



**SAVEZ GRAĐEVINSKIH
INŽENJERA SRBIJE**
ASSOCIATION OF CIVIL ENGINEERS
OF SERBIA

GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA

ZBORNIK RADOVA
OSMOG NAUČNO-STRUČNOG MEĐUNARODNOG SAVETOVANJA

*EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE
GEOTECHNICS IN CIVIL ENGINEERING
CONFERENCE PROCEEDINGS*

Editor: Prof. emeritus dr Radomir Folić



Vrnjačka Banja, 13. - 15. novembar 2019.



INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA-IMS

GEOTEHNIKA

STATIČKOG
OPTEREĆENJA

MOGUĆNOST
APLICIRANJA
SILE
PREKO

2000t

ispitano preko
150
šipova

ISPITIVANJE NOSIVOSTI ŠIPA METODOM

STATIČKOG
OPTEREĆENJA



ŠEST HIDRAULIČKIH PARNJ
PRESA KAPACITETA 15000 KN
I MERNJA OPREMA TOKOM ISPITIVANJA



ISPITIVANJE ŠIPA
HORIZONTALNOM SILOM



ISPITIVANJE ŠIPA
SILOM ZATEZANJA

ispitano preko

15000

šipova

ISPITIVANJE
INTEGRITETA
METODOM

SIT



ISPITIVANJE
NOSIVOSTI
ŠIPA



TESTOM
DINAMIČKOG
OPTEREĆENJA

MODULARNI

AUTONOMNI

RAM SA

TEGOVIMA

OD 2.5 DO

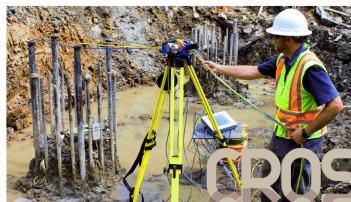
15 TONA



ispitano preko

300

šipova



ISPITIVANJE
INTEGRITETA
METODOM

CROSS HOLE
CROSS HOLE



SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE

ASSOCIATION OF CIVIL ENGINEERS OF SERBIA

II

IZDAVAČ (PUBLISHER):

Savez građevinskih inženjera Srbije / Association of Civil Engineers of Serbia
Srbija, Beograd, Kneza Miloša 9/I, Tel/Faks: (011) 3241 656

PROGRAMSKI ODBOR (PROGRAMME COMMITTEE):

KOPREDESEDNICI (Co-Chairman):

Prof. dr Radimir FOLIĆ, Novi Sad, Srbija

Dr Nenad ŠUŠIĆ, Beograd, Srbija

ČLANOVI (Members):

Prof. dr Heinz BRANDL, Wien, Austrija

Prof. dr Luvig TRAUNER, Maribor, Slovenija

Prof. dr Ivan VRKLJAN, Rijeka, Hrvatska

Prof. dr Vojkan JOVIČIĆ, Ljubljana, Slovenija

Prof. dr Vlatko ŠEŠOV, Skoplje, Makedonija

Prof. dr Tanja ROJE-BONACCI, Split, Hrvatska

Dr Lidija ZDRAVKOVIĆ, London, Velika Britanija

Prof. dr Jovan PAPIĆ, Skoplje, Makedonija

Prof. dr Adnan IBRAHIMOVIĆ, Tuzla, BiH

Prof. dr Asterios LIOLIOS, Xanthi, Grčka

Dr Nikolay MILEV, Sofija, Bugarska

Prof. dr Zvonko TOMANOVIĆ, Podgorica, Crna Gora

Prof. dr Slobodan ĆORIĆ, Beograd, Srbija

Prof. dr Mirjana VUKIĆEVIĆ, Beograd, Srbija

Prof. dr Mitar ĐOGO, Novi Sad, Srbija

Prof. dr Petar SANTRAČ, Subotica, Srbija

Prof. dr Dragoslav RAKIĆ, Beograd, Srbija

Prof. dr Zoran BONIĆ, Niš, Srbija

Prof. dr Lena MIHOVA, Sofija, Bugarska

Prof. dr Milinko Vasić, Novi Sad, Srbija

Dr Mladen ĆOSIĆ, Beograd, Srbija

EDITOR / (Editor in Chief): Prof. emeritus dr Radimir FOLIĆ

TEHNIČKI UREDNIK / (Editor): Dr Aleksandar ĐUKIĆ

Svi radovi u ovom zborniku radova su recenzirani. Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, programskog odbora ili editora.

