for particular user needs and demands. These advantages are used in following analysis. Within the most common ranges of PSR for the ground ($\varphi=15-25-35^\circ$, $c=0-10-20-30$ kPa), two types of retaining walls were considered: concrete gravity wall and cantilever reinforced wall. Their height was assumed as 4m, and they were analysed for conditions without and with surcharge of $q=20$ kN/m². Section dimensions were determined after meeting conditions for minimal global factors of safety for overturning, sliding and bearing capacity, whose values were set according to actual standards (1.50); the bearing capacity of foundation was determined according to "Rulebook". Stability of such designed structures was tested according to DA2*, with calculation required for PF for horizontal resistance $\gamma_{R,h}$ (for testing of sliding stability) with value of 1.10 and with proposed PF in EC7 for testing bearing capacity, i.e., reduction of vertical resistance by 1.40. This kind of

ovakav način, odnosno kontrolom usvojenih dimenzija prema novom postupku, dobijane su „rezerve“ sigurnosti. Izvodi iz proračuna i rezultati prikazani su na slikama 1–2 i u tabelama 4–7, pri čemu su:

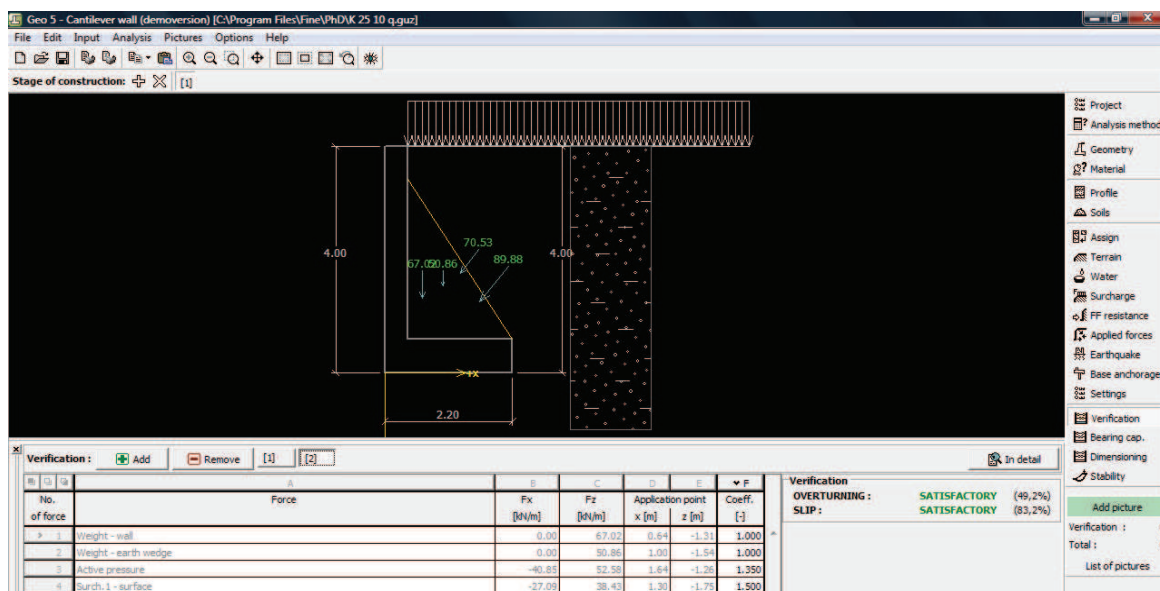
- u vertikali sa FS_{kl} zapisane vrednosti obezbeđenih koeficijenata sigurnosti na klizanje prema dosadašnjem postupku, gde minimalni koeficijent iznosi 1,50;
- u vertikali označenoj sa FS_{nos} unošeni postignuti rezultati iz ispunjenja uslova o nosivosti, pri čemu je sadašnji zahtev za $R_v=1,40$;
- u zadnjoj vertikali R_h zapisane obezbeđene vrednosti u novim uslovima za proračun stabilnosti na klizanje (min 1,10).

checking of adopted dimensions according to the new approach gained "extra" safety. Parts of the design and results are given in Figures 1-2 and Tables 4-7, where:

- in the vertical marked with FS_{kl} are specified values of gained factors of safety for sliding according to actual approach, with minimal factor of 1.50;
- in the vertical marked with FS_{HOC} are entered results gained from meeting the condition of bearing capacity, with actual requirement $R_v=1,40$;
- in the last vertical R_h are entered gained values in new conditions for designing the sliding (min 1.10).



