

iNDiS 2018

Branko MILOSAVLJEVIĆ¹

Selimir LELOVIĆ²

Nikola OBRADOVIĆ³

PRORAČUN AKSIJALNE NOSIVOSTI ŠIPOVA PREMA EC7 PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU

Rezime: U radu su prikazane proračunske situacije za određivanje aksijalne nosivosti šipova prema Evrokodu 7, sa posebnim akcentom na proračun za dejstvo seizmike. Data je uporedna analiza nosivosti i faktora sigurnosti prema EC7 i važećoj srpskoj regulativi. Izvedeni su zaključci o razlikama u konceptu proračuna i proračunskoj nosivosti, od značaja za savremeno projektovanje konstrukcija na šipovima.

Ključne reči: šipovi, nosivost, Evrokod 7, seizmička dejstva

PILES AXIAL CAPACITY DESIGN ACCORDING TO EC7 UNDER EARTHQUAKE LOADS

Abstract: The paper presents design situations for determining the axial compressive resistance of piles according to Eurocode 7, with emphasis on the calculation for the seismic load. A comparative analysis of load capacity and safety factors according to EC7 and current Serbian regulations is given. Conclusions about the differences in the design concept and piles capacity were made, of importance for the contemporary design of structures on piles.

Key words: piles, capacity, Eurocode 7, earthquake load

¹ Docent, dr Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, e-mail:

² Docent, dr Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, e-mail:

³ Asistent, mast. inž. građ. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. kralja Aleksandra 73, e-mail:

1. UVOD

Proračun konstrukcija prema Evrokodovima je, u sve većoj meri, prisutan u našoj savremenoj praksi, uz usvajanje odgovarajućih SRPS EN standarda i Nacionalnih aneksa, kao i aktivnosti na kompletiranju i usvajanju Pravilnika za projektovanje i izvođenje konstrukcija.

Za proračun armiranobetonskih elemenata temeljnih konstrukcija, a posebno temelja na šipovima, može se reći da odredbe Evrokoda 7 unose značajne izmene u konceptu i pretpostavkama proračuna, preporučenim parametrima i koeficijentima sigurnosti. S druge strane, pojedine odredbe Evrokoda 8, koje se odnose na proračun uticaja u temeljima, uvode nove koncepte vezane za programirano ponašanje i rezerve nosivosti. Navedene novine u odnosu na do sada uobičajen način proračuna aksijalne nosivosti ili maksimalne dopuštene sile u šipu, prema još uvek važećim pravilnicima, dovode do razlika u rezultatima proračuna, na koje će biti ukazano u ovom radu.

Akcenat prikazane analize je na aksijalnoj nosivosti šipova. Pri dejstvu horizontalnog opterećenja, pogotovu dejstva seizmike, svakako je važno i ponašanje šipova pri horizontalnom dejstvu, pogotovu u uslovima moguće likvefakcije tla, što je ovde, s obzirom na temu rada, razmatrano samo na nivou osnovnih pretpostavki i principa.

2. UTVRĐIVANJE AKSIJALNE NOSIVOSTI ŠIPOVA

U grupu lebdećih šipova spadaju svi šipovi koji se nalaze u bilo kakvom tlu koje omogućava njihovo sleganje. Nosivost lebdećeg šipa se sastoji od nosivosti omotača šipa i nosivosti baze šipa. Nosivost lebdećih šipova se može odrediti na jedan od sledećih načina: teorijskim metodama na bazi fizičko-mehaničkih osobina tla, primenom statičkog penetracionog opita (CPT), primenom standardnog penetracionog opita (SPT), na bazi dinamičkih podataka dobijenih pri pobijanju šipova, kao i probnim opterećenjem.

Svi postupci, koji se koriste za određivanje nosivosti lebdećih šipova teorijskim putem, zasnivaju se na određivanju veličine otpora trenja na omotaču šipa i otpora tla ispod baze šipa korišćenjem veličina faktora nosivosti. Tlo se tretira kao krutoplastičan materijal, uz pretpostavku da je smičuća čvrstoća predstavljena linearnim Mor- Kulonovim kriterijumom sa parametrima c i φ .

Granična nosivost baze šipa može se proceniti primenom rezultata ispitivanja tla statičkim penetrometrom koji daje i rezultate merenja bočnog trenja. Statički penetracioni opit (CPT), koristi se za ispitivanje peskova, gde uzimanje neporemećenih uzoraka za laboratorijska ispitivanja praktično nije izvodljivo, i omogućava da se proceni vrsta i stanje zbijenosti tla.