TIRAŽ (Circulation): 200

ŠTAMPA (Printed by): Akademsko izdanje, Zemun

CIP- Каталогизacija u publikaciji

Narodna biblioteka Srbije

624.1(082)

НАУЧНО-стручно међународно саветовање Геотехнички аспекти грађевинарства (8 ; 2019 ; Врњачка Бања)

Zbornik radova Osmog naučno-stručnog međunarodnog savetovanja Geotehnički aspekti građevinarstva = Conference Proceedings [of] Eighth International Conference Geotechnics in Civil Engineering, Vrnjačka Banja, 13. - 15. novembar 2019. / [organizatori] Savez građevinskih inženjera Srbije ... [et al.] ; editor Radimir Folić. - Beograd : Savez građevinskih inženjera Srbije = Association of Civil Engineers of Serbia, 2019 (Zemun : Akademsko izdanje). - XII, 500 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 200. - Str. XI: Predgovor ; Foreword / Radimir Folić, Aleksandar Đukić. -

Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-88897-13-6

a) Механика тла -- Зборници б) Геотехничке конструкције -- Зборници

COBISS.SR-ID 280751628

Slike na koricama: Čišćenje niskog i visokog rastinja *Cleaning of low and high vegetation*
Čišćenje oslabljenih blokova stene *Cleaning the weakened wall blocks*
Pripremljena podloga *Prepared construction base*
Nanošenje kontaktnog sloja mlaznog betona *Application of contact layer sprayed concrete*

SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE

I

SRPSKO DRUŠTVO ZA MEHANIKU TLA I GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO

INSTITUT IMS A.D. BEOGRAD

OPŠTINA VRNJAČKA BANJA

ZBORNİK RADOVA

OSMOG NAUČNO-STRUČNOG MEĐUNARODNOG SAVETOVANJA

GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA

*EIGHT INTERNATIONAL CONFERENCE
GEOTECHNICS IN CIVIL ENGINEERING
CONFERENCE PROCEEDINGS*

Editor: Prof. emeritus dr Radomir Folić

Vrnjačka Banja, 13. - 15. novembar 2019.

ORGANIZATORI KONFERENCIJE (*CONFERENCE ORGANISERS*):

Savez građevinskih inženjera Srbije, Beograd
Srpsko društvo za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo, Beograd
Institut IMS A.D. Beograd
Opština Vrnjačka Banja

ORGANIZACIONI ODBOR KONFERENCIJE (*ORGANIZING COMMITTEE*):

Predsednik: Boban ĐUROVIĆ, predsednik opštine Vrnjačka Banja
Potpredsednik: Ivan RADOVIĆ, predsednik Skupštine opštine Vrnjačka Banja
Sekretar: Suzana VASIĆ, Beograd – Srbija

Članovi: Miloš HRANISAVLJEVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd - Srbija
Dr Selimir LELOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd – Srbija
Dr Dragan ZLATKOV, dipl.inž.građ., Niš – Srbija
Mr Kristina BOŽIĆ – TOMIĆ, dipl.inž.građ., Beograd – Srbija
Vladimir FILIPOVIĆ, dipl.inž.geol., Beograd - Srbija
Svetozar MILENKOVIĆ, dipl.inž.geol., Beograd – Srbija
Dr Ksenija ĐOKOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd, Srbija
Marko PRICA, dipl.inž.geol., Beograd, Srbija

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije
- Institut IMS a.d. Beograd
- LHR d.o.o. Beograd
- BHL d.o.o. Beograd
- Novkol a.d. Novi Beograd
- Tensar, Češka Republika
- Clivio, Italija
- Geomehanika, Novi Sad
- Via inženjering, Novi sad
- CPL, Veternik
- Rudarski institut d.o.o. Beograd
- Hidrozavod, Novi Sad
- Megra d.o.o. Beograd

UPOREDNA ANALIZA PRORAČUNA NOSIVOSTI ŠIPOVA PREMA EN7 I DOMAĆEM PRAVILNIKU

Nikola Obradović, Veljko Pujević, Mirjana Vukićević

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. Kralja Aleksandra 73,
Beograd, pujevic.veljko@gmail.com*

REZIME

Standard SRPS EN 1997-1 je krajem 2018. godine preveden i usvojen, dok je izrada nacionalnih priloga u završnoj fazi. S tim u vezi kao i zbog brojnih nedoumica stručne javnosti u vezi sa primenom EN 1997-1, autori su u ovom radu dali pojašnjenja procesa projektovanja aksijalno pritisnutih šipova prema EN7. Razlike između domaćeg pravilnika i EN7 ilustrovane su kroz numerički primer, čiji je primarni cilj uporedna analiza dužina šipova prema tradicionalnom postupku (globalni faktor sigurnosti) i prema EN7 (parcijalni faktori). Sprovedene analize potvrdile su podobnost preporučene vrednosti modelskog faktora γ_M date u nacrtu nacionalnog priloga.