Slika 1. Izgled dela modula programa GEO5 za proračun gravitacionih zidova
 Figure 1. View on user interface of GEO5 module on designing gravity walls



Slika 2. Izgled dela modula programa GEO5 za proračun konzolnih zidova
 Figure 2. View on user interface of GEO5 module on designing cantilever walls

Tabela 4. Rezultati iz analize gravitacionog betonskog zida
Table 4. Results from analysis of gravity wall

□	c=0			c=10 kPa			c=20 kPa			c=30 kPa		
	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10
15	1,91	1,53	1,43	1,62	1,54	1,19	1,82	1,54	1,26	>>1,50	2,44	>>1,10
25	1,54	1,67	1,17	1,92	1,65	1,42	7,38	4	5,5	>>1,50	3,62	>>1,10
35	2,07	2,24	1,61	3,36	4,05	2,51	13,05	5,48	13,05	/	/	/

Tabela 5. Rezultati iz analize gravitacionog zida sa opterećenjem q=20 kN/m²
Table 5. Results from analysis of gravity wall with surcharge q=20 kN/m²

□	c=0			c=10 kPa			c=20 kPa			c=30 kPa		
	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10
15	1,5	1,54	1,13	1,55	1,79	1,1	1,72	1,9	1,14	2,5	1,92	1,66
25	1,52	1,72	1,12	1,65	1,52	1,17	2,6	1,83	1,79	>>1,50	1,61	>>1,50
35	1,79	2,42	1,37	2,8	4,34	2,02	4,79	3,99	3,56	/	/	/

Tabela 6. Rezultati iz analize armiranobetonskog konzolnog zida
Table 6. Results from analysis of cantilever wall

□	c=0			c=10 kPa			c=20 kPa			c=30 kPa		
	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10
15	1,52	1,56	1,19	1,53	2,32	1,21	1,55	2,93	1,21	2,01	2,58	1,51
25	1,58	1,52	1,32	1,66	1,52	1,37	2,3	2,12	1,83	3,9	2,97	2,97
35	2,25	1,6	1,92	2,96	2,08	2,44	4,76	2,48	3,81	/	/	/

Tabela 7. Rezultati iz analize konzolnog zida sa opterećenjem q=20 kN/m²
Table 7. Results from analysis of cantilever wall with surcharge q=20 kN/m²

□	c=0			c=10 kPa			c=20 kPa			c=30 kPa		
	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10	F _{S_{кп}}	F _{S_{НОС}} , Rv=1,40	Rh=1,10
15	1,52	1,54	1,19	1,52	2,24	1,2	1,54	2,24	1,22	1,56	2,9	1,22
25	1,64	1,53	1,35	1,62	1,53	1,32	1,78	1,52	1,43	2,58	2,07	1,99
35	2,08	1,72	1,81	2,5	1,71	2,14	3,2	1,82	2,68	/	/	/

Iako su proračuni vršeni s minimalnim predloženim koeficijentima, čini se da su pojedini zidovi predimenzionirani. Međutim, mora se istaći to da su njihove dimenzije ipak minimalne i da ispunjavaju i preostale kriterijume, od kojih neki nisu dati ovde jer nisu značajni za istraživanje: ekscentricitet rezultantne sile, uslov stabilnosti na prevrtanje i slično. Iz prikazanih rezultata vidi se da nema nikakvih ugrožavanja i odstupanja u

Although the calculations were performed with minimal proposed factors, it seems that some walls are over designed. Yet, it should be emphasised that those are minimal dimensions that also meet other requirements (some of them are not shown here as they are not relevant for the investigation), such as eccentricity of resultant force, condition for overturning stability etc. Results suggest that there are no risks and

stabilnosti zidova dimenzioniranih prema tradicionalnim pristupima, a kontrolisanim prema novim koeficijentima preporučenim u EK 7. Imajući to u vidu, kao i dosadašnje bogato pozitivno iskustvo, predlaže se da se u NA za R_v i R_h usvoje PK u iznosu od 1,10 i 1,40, što je identično izvorno predloženim u Aneksu A EK 7-1, a kojima se zadržavaju postojeća sigurnost i stabilnost potpornih zidova.