Rezultati standardnog penetracionog opita (SPT) mogu se upotrebiti za određivanje nosivosti baze šipa na tri načina. Prvi način podrazumeva da se na osnovu empirijskih korelacija procene parametri smičuće čvrstoće, koji se zatim uvrste u odgovarajuće teorijske izraze koji te parametre sadrže, drugi način obuhvata primenu korelacije između broja udara u standardnom penetracionom opitu sa otporom vrha statičkog penetrometra i treći koji bi bio direktno empirijski.

Određivanje nosivosti lebdećih šipova na osnovu dinamičkih podataka sastoji se u određivanju nosivosti na bazi ispitivanja dinamičkim opterećenjem pri čemu se pojedinačni šip opterećuje dinamičkom silom aksijalne kompresije. Ocena graničnog opterećenja lebdećih šipova, na osnovu dinamičkih podataka, sastoji se u određivanju nosivosti na bazi veličine prodiranja šipa u tlo pomoću sledećih metoda i postupaka [3]: dinamičkim udarnim

ispitivanjem; pobijanjem šipova; analizom talasnih jednačina i dinamičko ispitivanje sa više udara.

Određivanje nosivosti lebdećih šipova probnim opterećenjem sastoji se u postepenom povećanju opterećenja i merenju odgovarajućih sleganja šipa, na osnovu kojih se konstruiše dijagram "opterećenje - sleganje". Standardnim opitima probnog opterećenja, interpretacijom predmetnog dijagrama se određuje ukupno granično opterećenje ispitivanog šipa. Osim probnog opterećenja pojedinačnog šipa vertikalnom silom pritiska, primenjuju se i probna opterećenja silom zatezanja ukoliko će šipovi biti opterećeni takvom silom ili radi izdvajanja komponente nosivosti omotača šipa od ukupne nosivosti. Kada su šipovi opterećeni horizontalnom silom većeg inteziteta, mogu se predvideti i takva probna opterećenja, koja nisu predmet ovog rada.

U nacionalnim normativima raznih zemalja mogu se naći mnoge definicije loma tla pri probnom opterećenju šipa. Neke definicije loma za granično opterećenje proglašavaju silu koja utisne šip za veličinu koja je jednaka nekom procentu prečnika šipa (2.5 %, 5 % ili 10%) [2]. Nonveiller [7] navodi da je Mostrontuomo predložio da se interpretacija nosivosti šipova probnim opterećenjem može izvršiti hiperboličkom ekstrapolacijom između aksijalnog opterećenja i izmerenih sleganja w u sledećem obliku:

$$P = w / (a + b \cdot w) \quad (1)$$

gde su a i b parametri koji se određuju na osnovu dijagrama " opterećenje - sleganje". Analitički izraz zavisnosti između sile i sleganja je takav da omogućava pouzdanu ekstrapolaciju rezultata ispitivanja ukoliko je šip tokom probnog opterećenja bio izložen maksimalnoj sili koja je manja od granične vrednosti [6].

3. PRORAČUNSKA NOSIVOST ŠIPOVA

Generalno, prema odredbama EN1997-1 [10], potrebno je, kada su relevantna, proveriti sledeća granična stanja:

- gubitak ravnoteže konstrukcije ili tla, posmatranog kao kruto telo, kada čvrstoća elemenata konstrukcije ili tla nije od značaja (EQU),
- lom ili prekomerna deformacija konstrukcije ili elemenata konstrukcije, na primer, temeljnih stopa, šipova i podrumskih zidova, kada je čvrstoća materijala konstrukcije od značaja (STR),
- lom ili prekomerna deformacija tla, kada je čvrstoća tla ili stene od značaja (GEO),
- gubitak stabilnosti konstrukcije ili tla usled uzgona od pritiska vode ili drugih vertikalnih dejstava (UPL).

Za proračun aksijalne nosivosti šipova potrebno je zadovoljiti granična stanja loma ili prekomerne deformacije šipa i lokalnog tla oko šipa (granična stanja STR i GEO).

3.1. Karakteristična nosivost šipa

Kao što je već opisano u prethodnoj tački granična nosivost šipova R_c se može odrediti različitim metodama i postupcima. U skladu sa odredbama Evrokoda 7, karakteristična nosivost šipa $R_{c,k}$ se dobija iz granične kao:

$$R_{c,k} = R_c / \zeta \quad (2)$$

gde je:

ξ – faktor korelacije koji zavisi od broja testiranih šipova ili istražnih bušotina, u zavisnosti od načina određivanja granične nosivosti šipa.