KLJUČNE REČI: Evrokod 7, nosivost šipova, modelski faktor

A COMPARATIVE ANALYSIS OF PILE DESIGN USING EUROCODE 7 AND NATIONAL CODE OF PRACTICE

ABSTRACT

The standard SRPS EN 1997-1 was translated and adopted at the end of 2018, while the development of national annexes is in the final stage. In this regard, and due to concerns of engineering community about the application of EN 1997-1, the authors of this paper have provided clarification of the design process of axially loaded compression piles according EN7. The differences between the national code of practice and EN7 are illustrated through a design example, which aimed to compare pile lengths obtained applying the traditional procedure (global security factor) and to EN7 (partial factors). The performed analyses confirmed the suitability of the recommended value of the model factor γ_M provided in the draft national annex.

KEY WORDS: Eurocode 7, pile bearing capacity, model factor

UVOD

Evrokod 7 (EN7) zasniva se na konceptu graničnih stanja i karakterističnih vrednosti. Uvodjenje koncepta graničnih stanja u geotehničku struku predstavlja suštinsku promenu u filozofiji projektovanja u odnosu na tradicionalni način projektovanja prema dopuštenim naponima i jedinstvenom globalnom faktoru sigurnosti. Na taj način obezbeđena je metodološka harmonizacija između konstruktorskog i geotehničkog projektovanja.

Proces projektovanja se zasniva na konceptu dokaza graničnih stanja nosivosti, upotrebljivosti i trajnosti, primenom metode parcijalnih koeficijenata sigurnosti odnosno proračunskih vrednosti za sve proračunske situacije. To suštinski znači da je proračunom potrebno za sva relevantna granična stanja dokazati da nisu prekoračena. Ovakav savremeni koncept projektovanja primorava inženjere da zapravo razmišljaju prvenstveno u kontekstu mogućih oblika mehanizama loma (Bond i sar., 2008). Metod parcijalnih koeficijenata sigurnosti predstavlja polu-probabilistički pristup u kome se koriste karakteristične vrednosti slučajno promenljivih, a parcijalnim faktorima sigurnosti se uzimaju u obzir nepouzdanosti vezane za uticaje od dejstava, materijalnih svojstava i otpora.

Parcijalni faktori sigurnosti kalibrisani su tako da se dobiju zahtevani nivoi pouzdanosti, koji se uobičajeno izražavaju u formi prihvatljive verovatnoće lome $p_{f,max}$ ili putem minimalne vrednosti indeksa pouzdanosti β_{min} . Ovakav pristup kalibraciji često ume da rezultira drastično različitim konačnim rešenjima u odnosu na konvencionalne postupke projektovanja prema dopuštenim naponima. Da bi se bogato iskustvo stečeno u praktičnoj primeni tradicionalnog pristupa prema dopuštenim naponima inkorporiralo u novu metodologiju, omogućen je izbor alternativnih vrednosti koeficijenta kroz nacionalne priloge. U tu svrhu, u kontekstu verifikacije graničnog stanja nosivosti aksijalno pritisnutih šipova analitičkim metodama Mehanike tla, naročito pogodan može da bude modelski faktor.

U okviru ovog rada sprovedena je uporedna analiza nosivosti šipova prema Evrokodu i domaćem Pravilniku, sa ciljem ocene podobnosti različitih proračunskih pristupa. Kao osnovni kriterijum za evaluaciju podobnosti usvojena je sličnost konačnog rešenja, odnosno u konkretnom slučaju dužina šipa. Proračunski primer korišćen u ovom radu predstavlja modifikaciju primera koji su prvobitno formulisali (Orr i sar., 2005), a koji je kasnije korišćen u osnovnom ili modifikovanom obliku u brojnim publikacijama (Frank, 2006, Wang i sar., 2011). Takođe, ispitana je ispravnost preporučene vrednosti modelskog faktora γ_M date u nacionalnom prilogu. Naime nacrtom nacionalnog priloga predviđeno je da se za verifikaciju graničnog stanja nosivosti aksijalno pritisnutih šipova koristi proračunski pristup 2 (PP2) uz vrednost modelskog faktora u iznosu $\gamma_M = 1.5$.