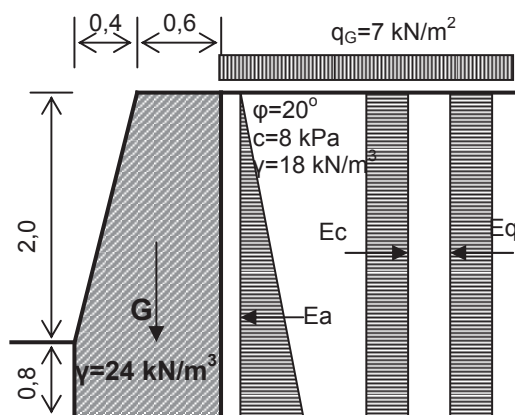
5 ZNAČENJE PRAVILNOG IZBORA PP I PK

U produžetku je dat jednostavan proračunski primer na kom se može videti značaj pravilnog izbora odgovarajućeg PP i PK, gde je na slici 3 prikazan potporni zid sa opterećenjem, za koji je potrebno proveriti sigurnost na klizanje prema aktuelnim propisima (globalni faktori sigurnosti) i uporediti je s proračunima prema EC7 (parcijalni koeficijenti sigurnosti). Rezultati su dati u tabeli 8.

deviations in stability of the walls designed with traditional approaches and controlled using new factors recommended under EC7. This fact and actual positive practice suggest adoption of PF of 1.10 and 1.40 in NA for R_v and R_h , which is equal to originally proposed values in Annex A of EC 7-1 and which ensures safety and stability of retaining walls.

5 IMPORTANCE OF SELECTING APPROPRIATE DA AND PF

Below is a simple example of design for illustration of importance of selecting appropriate DA and PF. Figure 3 shows surcharged retaining wall. The task is to check sliding safety according to actual regulation (global factors of safety) and compare it with designs according to EC7 (partial factors of safety). Results are given in Table 8.



Slika 3. Skica analiziranog potpornog zida
Figure 3. Sketch view of analyzed retaining wall

Tabela 8. Tabelarni prikaz rezultata iz analize potpornog zida sa različitim PP
Table 8. Tabular view of results from analysis of retaining wall with different DA

Parametar Parameter	Dosadašnji proračun Actual calculation	PP2*	PP3
G [kN/m ³ /m]	57.6	57.6	57.6
ϕ_d [°]	20	20	$a \tan\left(\frac{\tan 20^\circ}{1,25}\right) = 16^\circ 14'$
c_d [kPa]	8	8	$\frac{c}{\gamma_c} = \frac{8}{1,25} = 6,4 \text{ kPa}$
γ [kN/m ³]	18	18	18
$k_a = \tan^2(45 - \phi_d / 2)$	0.49	0.49	0.563
$E_a = \frac{1}{2} k_a \gamma H^2$	34.6	34.6	39.73
$E_c = 2c_d \sqrt{k_a} H$	31.4	31.4	26.89
$E_q = q k_a H$	9.6	9.6	11.03

$R_{V,d} = \frac{\gamma_{G,fav} \cdot G \cdot \tan \delta}{\gamma_{Rh}}$	$\frac{1.0 \cdot 57.6 \cdot \tan 20^\circ}{1.0} = 20.96$	$\frac{1.0 \cdot 57.6 \cdot \tan 20^\circ}{1.1} = 19.06$	$\frac{1.0 \cdot 57.6 \cdot \tan 16^\circ 14'}{1.0} = 16.77$
$R_{H,d} = \gamma_{G,unfav} \cdot (E_a - E_c + E_q)$	$1.0 \cdot (34.6 - 31.4 + 9.6) = 12.8$	$1.35 \cdot (34.6 - 31.4 + 9.6) = 17.28$	$1.00 \cdot (39.73 - 26.89 + 11.03) = 23.87$
$R_{V,d} / R_{H,d}$	1.64	1.10	0.703
$(R_{V,d} / R_{H,d})_{min}$	1.5	1.0	1.0
Ocena Result	OK	OK	???