Faktori korelacije za nosivost šipa pri statičkom ispitivanju probnih šipova (ξ_1, ξ_2), kao i pri određivanju nosivosti na osnovu terenskih ispitivanja tla (CPT i SPT) (ξ_3, ξ_4), dati su u Tabeli 1, gde je n broj ispitivanja.

Tabela 1 – Faktori koleracije za proračun karakteristične nosivosti šipa

1) Na osnovu statičkog ispitivanja šipova						2) Na osnovu terenskih ispitivanja tla							
n	1	2	3	4	≥5	n	1	2	3	4	5	7	10
ξ_1	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00	ξ_3	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25
ξ_2	1.40	1.20	1.05	1.00	1.00	ξ_4	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08

U prvom slučaju, karakteristična vrednost se određuje na osnovu izraza:

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,m})_{sred}}{\xi_1}, \frac{(R_{c,m})_{min}}{\xi_2} \right\} \quad (3)$$

a u drugom:

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,rač})_{sred}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,rač})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (4)$$

gde su:

$(R_{c,m})_{sred}$ i $(R_{c,rač})_{sred}$ srednja merena i računaska vrednost granične nosivosti,

$(R_{c,m})_{min}$ i $(R_{c,rač})_{min}$ minimalna merena i računaska vrednost granične nosivosti.

3.2. Proračunska nosivost šipa

Proračunska nosivost šipa $R_{c,d}$ dobija se kao:

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_t, \text{ ili kao: } R_{c,d} = R_{b,d} + R_{s,d} = R_{b,k} / \gamma_b + R_{s,k} / \gamma_s \quad (5)$$

gde su:

γ_t - ukupni (kombinovani) faktor sigurnosti,

$R_{b,k}, R_{s,k}$ – karakteristična nosivost šipa po bazi i omotaču,

γ_b, γ_s – parcijalni faktori sigurnosti za bazu i omotač.

Prema EN1997-1 [10], definisana su tri proračunska pristupa za određivanje granične nosivosti temeljne konstrukcije (“Design Approaches” – DA1 do DA3), sa različitim setovima parcijalnih koeficijenata sigurnosti za opterećenje (označeni sa A1 i A2), parametre tla (M1 i M2) i otpornost temeljne konstrukcije (R1 do R4). Izbor proračunskog pristupa ostavljen je pojedinim zemljama, i treba da bude definisan u odgovarajućem Nacionalnom aneksu. Pri tome, proračunski pristup DA1 podrazumeva da projektant treba da proveri dve kombinacije setova parcijalnih koeficijenata sigurnosti (Kombinacija 1 i 2), mada je često moguće proceniti koja je od dve kombinacije merodavna. U Tabeli 1 [9] su prikazani proračunski pristupi i

parcijalni koeficijenti sigurnosti za proračun pobijenih, bušenih i CFA šipova prema EN1997-1.

Tabela 2 – Proračunski pristupi i parcijalni koeficijenti sigurnosti

			DA1				DA2			DA3					
			Kombinacija 1			Kombinacija 2 Šipovi i ankeri									
			A1	M1	R1	A2	M1	M2	R4	A1	M1	R2	A1*	A2**	M2
Dejstva	Stalna	nepovoljno	1.35		1.00			1.35			1.35	1.00			
		povoljno	1.00		1.00			1.00			1.00	1.00			
	Promenljiva	nepovoljno	1.50		1.30			1.50			1.50	1.30			
Tlo	tanφ' za drenirane uslove		1.00			1.00	1.25		1.00				1.25		
	Kohezija za dren. uslove		1.00			1.00	1.25		1.00				1.25		
	Nedrenirana kohezija		1.00			1.00	1.40		1.00				1.40		
	Jednoaksijalna čvrstoća		1.00			1.00	1.40		1.00				1.40		
	Zapreminska težina		1.00			1.00	1.00		1.00				1.00		
Pobijeni šipovi	Baza			1.00				1.30		1.10				1.00	
	Omotač (pritisk)			1.00				1.30		1.10				1.00	
	Ukupno/kombinovano			1.00				1.30		1.10				1.00	
	Omotač (zatezanje)			1.25				1.60		1.15				1.10	
Bušeni šipovi	Baza			1.25				1.60		1.10				1.00	
	Omotač (pritisk)			1.00				1.30		1.10				1.00	
	Ukupno/kombinovano			1.15				1.50		1.10				1.00	
	Omotač (zatezanje)			1.25				1.60		1.15				1.10	
CFA šipovi	Baza			1.10				1.45		1.10				1.00	
	Omotač (pritisk)			1.00				1.30		1.10				1.00	
	Ukupno/kombinovano			1.10				1.40		1.10				1.00	
	Omotač (zatezanje)			1.25				1.60		1.15				1.10	