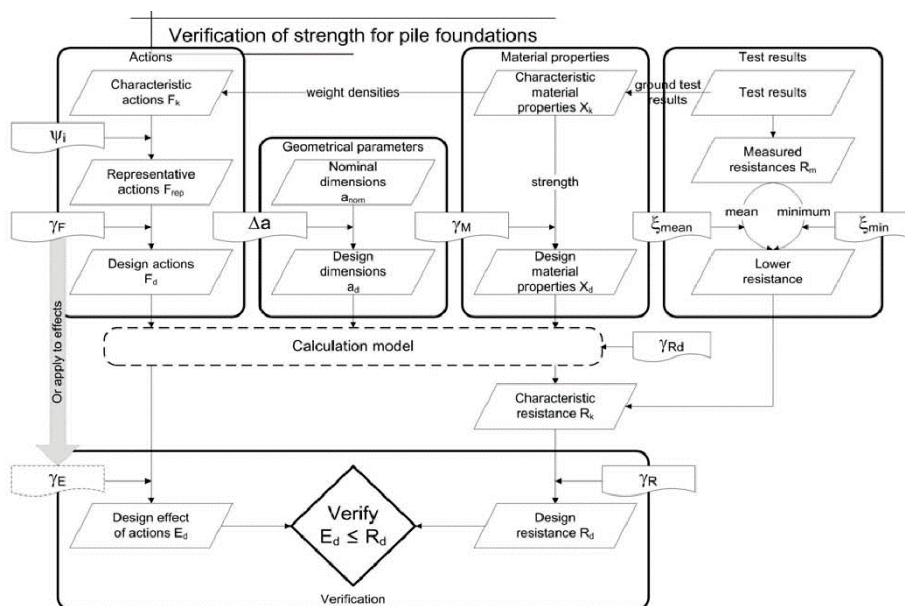
PRORAČUN AKSIJALNO PRITISNUTIH ŠIPOVA PREMA EVROKODU

Evrokod 7 nudi projektantima tri proračunska pristupa koji se međusobno razlikuju u mestu primene parcijalnih faktora sigurnosti. Postojanje tri proračunska pristupa proisteklo je u toku razvoja Evrokoda 7, kao posledica nepostojanja konsenzusa po pitanju jedinstvene metodologije. U okviru proračunskog pristupa 1 (PP1) pouzdanost je obezbeđena uvođenjem parcijalnih faktora za dve osnovne promenljive, ali u dva zasebna proračuna (izuzetak šipovi) (Kombinacije 1&2), dok je u PP2 i PP3 pouzdanost obezbeđena faktorisanjem dve promenljive istovremeno. U PP1 neophodno je proveriti obe kombinacije.

Uslovna jednačina za verifikaciju graničnog stanja nosivosti (ULS) aksijalno pritisnutih šipova ima sledeći oblik

$$E_{cd} \leq R_{cd}$$

gde E_{cd} predstavlja proračunsku vrednost uticaja, a R_{cd} proračunsku vrednost nosivosti. Proces verifikacije graničnih stanja nosivosti ilustrativno je prikazan dijagramom toka preuzetog iz (Bond i sar., 2008).



Slika 1. Algoritam za dokaz graničnih stanja nosivosti šipova
Figure 1. Overview of verification of strength

Spoljašnja dejstva (F), geometrijske karakteristike (a) i materijalna svojstva (X), čine osnovne slučajne promenljive koje figurišu kao ulazni podaci za utvrđivanje proračunskih vrednosti uticaja i nosivosti.

Proračunska vrednost aksijalne sile pritiska F_{cd} data je kao:

$$F_{cd} = \gamma_G G_{rep} + \gamma_Q Q_{rep}$$

gde su $\gamma_{G,Q}$ parcijalni faktori za dejstva, dok su G_{rep} i Q_{rep} reprezentativne vrednosti aksijalne sile od stalnih i promenljivih dejstava. Reprezentativne vrednosti dejstava dobijaju se faktorisanjem karakterističnih vrednosti dejstava koeficijentima za kombinovanje.

Što se tiče konkretno nosivosti, Evrokod 7 omogućava projektantu da pored primene klasičnih analitičkih proračunskih modela, koristi i opite statičkog i dinamičkog probnog opterećenja. Treba naglasiti da Evrokod 7 naročito potencira primenu testa statičkog probnog opterećenja, bilo kao primarne metode za ocenu nosivosti, bilo kao validacione metode.

Generalno, sa stanovišta procene nosivosti, Evrokod 7 prednost daje postupcima koji se zasnivaju na rezultatima terenskih opita, između ostalog i penetracionih metoda (CPT i SPT). Analitički proračunski postupci mehanike tla se u okviru Evrokoda 7 tretiraju kao alternativne metode, što brojni autori (Bond i sar., 2008, Frank, 2006) vide kao nelogičnost, uzimajući u obzir da su ove metode u većini članica EU i dalje primarni vid proračuna nosivosti šipova.