S obzirom na to što se prema dosadašnjim propisima i PP2* dobijaju slični rezultati, odnosno što im se dimenzije i stabilnost potpornog zida podudaraju, može se još jednom potvrditi da su PP2* i predloženi PK odgovarajući za primenu uopšte u regionu ranije SFRJ. Nasuprot tome, rezultati prema PP3 drastično odstupaju, a dodatne kalkulacije pokazale su da je, uz zadržavanje ostalih dimenzija, potrebna širina krune zida od $b=1.0$ m da bi zid bio stabilan. U kredibilitet i tačnost ovih proračuna zida posumnjaće, nezavisno, i projektant i izvođač na osnovu njihovih dosadašnjih iskustava, iz čega se lako uočava važnost pravilnog izbora PP i PK. Sa ovakvim neprijatnim situacijama već su počele da se suočavaju kolege iz Hrvatske gde je PP3 izabran za proračun zidova.

6 IZJAŠNJAVANJE O ANEKSU S I KOMENTARI O KOEFICIJENTIMA

U dodatku Evrokoda 7-1 nalazi se nekoliko aneksa, od kojih je Aneks A obavezan i u njega se unose ili zadržavaju vrednosti PK. U NA, zemlje iznose svoj stav o njima, a tako je i sa Aneksom C, gde su dati predlozi za određivanje koeficijenata aktivnih i pasivnih zemljanih pritisaka i to putem gotovih dijagrama i preko numeričkog postupka. Međutim, time je učinjen korak nazad za analize, jer je navedena faza nepotrebno iskomplikovana, a naročito za naš region gde nemaju tradiciju primene. Naime, u vreme visoke tehnologije, korišćenje grafičkih dijagrama je deplasirano. Taj postupak svakako treba izbegavati, jer je složen, ograničen i ne pruža mogućnost tačnog određivanja koeficijenata. Dalje, na dijagramima su date zavisnosti za nekoliko slučajeva, dok se za ostale, a sasvim izvesne opšte uslove, treba raditi interpolacija, čija je ispravnost ponovo diskutabilna. Navedene nedostatke ispravlja drugi ponuđeni postupak koji se zasniva na linijama loma u tlu, ali je njegova praktična primena otežana jer se primenjuju parametri koji su veoma strani inženjerima. Ipak, i prilikom njene primene treba biti pažljiv, jer se za pojedine članove napominje da su „na strani sigurnosti”, što se uobičajeno tumači dobijanjem nešto većih koeficijenata. Međutim, ukoliko se tako proračunaju zemljani pritisci, veoma je važno, ali ponekad i neostvarljivo, da oni budu nepovoljni [19]. U suprotnom, pri njihovom nanošenju na sile koje povoljno deluju na

Having in mind that actual regulations and DA2* gain similar results, i.e., that dimensions and stability of retaining wall coincide, we can assert that DA2* and proposed PF are appropriate for general application in the region of former Yugoslavia. Unlike that, the results under DA3 deviate in great extent, and additional calculations have shown that wall crest (while maintaining other dimensions) should be $b=1.0$ m to maintain wall stability. Based on their own experience, both designer and contractor would (independently) question the credibility and accuracy of these designs, which makes the importance of selection of appropriate DA and PF so evident. Engineers in Croatia already have negative experience with DA3 as approach selected for designing walls.

6 RESPONDS TO ANNEX C AND COMMENTS ON FACTORS

Eurocode 7-1 includes several annexes. Annex A is mandatory and it serves to input or retain values of partial factor. Single countries in their own National annexes express their opinion; Annex C, for example, offers propositions for determination of coefficients of active and passive earth pressures (via diagrams and numeric operation). However, it posed a "set-back" for analysis, because the mentioned stage was made too complicated, especially for our region with no tradition in application. Namely, graphic diagrams seem outdated in hi tech era; moreover, this approach should be avoided as too complex and limited and it does not ensure exact determination of factors. Additionally, graphs indicate dependencies only for few cases, so it is necessary to perform interpolation for other general conditions, which makes resulting correctness disputable. Fore mentioned shortcomings may be avoided with other approach offered, based on lines of failure in the ground, but its application is difficult due to usage of factors that seem quite unfamiliar to engineers. However, it should be employed with a great caution, because particular elements are assumed as "on safe side", which is commonly interpreted with gaining a bit greater coefficients. Yet, if such approaches are used to calculate earth pressures, it is very important (although sometimes impossible) for them to be unfavourable [19]. On the contrary, their applying on the forces that

konstrukciju, onemogućava se njeno korektno dimenzioniranje. S druge strane, ukoliko se ova dva postupka međusobno uporede, identični rezultati će se postići samo u slučaju kada ne postoji trenje između tla i zida [19], što je idealizovan slučaj, a razlika će bivati izraženija što je veći ugao trenja tla.