* Dejstva na konstrukciju

** Geotehnička dejstva

Velika Britanija je, na primer, u svom Nacionalnom aneksu, usvojila pristup proračunu DA1, sa kombinacijom 1, gde su zadati koeficijenti sigurnosti za opterećenja (A1), a koeficijenti sigurnosti za nosivost su jednaki jedinici (R1), i kombinacijom 2, gde je koeficijent sigurnosti za stalno opterećenje jednak jedinici, za povremeno ima minimalnu vrednost (A2), a propisani su koeficijenti sigurnosti za nosivost šipova (R4), nešto veći od preporučenih vrednosti u osnovnom tekstu Prema EN1997-1 (ukupni koeficijent sigurnosti za bušene i CFA šipove iznosi 1.6 i 1.5 respektivno, umesto vrednosti 1.5 i 1.4) [9].

4. PRORAČUN AKSIJALNE NOSIVOSTI ŠIPOVA ZA DEJSTVO SEIZMIČKIH SILA

Zahtevi vezani za proračun elemenata konstrukcije temelja, a samim tim i šipova, dati su i EN 1998-1 [11], sa aspekta određivanja uticaja koji deluju na temelje, i EN 1998-5 [12], sa aspekta ponašanja šipova i tla, proračunskih situacija i dokaza nosivosti pri dejstvu seizmičkih sila.

4.1. Uticaji na temelje uz rezervu nosivosti

Koncept projektovanog ponašanja, kao što je poznato, pri proračunu temelja podrazumeva da uticaji na temelje treba da budu određeni uz rezervu nosivosti:

$$E_{Fd} = E_{F,G} + \gamma_{Rd} \Omega E_{F,E} \quad (6)$$

gde su:

$\gamma_{R,d}$ – faktor rezerve nosivosti (1.0 – 1.2 u zavisnosti od faktora ponačanja q),

$E_{F,G}$ – uticaj od vertikalnog (neseizmičkog) opterećenja,

$E_{F,E}$ – uticaj iz analize za seizmičku proračunsku situaciju,

$\Omega = \min M_{Rd}/M_{Ed}$ priključenih savijenih zidova ili stubova, gde je M_{Rd} moment nosivosti preseka u uklještenju u temelj, a M_{Ed} proračunski uticaj od dejstava u zidu ili stubu.

Za zajedničke temelje više od jednog elementa (temeljne ploče, trake ili grede) može se usvojiti $\Omega = 1.0$ i $\gamma_{R,d} = 1.4$, osim kada se radi o konstrukcijama niske duktilnosti ($q \leq 1.5$), kada nije potrebno uvoditi rezervu nosivosti.

4.2. Zahtevi za fundamente na šipovima

U okviru EN 1998-5 [12], pažnja je u najvećoj meri usmerena na definisanje parametara ponašanja tla u uslovima dejstva zemljotresa, kao opterećenja na elemente konstrukcije, kao i uticaja na stabilnost konstrukcija koje se na tlo oslanjaju, naročito sa aspekta stabilnosti kosina, moguće pojave likvefakcija tla i sl [5].

Kada je u pitanju proračun šipova, akcenat je na horizontalnim dejstvima na šipove, usled inercijalnih sila sa konstrukcije, kao i dejstva lokalnog tla na šipove. Zahteva se elastično ponašanje šipa, osim eventualne plastifikacije usled momenata savijanja na mestu uklještenja šipa u naglavnu konstrukciju [1].

Sa aspekta vertikalne nosivosti šipa, u uslovima kada ne dolazi do gubitka stabilnosti tla, aksijalna nosivost se određuje na osnovu proračunskog pristupa DA1, kombinacija 2, koja odgovara opterećenju koje nije uvećano koeficijentima sigurnosti, i aksijalne nosivosti šipova sa propisanim koeficijentima sigurnosti [4].