Proračunska nosivost aksijalno pritisnutog šipa data je kao:

$$R_{cd} = R_{bd} + R_{sd} = R_{bk} / (\gamma_b \gamma_M) + R_{sk} / (\gamma_s \gamma_M)$$

gde su R_{bd} , R_{sd} proračunske nosivosti base i omotača šipa, R_{bk} , R_{sk} karakteristične nosivosti baze i omotača, dok su $\gamma_{b,s}$ parcijalni faktori za nosivosti, odnosno γ_M modelski faktor (opciono).

Karakteristična nosivost aksijalno pritisnutih šipova primenom metoda koje se zasnivaju na rezultatima terenskih opita, konkretno penetracionih opita dobija se iz sledećeg obrasca:

$$R_k = \min(R_{mean}/\xi_{mean}, R_{min}/\xi_{min})$$

gde $R_{mean,min}$ predstavljaju prosečnu odnosno minimalnu vrednost nosivost baze ili omotača šipa, dobijenu iz odgovarajućih empirijskih korelacija sa setom rezultata penetracionih opita (npr. CPT profili). $\xi_{mean,min}$ predstavljaju korelacione faktore koji su funkcija broja penetracionih rezultata.

Modelska faktor γ_M uvodi se isključivo kod određivanja proračunske vrednosti nosivost aksijalno pritisnutih šipova primenom analitičkih metoda mehanike tla i nije precizno definisan odredbama Evrokoda 7, već je ostavljeno zemljama primeniocima EN7, da na nivou nacionalnih priloga samostalno usvoje njegovu vrednost. Ideja za uvođenjem modelskog faktora proistekla je iz činjenice da su parcijalni faktori za otpore šipa u PP1 i PP2 (1.0-1.6 za bazu, 1.0-1.3 za omotač) značajno niži u poređenju sa globalnim faktorima korišćenim u tradicionalnom pristupu (2.0-3.0). Kao što je prethodno pomenuto, Evrokod 7 prednost daje postupcima koji se zasnivaju na rezultatima terenskih opita kod kojih figurišu i dopunski korelacioni faktori, čime se zapravo pravdaju usvojene niže vrednosti parcijalnih faktora za otpore.

Vrednosti parcijalnih faktora za dejstva, materijalna svojstva i otpore, kao i korelacionih faktora date su u tabelama 1 i 2.

Tabela 1. Vrednosti parcijalnih faktora za proračunske pristupe za projektovanje šipova
Table 1. Values of partial factors for design approaches for piles

Proračunski pristup	Stalna dejstva γ_G	Promenljivo dejstva γ_G	Ugao unutrašnjeg trenja γ_ϕ	Efektivna kohezija γ_c	Nedrenirana čvrstoća γ_{cu}	Nosivost baze bušeni šip γ_b	Nosivost baze pobijeni šip γ_b	Nosivost omotača bušeni šip γ_s	Nosivost omotača pobijeni šip γ_b
PP1, K1	1.35	1.50	1.00	1.00	1.00	1.25	1.00	1.15	1.00
PP1, K2	1.00	1.30	1.00	1.00	1.00	1.60	1.30	1.50	1.30
PP2	1.35	1.50	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10
PP3	1.35(1.0)	1.5(1.3)	1.25	1.25	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabela 2. Vrednosti korelacionih faktora za penetracione opite
Table 2. Values of correlation factors for penetration tests

n	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_{\text{mean},3}$	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25
$\xi_{\text{min},4}$	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08

OPIS METODA ZA PROCENU NOSIVOSTI ŠIPA

Nosivost šipa određuje se prema izrazu:

$$Q = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + q_s \cdot A_s$$

gde je Q_b nosivost baze, Q_s nosivost omotača, A_b površina baze šipa, A_s površina omotača šipa, q_b nosivost tla u nivou baze šipa, q_s trenje između omotača šipa i okolnog tla.

Tabela 3. Metode za određivanje nosivosti šipa
Table 3. Methods for determination of pile bearing capacity

Metoda	Baza	Omotač
Metoda Meyerhof-a (Meyerhof, 1976) drenirani uslovi	$q_b = c' \cdot N_c^* + K_s \cdot \sigma'_v \cdot N_q^*$ $K_s = 1 - \sin \phi'$ σ'_v vertikalni efektivni napon u nivou baze šipa N_q^* , N_c^* faktori nosivosti	$q_s = c' + K_s \cdot \sigma'_{v,SR} \cdot \tan \phi'$ $K_s = 1 - \sin \phi'$ $\sigma'_{v,SR}$ – prosečna vrednost efektivnog vertikalnog napona duž omotača
API metoda (API, 1984) nedrenirani uslovi	$q_b = C_u \cdot N_c + \sigma_v$ $N_c = 9.0$ σ_v – totalni vertikalni napon u nivou baze šipa	$q_s = \alpha \cdot C_u$ $\alpha = 1.0$ za $C_u \leq 25$ kPa $\alpha = 0.5$ za $C_u \geq 75$ kPa interpolacija za međuvrednosti
LPC-CPT (Briaud, 2013) na osnovu rezultata CPT opita	$q_b = k_c \cdot q_c \leq 15$ MPa k_c –faktor nosivosti $k_c = 0.2$ za bušene $k_c = 0.4$ za pobijene	$q_s = \alpha \cdot f_{\text{soil}} \leq f_{\text{lim}}$ $\alpha = 1.0$ za krupnozrno tlo f_{soil} – parametar trenja, zavisi od q_c i vrste tla $f_{\text{lim}} = 90$ kPa za bušene $f_{\text{lim}} = 130$ kPa za pobijene

RAČUNSKI PRIMERI

Izvršen je proračun potrebne dužine bušenog ili pobijenog šipa prečnika 600mm opterećenog na vrhu silama od stalnog i promenljivog opterećenja $G_{\text{rep}} = 900$ kN i $Q_{\text{rep}} = 300$ kN za četiri slučaja (opis u tabeli 4) prema dozvoljenoj sili (domaći pravilnik) i prema odredbama Evrokoda 7 za različite proračunske pristupe. Računski primeri su osmišljeni po ugledu na slične primere iz literature (Orr, 2005). U okviru proračuna prema domaćem pravilniku varirane su vrednosti faktora sigurnosti za ugao unutrašnjeg trenja i koheziju (primeri 1. i 2.), faktori sigurnosti za ukupnu nosivost, odnosno nosivost baze i omotača (primeri 3. i 4.) U okviru proračuna prema Evrokodu 7 varirane su vrednosti modelskog faktora za svaki proračunski pristup u intervalu 1.0 do 2.0. Za dobijene potrebne dužine šipova sračunata je granična nosivost šipa i upoređena za ukupnom nefaktorisanom silom na vrhu šipa

$F_{rep}=G_{rep}+Q_{rep}$ kako bi se dobio globalni faktor sigurnosti za svaki postupak proračuna. Globalni faktor sigurnosti računat (u daljem tekstu F_u) je kao:

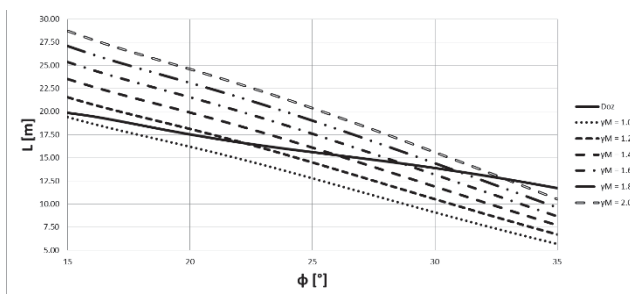
$$F_u = Q_{ult}/F_{rep}$$

gde je Q_{ult} granična nosivost šipa. U primeru 5. za proračunski pristup 2 (PP2), izvršena je analiza uticaja vrednosti ugla unutrašnjeg trenja na potrebnu dužinu šipa za različite vrednosti modelskog faktora. U primeru 5. nije uzeta u obzir kohezija. Pregled metoda korišćenih za proračun nosivosti šipova dat je u tabeli 4.

Tabela 4. Računski primeri
Table 4. Numerical examples

Primer	Opis	Metoda proračuna nosivosti šipa
1.	Podaci o tlu: $\phi' = 35^\circ$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $F_\phi = 1.2 \text{ do } 1.8$	Metoda Meyerhof-a (Meyerhof, 1976) drenirani uslovi
2.	Podaci o tlu: $\phi' = 20^\circ$, $c' = 15 \text{ kN/m}^2$ $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $F_\phi = 1.2 \text{ do } 1.8$, $F_c = 2 \text{ do } 3$	Metoda Meyerhof-a (Meyerhof, 1976) drenirani uslovi
3.	Podaci o tlu: $C_u = 100 \text{ kPa}$, $\gamma_z = 20 \text{ kN/m}^3$ $F_b = 2.5 \text{ do } 3.0$, $F_s = 1.5 \text{ do } 2.5$	API metoda (API, 1984) nedrenirani uslovi
4.	Podaci o tlu: krupnozrno tlo, $q_c = 5 \text{ Mpa}$ $F_b = 2.5 \text{ do } 3.0$, $F_s = 1.5 \text{ do } 2.5$	LPC-CPT (Briaud, 2013) na osnovu rezultata CPT opita
5.	Podaci o tlu: $\phi' = 15^\circ \text{ do } 35^\circ$, $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $F_\phi = 1.5$	Metoda Meyerhof-a (Meyerhof, 1976) drenirani uslovi

Razmatran samo PP2

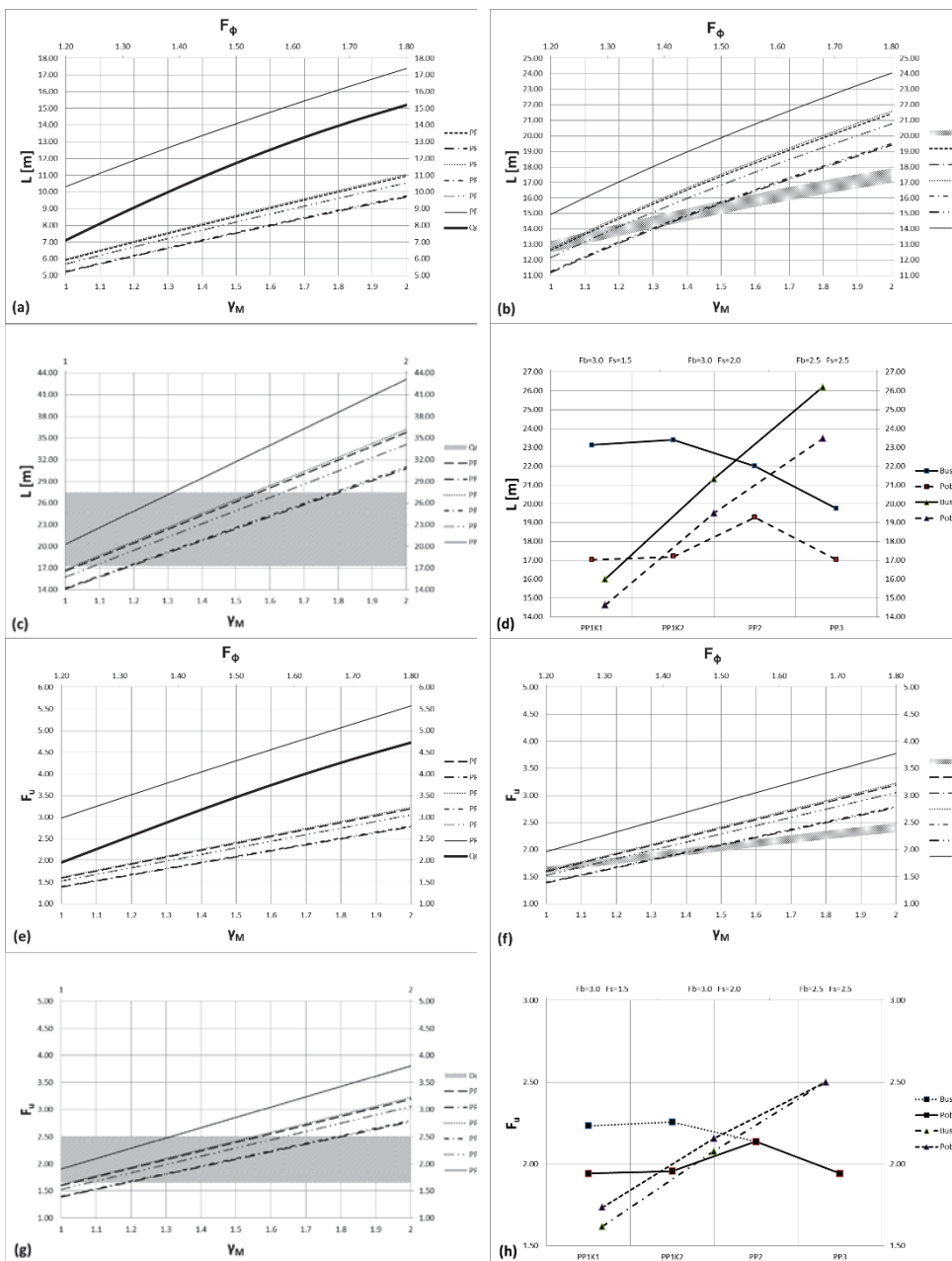


Slika 2. Zavisnost potrebne dužine šipova od izbora modelskog faktora u funkciji ugla unutrašnjeg trenja za PP2

Figure 2. Dependency of pile lengths on value of model factor for different values of soil friction angle for DA2

DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA

Ako se nosivost šipova određuje na osnovu rezultata terenskih opita –CPT opita (Slika 3 (d) i (h)), PP2 daje najveći F_u za pobijene šipove, dok PP3 daje najmanji F_u . Ovakav rezultat je donekle i očekivan uzimajući u obzir činjenicu da su za PP3 parcijalni faktori za nosivost jednaki 1.0 i zbog toga PP3 nije adekvatan za proračun šipova ako se koriste rezultati terenskih opita.



Slika 3. (a),(b),(c),(d) potrebne dužine šipova redom za primere 1.,2.,3. i 4.; (e),(f),(g),(h) ukupni faktor sigurnosti redom za primere 1.,2.,3. i 4
 Figure 3. (a),(b),(c),(d) needed pile lengths for num.examples 1.,2.,3. and 4; (e),(f),(g),(h) total safety factor for num.examples 1.,2.,3. and 4

S obzirom da PP1 za pobijene šipove daje vrednosti F_u manje od 2.0, može se zaključiti da PP2 osim što je najkonzervativniji, ujedno je i najkonzistentniji sa domaćom praksom.

Ako se nosivost šipova određuje na osnovu parametara smičuće otpornosti tla, potrebna dužina šipova i vrednost F_u zavise ne samo od izbora proračunskog pristupa, nego i od izbora vrednosti modelskog faktora. Za vrednosti $\gamma_M = 1.0$ PP3 je najkonzervativniji, dok je PP1 za pobijene šipove najmanje konzervativan. PP1 i PP2 kod krupnozrnih materijala ($\phi' = 35^\circ$) daju slične potrebne dužine šipova kao proračun prema domaćem pravilniku za vrednosti $\gamma_M \geq 1.6$, dok PP3 postiže isti efekat za vrednosti $\gamma_M \geq 1.1$ – slika 3 (a i e). Za postizanje mečovanja kod sitnozrnog tla ($\phi' = 20^\circ$ $c' = 15$ kPa) za PP1 i PP2 potrebno je da $\gamma_M \geq 1.4$, dok je za PP3 potrebno $\gamma_M \geq 1.0$ – slika 3 (b i f). Iz prethodnog sledi da vrednost ugla unutrašnjeg trenja utiče na to kolika je vrednost γ_M potrebna da bi se dobio rezultat sličan primeni domaćeg pravilnika. To se najbolje vidi na slici 1. za PP2. Za niže vrednosti ugla unutrašnjeg trenja (što odgovara sitnozrnog tlu) vrednosti $\gamma_M = 1.1$ do 1.5 daju slične vrednosti potrebne dužine šipa i F_u kao proračun prema domaćem pravilniku za $F_\phi = 1.5$. Za više vrednosti ugla unutrašnjeg trenja (što odgovara krupnozrnog tlu) vrednostima $\gamma_M = 1.6$ do preko 2.0 postižu se isti efekti.

ZAKLJUČAK

Proračunski pristup 2 za sve vrste šipova i načine određivanja nosivosti tla daje najbližnje vrednosti potrebnih dužina šipova i F_u kao proračun prema domaćem pravilniku. Na izbor modelskog faktora za odabrani proračunski pristup najviše utiče vrednost ugla unutrašnjeg trenja. Za razmatrani raspon ugla i proračunski pristup, vrednost γ_M se kreće u rasponu 1.1 do 2.0. Pošto je zbog jednostavnosti proračuna potrebno definisati jedinstvenu vrednost modelskog faktora za sve proračunske situacije, preporučuje se vrednost $\gamma_M = 1.5$ do 1.6 za proračun nosivosti šipova prema Evrokodu 7 za PP2 ako se koriste parametri smičuće otpornosti tla.

LITERATURA:

- American Petroleum Institute API.: Recommended Practise for Planning, Designing and Construction Fixed Off-shore Platforms, API, Washington D.C 1984
- Bond A., Harris A.: Decoding Eurocode 7, Taylor & Francis, 2008, ISBN 978-0-415-40948-3
- Briaud J.L.: Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils. Wiley, 2013
- Frank R.: Design of pile foundations following Eurocode 7, Proceedings XIII Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Ljubljana, 29-31 May 2006, Slovenian Geotechnical Society, pp. 577-586.
- Meyerhof G.G.: Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division Vol 102 No. GT3 (1976) 197-228
- Orr T.L.L.: Design examples for the Eurocode 7 Workshop. Proceedings of the International Workshop on the Evaluation of Eurocode 7, Trinity College, Dublin, 67-74, 2005a
- Wang J., Wang Z., Cao Z.: A Comparative Study of Pile Design Using Eurocode 7 and RBD, ISGSR 2011 - Vogt, Schuppener, Straub & Bräu (eds) - © 2011 Bundesanstalt für Wasserbau ISBN 978-3-939230-01-4