Imajući u vidu navedeno, budućim korisnicima se može ostaviti mogućnost njihove primene, ali ipak koncentraciju treba usmeriti ka postojećem postupku – Kulombovom metodu. Njegovu viševjekovnu uspešnu primenu ne samo kod nas, već i u svetu, treba isticati kao jak argumenat za zadržavanje. Uspešna primena duguje se neograničenosti i nesputanosti jer obuhvata sve uticaje na intenzitet koeficijenata zemljanih pritisaka. Uostalom, predloženi dijagrami u informativnom Aneksu S za očitavanja koeficijenata veoma su slični sa izlazima iz jednačine po Kulombu. Ipak, bez obzira na to da li se primenjuje Kulombov pristup ili predlog u Aneksu S, ostaje nemogućnost da se koeficijent zemljanog pritiska proračuna u uslovima kada je naklon terena veći od ugla trenja. U takvim slučajevima, ali ne i samo tada, u Kulombovoj jednačini može se primeniti opis smičuće otpornosti nelinearnom anvelopom loma hiperboličnog tipa. Njome se smičuća otpornost izražava samo preko ugla, koji nije konstantan [10], i menja vrednosti u dijapazonu do onog koji je po iznosu u rangu ugla unutrašnjeg trenja, a može da počinje od više od njegovog dvojnog iznosa. S obzirom na to što se u PP 2* ne vrši redukcija PSO, njihove karakteristične vrednosti su ujedno i proračunske. Nelinearna anvelopa je poželjna i zato što se kod tla bez kohezije, kao što se može videti iz gornjih tabela, postiže veća bliskost postignutih koeficijenata sigurnosti s ciljanim.

Vrednost i način proračuna koeficijenata zemljanih pritisaka jesu važni, jer je za određene potpore konstrukcije ustanovljeno da način njihovog proračuna utiče na rezultate, a razlika može biti u domenu razlika koje se javljaju između različitih PP [18]. Osim njihovog proračuna, diskutabilna je i vrsta primenjenih koeficijenata. Naime, ukoliko se dimenzioniše objekat visokog značaja ili se analiziraju dugotrajni uslovi, onda je neophodno da se zemljani pritisci proračunavaju kao u stanju mirovanja, jer aktivni i pasivni zemljani pritisci su krajnji, minimalni i maksimalni, a povoljni i poželjni slučajevi pritisaka. Uz to, oni su i vremenski nestabilni, što ne znači da će se pojaviti na takav način i u tom intenzitetu usled, na primer, prisustva ankera, podupirača i sličnih konstruktivnih elemenata koji ograničavaju pomeranja [7]. Povećanje pomeranja utiče na smanjenje zemljanih pritisaka, ali dok se ne postignu ta pomeranja, kao i da bi se ona postigla, prethodno će konstrukcija primiti one u stanju mirovanja. Ovo je realan, nepovoljan i najverovatnije kritičan slučaj opterećenja. Još više, može se očekivati da će se pomeranja zida smanjivati tokom vremena, pa će pritisci imati tendenciju da postignu vrednosti u stanju mirovanja. U obratnom slučaju, ukoliko pomeranja rastu, smičuća otpornost može dostići rezidualne vrednosti.

Na neke od ovih dilema ukazivano je i ranije s ciljem poboljšanja predloga, ali do sada nisu ozbiljnije tretirane. Određene sugestije su još uvek otvorene, poput (ne)pravilnosti usvajanja konstantnih vrednosti koeficijenata zemljanih pritisaka po celoj visini, potrebe razmatranja intervala zemljanog pritiska u mirovanju, a ne samo jedinačne vrednosti, čime bi se uvideo domen

favourably affect the structure prevents correct designing. But, when these two approaches are compared, identical results will be gained only if there is no friction between ground and the wall (which is ideal case) [19] and the difference is getting higher as the values of friction angle of the ground are increasing.