5. STARI I NOVI PROPISI – RAZLIKE U PRORAČUNU

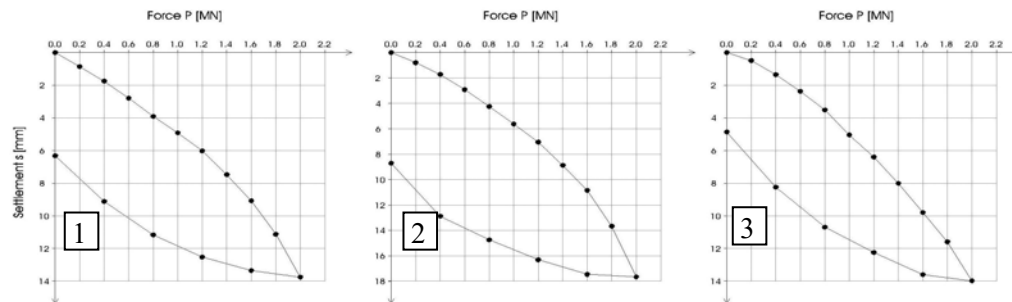
Kao što je poznato, prema Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata [8] maksimalne dopuštene sile u funkciji od nosivosti šipa iznosi:

$$P_{max} \leq P_{ult} / F_s \quad (7)$$

gde je:

P_{max} , P_{ult} – maksimalna dozvoljena sila u šipu i nosivost šipa,

F_s – koeficijent sigurnosti, koji se usvaja u intervalu od 1.8 do 4.0.



Slika 1: Dijagrami zavisnosti sleganja od opterećenja za tri ispitivana šipa

U poređenje proračuna je izvršeno na primeru tri probno ispitana bušena šipa čiji su dijagrami zavisnosti sleganja od opterećenja prikazani na Slici 1. Na osnovu hiperboličke ekstrapolacije, date izrazom (1), sa parametrima ekstrapolacije a i b , prikazanim u Tabeli 3. Nosivost šipa je, prema [6], određena iz izraza:

$$R_{c,m} = 0.85/b \quad (8)$$

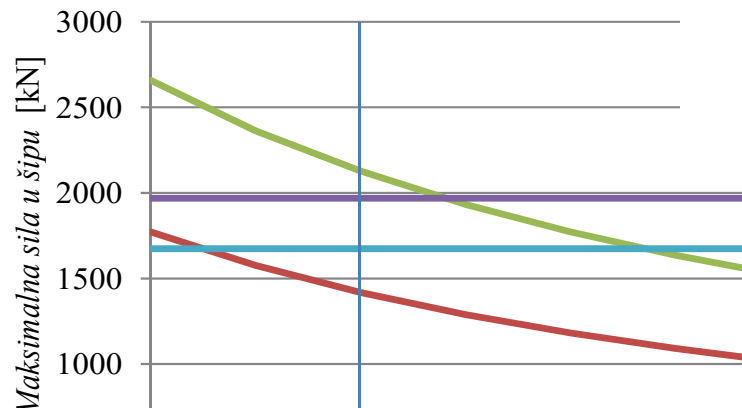
Tabela 3- Parametri ekstrapolacije i nosivost ispitanih šipova

Šip	a	b	$R_{c,m}$ [kN]
1	0.003694	0.000226	3761.06
2	0.004102	0.00026	3269.23
3	0.003755	0.000236	3601.69

Na osnovu nosivosti ispitivanih šipova, karakteristična i proračunska nosivost (izrazi (3) i (5)), na osnovu proračunskog pristupa DA1, kombinacija 2 [10], prikazana je u Tabeli 4.

Tabela 4- Proračun karakteristične i proračunske nosivosti [10] ispitivanih šipova

$R_{c,m1}$	$R_{c,m2}$	$R_{c,m3}$	$(R_{c,m})_{sred}$	$(R_{c,m})_{min}$	ξ_1	ξ_2	$R_{c,k}$	γ	$R_{c,d}$
kN	kN	kN	kN	kN			kN		kN
3761.1	3269.2	3601.7	3544	3269.2	1.20	1.05	2953	1.5	1969