Having in mind all above mentioned, new users are free to decide on application, although it is recommended to focus on the Coulomb's method. Its long lasting world-wide application is strong argument. This method has no limitations or constraints, because it includes all effects on intensity of coefficient of earth pressures. Moreover, diagrams proposed in informative Annex C are very similar to outputs from the equation according to Coulomb. But, whether Coulomb approach or suggestion in Annex C is used, there still is impossible to calculate the coefficient of earth pressure if the ground slope is higher than the angle of friction. In such case (but not restricted to that particular instance), the Coulomb equation allows description of shearing resistance by non linear failure envelope of hyperbolic type. Thus, shearing resistance is expressed only by angle that is unbalanced [10] but changes its values up to the value of the angle of internal friction, while it can start from the twice higher amount than that. Knowing that the PSR is not reduced in DA2*, their characteristic values are also design values. Non linear envelope is favourable because the ground free of cohesion (as can be seen in tables) gains greater similarity of factors of safety with targeted ones.

Values and method of calculation of coefficients of earth pressures are important because it is found that the method of calculation for some retaining structures affects the results, and that difference may derive from differences between various DA [18]. Besides the design, the type of applied coefficients is also a dispute. Namely, when designing a structure of great importance, or when analyzing long lasting conditions, it is necessary to calculate at-rest earth pressures, because active and passive earth pressures are limit, minimal and maximal states, and favourable ones. Besides that, they are time-dependable, i.e., they will not occur in exactly the same manner and intensity when anchors, shores or similar structure elements for limitation of displacement are present [7]. Increase in displacement affects the decrease of earth pressures, but before those displacements are achieved (as well as in order to achieve them) the structure will receive those at at-rest state. This is real, unfavourable and probably critical case of loading. Besides that, it may be expected that wall displacements will decrease with time, so the pressures will tend to reach at-rest values. Otherwise, increase in displacements may cause shear resistance to reach residual values.

Some of these arguments have already been suggested as a means for improving of proposition, but they have not been treated in detail thus far. Some suggestions are still open, like (i)irregular adoption of constant values for earth pressure factors along entire height and the need to consider the interval of at-rest earth pressure, and not only as a single value, which allows insight into the domain of values of structure dimensions, and possible decrease of peak shear strength to its residual value [9]. Same are the reasons to suggest that temporary structures or sheet pile walls

vrednosti dimenzija konstrukcije, kao i mogućeg opadanja vršne smičuće čvrstoće ka rezidualnoj vrednosti [9]. Zbog sličnih razloga, može se predložiti da se privremene konstrukcije ili podgrade, zbog očekivanih pomeranja, dimenzionišu prema graničnim stanjima aktivnog i pasivnog pritiska, dok bi se trajne konstrukcije proračunavale prema zemljanom pritisku u mirovanju [7]. Ovo je donekle ponuđeno i Evrokodom 7-1, tačkom 9.5.4, gde se ostavlja mogućnost da se proračun zida koji se ne može dovoljno pomeriti, kako bi se mobilisale granične vrednosti zemljanih pritisaka, vrši prema srednjim vrednostima između graničnih i u mirovanju.

Sporna je i kohezija. Iako je standardna praksa ravnopravno tretira sa uglom trenja, pojedinim istraživanjima pokazano je da njen navodni uticaj opada s povećanjem dubine, odnosno visine zida, pa ono što se uzima u proračunu odgovara samo zidovima s malom i srednjom visinom [8]. Kako bi se izbegle ove opasnosti, poželjno je primenljivati nelinearan opis smičuće otpornosti, što po definiciji isključuje koheziju, a tretira samo promenljiv ugao trenja. U okviru ovih malih i srednjih visina, javljaju se mali normalni naponi (i eventualno negativni porni pritisci ukoliko tlo nije zasićeno). U ovoj zoni je ugao smičuće otpornosti najviši, što odgovara i smanjenom zemljanom pritisku koji se najčešće tumači prisustvom kohezije. Poznato je da s povećanjem napona dolazi do sniženja ugla, što se neopravdano pripisuje smanjenom uticaju kohezije. Navedeno je u smeru ravnopravnog tretiranja svih konstrukcija, bez obzira na visinu ili vrste tla, a zahvaljujući prihvatanju nelinearne anvelope loma hiperboličnog tipa koja usled različitih normalnih napona po visini konstrukcije definiše različite uglove odakle proizlaze različiti koeficijenti zemljanih pritisaka.

Iz aspekta primene MKE, treba istaći da na intenzitet zemljanih pritisaka u numeričkim analizama utiče i veličina pomeranja zida [5], pa se aktivno i pasivno stanje, praktično, ne može uvek postići. To isto važi i za pomeranja zida prema predlozima datim u Aneksu S, odakle i proizlazi nešto manja pouzdanost vrednosti zemljanih pritisaka prilikom proračuna s MKE.

7 ZAKLJUČAK

Za proračun potpornih zidova do sada je korišćen postupak koji zahteva zadovoljavanje nekoliko globalnih faktora sigurnosti. Isti postupak primenjivan je i u evropskim zemljama, pa se najveći deo njih, kako je napomenuto, odlučio da se za proračun prema EK 7 usvoji PP2*. Razlog za to je sličnost dosadašnjem stilu proračuna, a nakon provera dimenzioniranja, usvojeni su akcioni i PK za otpor koji su izvorno predloženi u Aneksu A, čime se daje i prilog budućoj harmonizaciji. Zbog određenih ograničenja numeričke primene PP2*, predlaže se da se prilikom eventualne analize s MKE koristi PP 3.

U NA, iznose se i stavovi o ponuđenim aneksima, među kojima je i Aneks C koji je zanimljiv iz aspekta potpornih zidova, jer iznosi predloge o koeficijentima aktivnih i pasivnih zemljanih pritisaka. Imajući u vidu ranije navedeno, predlaže se zadržavanje aktuelnog Kulombovog metoda koji omogućava i primenu nelinearne anvelope loma hiperboličnog tipa, a koja, opet, nudi brojne prednosti.

Ovakve komparativne studije, prilikom izrade NA,

should be designed according to limit states of active and passive pressure, while permanent structures would be designed after at-rest earth pressure [7]. This is somewhat also offered within Eurocode 7-1 (9.5.4), with a possibility for the walls that may not be displaced enough (to mobilize limit values of earth pressures) to be designed according to the mean values between limit values and at-rest values.

Cohesion is disputable, too. Although the standard practice considers it equally as the angle of friction, some research have shown that the supposed impact of cohesion decreases along with increase of depth, i.e., height of the wall, so the values adopted in design relate only to walls of small or medium height [8]. To avoid such risks, it is recommended to employ non linear description of shear resistance, which, by definition, excludes cohesion and considers only changeable angle of shearing resistance. Within these small or medium heights only small normal stresses occur (and possible negative pore pressures, if the ground is not saturated). This zone is characterised with highest angle of shearing resistance, resulting with decreased active earth pressure which is unduly correlated to cohesion. It is well known that the increase in stress results in decrease of angle, even though it is sometimes considered as an effect of decreased impact of cohesion. Above mentioned is aimed at equal consideration of all structures, without any special regards to the height of wall or type of the ground, due to adoption of non linear failure envelope of hyperbolic type which (because of different normal stresses along height of the structure) serves to define different angles from which different coefficients of earth pressures derive.

Concerning the application of FEM, it should be emphasised that intensity of earth pressures in numeric analyses is also affected by the amount of wall displacement [5], so the active and passive states cannot always be achieved. The same is with wall displacement according to suggestions in Annex C, which results with somehow smaller reliability of earth pressures while designing with FEM.

7 CONCLUSIONS

Until now, the design of retaining walls has used approach that requires meeting of several global factors of safety. This approach was also used in European countries, so most of them have decided to employ DA2* as an approach to be used under EC7. This decision is caused by similarities with actual designing style. After evaluation of designing, action PF and PF for resistance were adopted (originally suggested in Annex A), thus contributing the future harmonization. Due to particular limitations of numerical application of DA2*, application of DA3 is suggested when performing analysis with FEM.

National annexes also contain opinions about suggested annexes, including Annex C which is interesting from the aspect of retaining walls, because it makes suggestions about coefficients of active and passive earth pressures. Having in mind above mentioned, it is suggested to maintain the actual Coulomb method that also allows application of non linear failure envelope of hyperbolic type, because of its many advantages.