Slika 2: Poređenje maksimalnih dopuštenih sila u ispitivanim šipovima

Na Slici 2 je prikazano poređenje maksimalne sile u šipu prema [8] P_{max} , i maksimalne sile za dejstvo seizmike $P_{max,s}$, koje se uobičajeno usvaja u iznosu $1.5 P_{max}$, kao i maksimalne ekvivalentne sile prema [10], kada je $E_{f,d} = R_{c,d}$, a koeficijenti za opterećenje jednaki jedinici. Na dijagramu je prikazana i sila $E_{f,dE}$, koja uvodi umanjene ekvivalentne maksimalne sile u šipu, uzimajući u obzir povećanje opterećenja na osnovu faktora rezerve prema EN 1998-1 i izrazu (6). U ovom primeru je usvojeno da je doprinos seizmičkog opterećenja 50% od sile od vertikalnog opterećenja ($E_{F,E} = 0.5 E_{F,G}$), što bi odgovaralo uslovima jače seizmičnosti, uz vrednost $\gamma_{R,d} = 1.4$.

Tabela 5- Poređenje maksimalnih dopuštenih sila

Fs	P_{max}	$P_{max,s}$	$E_{f,d}$	$E_{f,dE}$	$P_{max,s}/E_{f,d}$	$\Delta(\%)$	$P_{max,s}/E_{f,dE}$	$\Delta(\%)$
2	1772.0	2658.0	1968.9	1673.6	1.35	35.0	1.59	58.8
2.5	1417.6	2126.4	1968.9	1673.6	1.08	8.0	1.27	27.1

U Tabeli 5 je prikazano poređenje dobijenih vrednosti za usvojene koeficijente sigurnosti F_s u iznosu 2 i 2.5. Prikazan je odnos sila sračunatih prema dva propisa i razlika $\Delta(\%)$.

6. ZAKLJUČAK

Usporedna analiza proračuna aksijalne nosivosti šipova prema Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata [8] i SRPS EN 1997-1:2017 [10], a posebno pri dejstvu seizmičkih sila, ukazuje na razlike u konceptu proračuna, veličinama zahtevanih koeficijenta sigurnosti, kao i dobijenih rezultata proračuna. Na osnovu prezentovanih odredbi EN normi, i odgovarajućih tumačenja u literaturi, sledi da proračunsku nosivost šipa treba odrediti prema proračunskom pristupu DA1, sa kombinacijom koeficijenata sigurnosti 2 (R4).

Relativno širok interval koeficijenata sigurnosti F_s prema Pravilniku može dovesti do značajnih razlika u maksimalnim proračunskim silama za šipove. Istovremeno, koncept umanjenja faktora sigurnosti šipa za seizmičko dejstvo, za 50%, kao što je u praksi bilo uobičajeno, u suprotnosti je sa pristupom projektovanog ponašanja prema SRPS EN 1998-1 [11], gde se, za duktilne konstrukcije (faktor ponašanja $q > 1.50$) uvodi faktor rezerve u nosivosti temelja, u cilju obezbeđivanja njihovog elastičnog ponašanja.

Na prikazanom primeru proračuna bušenog šipa, čija je nosivost određena na osnovu probnih ispitivanja, može se pokazati da je ekvivalentna maksimalna sila u šipu određena prema EN normama 27 do 59% manja od one određene prema Pravilniku, u zavisnosti od usvojenog koeficijenta sigurnosti.

7. LITERATURA

- [1] Bish, P. et all (2011) Eurocode 8: Seismic Design of Buildings, Worked examples. Lisabon: European Commission Joint Research Centre
- [2] CANADIAN FOUNDATION ENGINEERING MANUAL, (1992), 3rd Edition. Canadian Geotechnical Society;
- [3] Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 4: Testing of piles: dynamic load testing (ISO 22477-4:2018)
- [4] Fardis, M. et all (2005) Designers' Guide to EN 1998-1 and EN 1998-5 Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. London: Thomas Telford
- [5] Frank, R. et all (2004) Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design – General Rules. London: Thomas Telford
- [6] Maksimović M., (2005). Mehanika tla, Građevinska knjiga, Beograd
- [7] Nonveiller E., (1990). Mehanika tla i temeljenje, III izdanje, Školska knjiga, Zagreb
- [8] Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (“Sl. list SFRJ”, br. 15/90);
- [9] Simpson, B. (2007) Approaches to ULS design – The merits of Design Approach 1 in Eurocode 7, Shanghai: First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk
- [10] SRPS EN 1997-1:2017. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije.
- [11] SRPS EN 1998-1:2015. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije.
- [12] SRPS EN 1998-5:2012. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije.