



**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.

ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ АКСИЈАЛНО ПРИТИСНУТИХ ШИПОВА ПРИМЕНОМ ДИРЕКТНИХ СРТ-РЕШЕЊА

Слободан Самардаковић, Мирољуб Самардаковић

„GeoSol“ ДОО за грађевинску геотехнику, Ншш, geosolnis@yahoo.com

РЕЗИМЕ

За примену у пракси сажето су приказана тзв. директна СРТ-решења LCPC(1982), LPC(2012) и Миловић(2018), у форми (2,3,4) чијим се увођењем у конвенционално решење (1) шипови димензионишу у погледу носивости слојевитог тла, а пакетом *GeoData2* добијају се и дијаграми носивости за жељене пречнике и дубине шипова.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: СРТ, носивост шипова.

DIMENSIONING AXIAL COMPRESSED PILES USING DIRECT CPT SOLUTIONS

ABSTRACT

For practical application, the so-called direct CPT-solutions LCPC (1982), LPC (2012) and Milovic (2018) are presented in the form (2,3,4) whose introduction into the conventional solution (1) piles are dimensioned with respect to the bearing capacity of the layered soil, and the GeoData2 package also provides load diagrams for the desired diameters and depths of the piles.

KEYWORDS: CPT, pile bearing capacity.

УВОД

У периоду од (у)скоро сто година геомеханике као афирмисане наунотехничке дисциплине, њене фазе развоја биле су везане за значајна технолошка достигнућа у том периоду. Усвајање основних конститутивних закона геотехничких материјала, потврђиваних у елементарним лабораторијским условима (Terzaghi и следбеници) пратиле су две-три деценије развоја теорије пластичности тла, која је тражила своју лабораторијску проверу, што је у наредном периоду омогућено усавршавањем лабораторијске технике (нпр. *thru* триаксијална и центрифугална испитивања и др.) а затим је технологија омогућила и усавршавање опреме за површинска и дубинска испитивања терена. Тиме су последњих деценија теренска испитивања по врстама, обиму, резултатима и примени постала доминантан извор података за креирање рачунских модела терена и примену рационалних геотехничких решења (нпр. Маупе

et al.,2009) а паралелно усавршавање рачунске технике омогућило је развој нумеричких анализа до нивоа на коме оне постају супериорне у односу на строга али поједностављена решења и могу их заменити у процесима геотехничког конструктерства (Potts,2003), што под ржава и Eurocode 7. Тако се у савременој грађевинској геотехници инжењерско одлучивање све чешће заснива пре свега на резултатима теренских испитивања и нумеричких симулација, укључујући вероватноћу ризика и мању пратњу лабораторијских испитивања и аналитичког моделирања – што се може сматрати најизраженијим у решавању задатака темељења објеката носећим шиповима.

Тражењем рационалних решења за довољно сигурно и економично темељење шиповима, некада дрвеним а данас различитих материјала и облика, који се уграђују бројним поступцима зависним од различитих опрема за уграђивање – у терен чија грађа и својства су још сложенији – дошло се до бројних типова шипова чија се класификација и пратећа рачунска решења стално проширују и допуњују, уз жељу и потребу да се за праксу рационализују. Тако, уместо раније основне поделе шипова на утиснуте (driven) и бушене (bored), актуелна је класификација носећих шипова (нпр. Prakash,Sharma,1990; Tomlinson,Woodward,2008; Fleming et al.,2009; Viggiani et al.,2012) на типове којима је тло измештено (displacement piles, генерално driven) или којима је тло замењено (replacement тј. non-displacement piles, генерално bored) а постоје и комбинације ових типова (parcial-displacement), са подгрупама за сваки тип. Како је познато, интеракција шипа и околног тла (носивост исказана граничним и дозвољеним оптерећењем у погледу лома тла, слегање и бочно померање шипа) зависи од типа, облика, димензија и крутости шипа, начина уграђивања, састава, стања и својстава тла, врсте оптерећења и др., па су бројни аутори приказали анализе са решењима (методима) за разне случајеве, која је тешко систематизовати. Анализама понашања шипова појединачно – као и сложене интеракције тла и група шипова са темељним (наглавним) конструкцијама широких или у новије време веома високих објеката – посвећене су бројне публикације, од оних које се по цитираности могу сматрати класичним (Poulos,Davis,1980) до савремених, поново оригиналних (Guo,2013), као и обимна геотехничка периодика.

Према њима, за димензионисање појединачних шипова у пракси су афирмисани приступи (i) на основу показатеља *физичко-механичких својстава* тла, одређених лаборато-ријски или корелацијама са резултатима теренских дубинских испитивања, (ii) тзв. *динамичким формулама* међузависности енергије побијања и слегања шипова, (iii) тзв. *директним* SPT, CPT или PMT решењима, преко корелација пенетрационих отпора или пресиометарских резултата са капацитетом базе и омотача шипа, и као најпоузданији (iv) на основу опита *пробних оптерећења* шипа, којима се гранично оптерећење (лома тла око шипа) одређује са дијаграма слегања, дефиниса-ним процедурама.

На основу практичних искустава, за димензионисање аксијално притиснутих шипова сматрају се најпогоднијим директна решења (iii) на основу резултата опита пенетрације (CPT, мање SPT), којима се пенетрациони отпори директно корелишу са отпором (носивошћу) тла базе шипа и отпором трења по омотачу шипа, а за проверу прорачуна примењују се опити пробног оптерећења (iv).

Сугестивне интерпретације и корелације резултата опита пенетрације нуде водећи аутори (Mayne et al., 2009) или Robertson, Cabal (2012) који за димензионисање шипова на основу CPT отпора препоручује деценијама најшире примењивано решење Bustamante, Ganeselli (1982), означено као решење LCPC (1982) према еминентној институцији (*Laboratoire Central Ponts Et Chaussées*, Paris) у којој је креирано. Наравно, актуелна су и бројна теоријско-експериментална истраживања са предлозима оптималних решења за различите специфичне случајеве. На пример, прегледан табеларни приказ савременијих решења (метода) за димензионисање шипова различитих типова на основу отпора пенетрацији (SPT и CPT) у различитим материјалима дају Viggiani и др. (2012).

За 25 шипова у Србији, Вукићевић и др. (2018) пореде 8 директних CPT решења и уз савремену статистичку обраду података налазе да резултати пробних оптерећења препоручују директно CPT решење LCPC (1982) као најпогодније за димензионисање Франки и мега-шипова у локалном кохерентном тлу.

У свесци националног часописа, посвећеној академику САНУ Душану Миловићу, овај еминентни аутор приказао је своје директно CPT решење Миловић (2018) на основу пробних оптерећења 48 различитих шипова у различитим материјалима на локацијама у Србији (7), Хрватској, Грчкој, Белгији, САД и Канади, пореди га са решењима Meyerhof (1956), Mohan, Kumar (1963) и LCPC (1982) и показује да његово рачунско решење најмање одступа од теренских резултата пробног оптерећења – са односом експерименталног и рачунског граничног оптерећења у границама 0,88-1,08 а прати га LCPC (1982) у границама 0,58-2,43.

Корисно је уочити да је после 30 година примене решења LCPC (1982) иста институција (од 2011. *Laboratoire Ponts Et Chaussées*) креирала иновирано решење LPC (2012) за одређивање граничног оптерећења различитих типова шипова у основним типовима тла (Frank, 2013; Briaud, 2013), које се сматра конзистентнијим за примену од варијанте LCPC (1982) али се у пракси тек афирмише.

За рачунску анализу геотехничких услова темељења планиране 22-етажне пословно-стамбене куле висине 92 m у Нишу (Самардаковић и др., 2019), аутори овога рада су софтверски пакет *GeoData2* (Самардаковић, 1996, 2005) за геомеханичке прорачуне стабилности и деформација тла (плитких темеља и шипова, косина и падина, потпорних конструкција од бетона, габиона и армираног тла) проширили прорачуном дијаграма за директан избор пречника и дубина бушених шипова за жељену носивост према југословенском Правилнику (1990) и према директним CPT-решењима LCPC (1982), Миловић (2018) и LPC (2012), као и за жељено слегање шипова у еластичном континууму према решењима Randolph, Wroth (1978) и Poulos, Davis (1980) – са графичким приказом међузависности дозвољене носивости, пречника и дубине шипа у слојевитом тлу, као и међузависност ових утицаја и слегања шипа у слојевитом тлу. У овом раду сажето се приказују и формално пореде поменута за праксу подобна директна CPT решења – широко афирмисано LCPC (1982), ново LPC (2012) и новопредложено Миловић (2018) – а приказују се и *GeoData2* дијаграми према овим решењима за директно димензионисање шипова великог пречника у погледу жељене носивости у слојевитом тлу, који конструктору објекта олакшавају избор и разраду рационалне варијанте решења за дубоко темељење.

ДИРЕКТНА СРТ-РЕШЕЊА LCPC(1982), МИЛОВИЋ(2018) И LPC(2012)

Истраживања показују да су директна СРТ решења супериорна у односу на конвенционалне методе за процену аксијалног капацитета шипа, пре свега зато што СРТ даје континуални профил отпора тла, донекле сличног као при утискивању шипа, на основу чега се капацитети тла у зонама базе и омотача шипа директно корелишу са пенетрационим отпорима тла врха СРТ конуса (q_c) у овим зонама, увођењем одговарајућих редукционих коефицијената због ефекта размере и пратећих утицаја – према око 35 различитих решења.

Тако се, генерално, за измерене пенетрационе отпоре тла врху СРТ конуса у зонама базе (q_{cb}) и омотача (q_{cs}) аксијално притиснутог шипа у хомогеном терену, директним корелацијама добијају изрази за гранични отпор тла по јединици површине базе шипа (q_b) и гранични отпор трењем по јединици површине омотача шипа (q_s), који су погодни за приказ, примену и поређење различитих решења за различите типове шипова у различитим 'типovima' тла.

Према наведеним симболима, за слојевити терен од $i = 2 \dots j \dots n$ слојева (или за праксу погодних $n = 10-12$ ламела), дозвољена сила осног оптерећења (V_{aj}) вертикалног шипа са базом на коти (z) појаве слоја j (могуће $j = 2 \div n$) може се изразити као

$$V_{aj} = \frac{q_{bj}A_{bj}}{F_{sb}} + \sum_{i=1}^{i=j-1} \frac{q_{si}A_{si}}{F_{ss}} \quad (1)$$

где су: A_{bj} површина базе шипа на слоју (ламели) j , A_{si} површина омотача шипа у слоју i , F_{sb} фактор сигурности у погледу лома тла испод базе, F_{ss} фактор сигурности у погледу смицања трењем по омотачу шипа (обично константа за све слојеве тла).

Решење LCPC(1982) (Bustamante, Ganeselli, 1982)

Ово решење дуже од 30 година представља главни директни СРТ метод, изведен у оквиру LCPC на основу анализе 197 опита оптерећења различитих типова шипова у разним типовима тла, па је погодан за такву примену – уз сагласност рачунских и експерименталних резултата обично оцењивану као повољну (нпр. Robertson, Cabal, 2012; Вукићевић и др., 2018; Миловић, 2018).

За пенетрациони отпор q_{cb} усваја се просечни отпор продирању СРТ конуса кроз зону ($z \pm 1,5B$) базе шипа пречника B а решење је дато за 6 типова шипова у 8 типова тла, према Табелама 1 и 2 у којима су предложени редукциони коефицијенти k_c (Табела 1) и α са дозвољеним вредностима бочног трења f_p (Табела 2), а гранични отпори тла по јединици површине базе шипа (q_b) и омотача шипа (q_s) рачунају се као

$$q_b = q_{cb}k_c \quad \text{и} \quad q_s = q_{cs}/\alpha \leq f_p \quad (2)$$

Табела 1. LCPC(1982) – коефицијенти k_c за базу шипа
Table 1. LCPC(1982) – factors k_c for pile base (Robertson, Cabal, 2012)

Nature of soil	q_c (MPa)	Factors k_c		
		Group I	Group II	
Soft clay and mud	< 1	0.4	0.5	
Moderately compact clay	1 to 5	0.35	0.45	
Silt and loose sand	≤ 5	0.4	0.5	Group I: plain bored piles; mud bored piles; micro piles (grouted under low pressure); cased bored piles; hollow auger bored piles; piers; barrettes.
Compact to stiff clay and compact silt	> 5	0.45	0.55	Group II: cast screwed piles; driven precast piles; prestressed tubular piles; driven cast piles; jacked metal piles; micropiles (small diameter piles grouted under high pressure with diameter < 250 mm); driven grouted piles [low pressure grouting]; driven metal piles; driven rammed piles; jacket concrete piles; high pressure grouted piles of large diameter.
Soft chalk	≤ 5	0.2	0.3	
Moderately compact sand and gravel	5 to 12	0.4	0.5	
Weathered to fragmented chalk	> 5	0.2	0.4	
Compact to very compact sand and gravel	> 12	0.3	0.4	

Табела 2. LCPC(1982) – коефицијенти α и највећи отпори трења по омотачу f_p
Table 2. LCPC(1982) – coefficients α and limit of shaft resistance f_p (Robertson, Cabal, 2012)

Nature of soil	q_c (MPa)	Category									
		Coefficients, α				Maximum limit of f_p (MPa)					
		I		II		I		II		III	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Soft clay and mud	< 1	30	90	90	30	0.015	0.015	0.015	0.015	0.035	
Moderately compact clay	1 to 5	40	80	40	80	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.08	≥ 0.12
Silt and loose sand	≤ 5	60	150	60	120	0.035	0.035	0.035	0.035	0.08	–
Compact to stiff clay and compact silt	> 5	60	120	60	120	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.08	≥ 0.20
Soft chalk	≤ 5	100	120	100	120	0.035	0.035	0.035	0.035	0.08	–
Moderately compact sand and gravel	5 to 12	100	200	100	200	0.08 (0.12)	0.035 (0.08)	0.08 (0.12)	0.08 (0.12)	0.12	≥ 0.20
Weathered to fragmented chalk	> 5	60	80	60	80	0.12 (0.15)	0.08 (0.12)	0.12 (0.15)	0.12 (0.15)	0.15	≥ 0.20
Compact to very compact sand and gravel	> 12	150	300	150	200	0.12 (0.15)	0.08 (0.12)	0.12 (0.15)	0.12 (0.15)	0.15	≥ 0.20

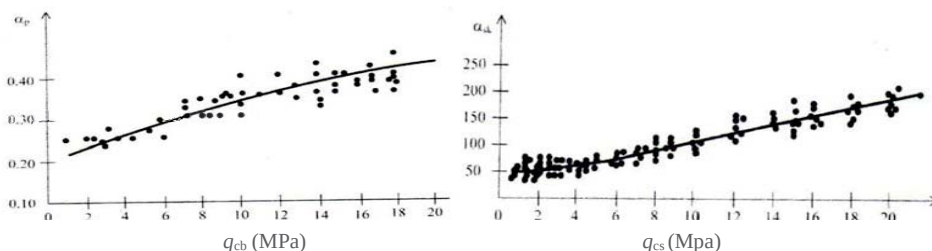
Category – IA: plain bored piles; mud bored piles; hollow auger bored piles; micropiles (grouted under low pressure); cast screwed piles; piers; barrettes. IB: cased bored piles; driven cast piles. IIA: driven precast piles; prestressed tubular piles; jacket concrete piles. IIB: driven metal piles; jacked metal piles. IIIA: driven grouted piles; driven rammed piles. IIIB: high pressure grouted piles of large diameter > 250 mm; micropiles (grouted under high pressure).
Note: Maximum limit unit skin friction, f_p ; bracket values apply to careful execution and minimum disturbance of soil due to construction.

Решење Миловић (2018)

Своје директно СРТ решење Миловић(2018) је предложио на основу пробних оптерећења 48 различитих шипова у различитим материјалима на различитим меридијанима, пореди га са напред наведеним другим решењима и показује да ово рачунско решење најмање одступа од теренских резултата пробног оптерећења – са односом експерименталног и рачунског граничног оптерећења у границама 0,88-1,08 а прати га LCPC(1982) у границама 0,58-2,43. Из предложеног произилази да је приказано решење реалније од других (са којима је поређено), да је примењиво *без обзира на типове шипова и тла* а да је за примену најједноставније, како следи.

За пенетрациони отпор q_{cb} усваја се просечни отпор СРТ конуса кроз зону испод базе шипа, решење је дато са дијаграмима редукционих коефицијената α_p и α_{sk} на Слици 1 а гранични отпори тла по јединици површине базе (q_b) и омотача (q_s) рачунају се као

$$q_b = q_{cb}\alpha_p \quad \text{и} \quad q_s = q_{cs}/\alpha_{sk} \quad (3)$$



Слика 1. Миловић(2018) – коефицијенти α_p за базу и α_{sk} за омотач шипа
Figure 1. Milovic(2018) – factors α_p for pile base и α_{sk} for shaft resistance

Према приказаном, примена овог рачунског решења је једноставнија од афирмисаног решења LCPC(1982) са којим га аутор пореди, уз налаз да је и сагласност са пробним оптерећењима шипова боља. За потребе овог чланка анализирана је сагласност редукционих коефицијената према ова два решења и уочено је да су криве Миловића нека врста линија тренда LCPC-зона за свих осам типова тла а за рачунску примену нађени су и њихови аналитички изрази.

Решење LPC(2012) (Briaud,2013)

После 30 година инструментализованог испитивања оптерећених шипова, француским стандардом AFNOR NF P94-262(2012), као националним анексом EC7, нормирано је одређивање аксијалног и трансверзалног капацитета и слегања шипова, пре свега решењима на основу опита пресиометром (LPC-PMT) и пенетрације конусом (LPC-CPT). Оба решења образлажу водећи аутори (Bustamante et al.,2009; Frank,2013) а сажети приказ за праксу даје Briaud(2013). Решење LPC(2012) – или LPC-CPT – није ограничено типом шипа нити типом тла, осим кад је отпор конусу већи од 200 kN.

За пенетрациони отпор q_{cb} усваја се просечни отпор продирању СРТ конуса кроз зону ($z+1,5B$) базе шипа пречника B а решење је дато за *11 типова шипова у 5 основних типова тла (подељених у укупно 17 група према чврстоћи/стању тла)*, према Табелама 3,4,5 и Слици 2. За тип тла класификован према Табели 3 и тип шипа у Табели 4 предложени су редукциони коефицијенти k_c за носивост базе, у Табели 5 фрикциони коефицијент α и највећа примењива вредност бочног трења f_{lim} са ознаком (Q1 до Q3) криве за коју са Сlike 2 треба очитати вредност параметра f_{soil} а гранични отпори тла по јединици површине базе шипа (q_b) и омотача шипа (q_s) рачунају се као

$$q_b = q_{cb}k_c \quad \text{и} \quad q_s = \alpha f_{soil} \leq f_{lim} \quad (4)$$

Табела 3. LPC(2012) – класификација тла за LPC(2012) решење
Table 3. LPC(2012) – soil clasification for LPC(2012) method (Briaud,2013)

SOIL TYPE	STRENGTH	PMT p_L^* (MPa)	CPT q_c (MPa)	SPT N (bpf)	Shear Strength s_u (kPa)
Clay, Silt	Very soft to soft	< 0.4	< 1		< 75
	Firm	0.4 to 1.2	1 to 2.5		75 to 150
	Stiff	1.2 to 2	2.5 to 4		150 to 300
Sand, Gravel	Very stiff	> 2	> 4		> 300
	Very loose	< 0.2	< 1.5	< 3	
	Loose	0.2 to 0.5	1.5 to 4	3 to 8	
	Medium dense	0.5 to 1	4 to 10	8 to 25	
	Dense	1 to 2	10 to 20	25 to 42	
Chalk	Very dense	> 2	> 20	42 to 58	
	Soft	< 0.7	< 5		
	Weathered	0.7 to 3	5 to 15		
Marl and Marly Limestone	Intact	> 3	> 15		
	Soft	< 1	< 5		
	Hard	1 to 4	5 to 15		
Rock	Very hard	> 4	> 5		
	Weathered	2.5 to 4			
	Fissured	> 4			

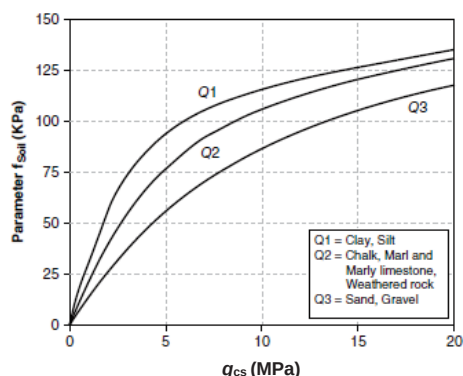
Табела 4. LPC(2012) – коефицијенти k_c за базу шипа
Table 4. LPC(2012) – factors k_c for pile base (Briaud,2013)

	Clay, Silt	Sand, Gravel	Chalk	Marl and Marly Limestone	Weathered Rock
Bored, dry	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3
Bored, mud	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3
Bored w. casing (left in place)	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3
Bored w. casing (retrieved)	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3
Driven concrete	0.45	0.4	0.4	0.4	0.4
Driven metal (closed end)	0.45	0.4	0.4	0.4	0.4
Driven metal (open end)*	0.35	0.25	0.15	0.15	0.15
Driven H pile*	0.4	0.4	0.35	0.2	0.20
Driven sheet pile*	0.35	0.15	0.15	0.15	0.15
Micropiles (single injection)	0.45	0.2	0.3	0.3	0.25
Micropiles (repeated injections)	0.45	0.2	0.3	0.3	0.25

*For vibrodriven piles, use one half of these k_c values.

Табела 5. LPC(2012) – фрикциони параметри за омотач шипа
Table 5. LPC(2012) – friction parameters for shaft resistance (Briaud,2013)

Friction curve	Clay, Silt		Sand, Gravel		Chalk		Marl and Marly Limestone		Weathered Rock	
	Q1		Q3		Q2		Q2		Q2	
	α	f_{lim} (kPa)	α	f_{lim} (kPa)	α	f_{lim} (kPa)	α	f_{lim} (kPa)	α	f_{lim} (kPa)
Bored, dry	0.55	90	0.7	90	0.8	200	1.4	170	1.5	200
Bored, mud	0.65	90	1.0	90	0.8	200	1.4	170	1.5	200
Bored w. casing (left in place)	0.35	50	0.4	50	0.25	50	0.85	90	-	-
Bored w. casing (retrieved)	0.65	90	1.0	90	0.75	170	0.13	170	-	-
Driven concrete	0.55	130	1.0	130	0.45	90	0.85	90	-	-
Driven metal (closed end)	0.4	90	0.85	90	0.2	50	0.85	90	-	-
Driven metal (open end)	0.6	90	0.5	50	0.25	50	0.95	90	0.95	90
Driven H pile	0.55	90	0.7	130	0.2	50	0.95	90	0.85	90
Driven sheet pile	0.45	90	0.55	90	0.2	50	1.25	50	1.15	90
Micropiles (single injection)	1.35	200	2.0	380	1.1	320	2.25	320	2.25	320
Micropiles (repeated injections)	1.7	200	2.65	440	1.4	440	2.9	440	2.9	500



Слика 2. LPC(2012) – бочно трење f_{soil} у зависности од q_{cs} у зони омотача шипа
Figure 2. LPC(2012) – soil friction f_{soil} vs. q_{cs} (Briaud,2013)

ПРИМЕНА ДИРЕКТНИХ СРТ-РЕШЕЊА У СЛОЈЕВИТОМ ТЛУ

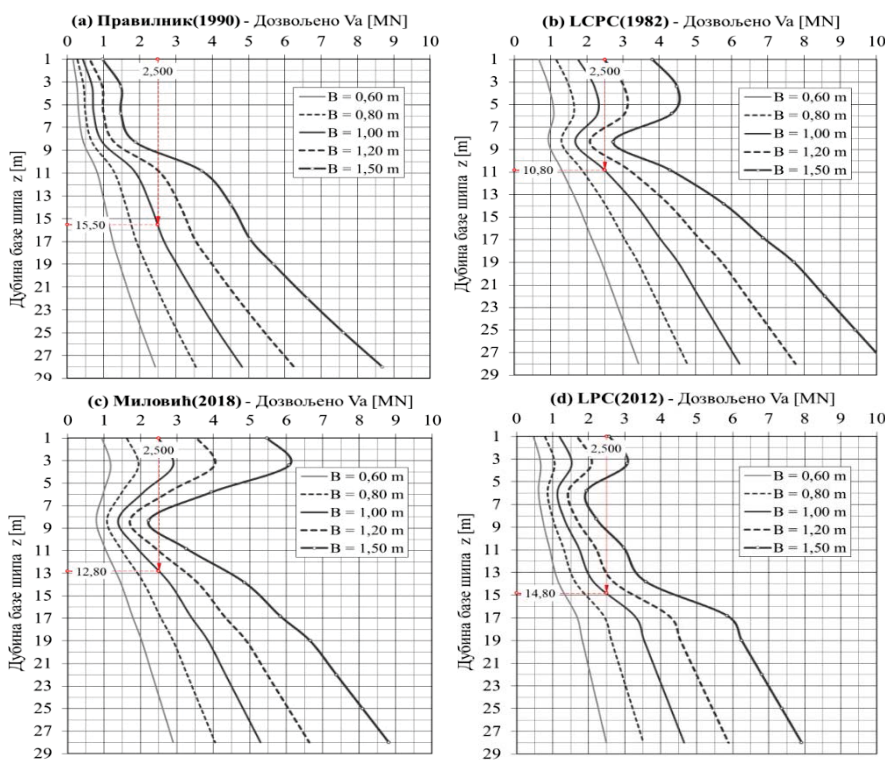
За рачунску анализу геотехничких услова темељења планиране 22-етажне пословно-стамбене куле висине 92 m у Нишу (Самардаковић и др.,2019), аутори овога рада проширили су софтверски пакет *GeoData2* (Самардаковић,1996,2005) прорачуном дијаграма за директан избор пречника и дубина бушених шипова за жељену носивост према југословенском Правилнику(1990) и према директним СРТ-решењима LCPC (1982), Миловић(2018) и LPC(2012). Рачунских 5 слојева терена до истражене дубине 30 m (Табела 6) издељено је у укупно 12 ламела а увођењем сваког од описаних решења (изрази 2-4) у општу једначину (1) аутоматизованим табеларним прорачунима добијају се дозвољене носивости (V_a) шипа са базом на у дну сваке ламеле, у функцији дубине и неколико карактеристичних пречника шипа, на основу чега се креирају и дијаграми за димензионисање шипова (Слика 3).

Потребни показатељи стања и својстава тла (q_c) у слојевима одређени су СРТ пенетрацијама до дубине до које се допрло под дејством 200 kN а наниже на основу савремених корелација са резултатима SPT и лабораторијских испитивања (Табела 6).

Табела 6. Геометрија слојева терена и својства тла у слојевима (Самардаковић и др.,2019)

Table 6. The geometry of the layers of terrain and soil properties in layers

Слој	z [m]	h [m]	γ_{ef} [kN/m ³]	c' [kPa]	φ' [°]	q_c [MPa]
1	Шљунчани јастук	1,00	11,0	0	35	20
2	Шљунак песковит	5,80	11,0	0	33	20
3	Глина песковита	10,80	10,0	25	20	3
4	Песак лапоровит	16,80	10,5	10	31	10
5	Глина лапоровита	28,00	10,5	20	28	12



Слика 3. Дијаграми за димензионисање шипова према примењеним решењима (a)-(d)

Figure 3. Diagrams for dimensioning the pile according to the applied solutions (a)-(d)

ЗАКЉУЧНЕ АПОМЕНЕ

Актуелна директна СРТ-решења сажето су приказана пре свега за практичну примену, имајући у виду ре лативно честе грубе 'прорачуне' шипова на основу недовољних SPT или СРТ резултата, без њихових неопходних интерпретација и корелација. *GeoData2* дијаграми (Слика 3) омогућавају директно димензионисање шипова у погледу жељене носивости у слојевитом тлу, што конструктору битно олакшава избор и разраду рационалне варијанте решења за дубоко темељење. Поређењем дијаграма (a-d) може се оценити да се решења за дати случај битно не разликују, као и да се према Правилнику(1990) добро слажу са LPC(2012), које се може сматрати меродавним. У пракси, поређења са модерним нумеричким решењима упућују нпр. на толерантну сагласност носивости према Правилнику (1990) и вредности растуће силе при којој дијаграм слегања шипа (*Plaxis 3D Foundation*) прелази у криволинијски део. Наведена решења, наравно, важе за шипове самце на препорученим међусобним одстојањима.

ЛИТЕРАТУРА И РЕФЕРЕНЦЕ

- AFNOR NF P94-262 (2012): *Justification des ouvrages géotechniques, Normes d'application nationale de l'Eurocode 7*, Fondations profondes, Paris.
- Briaud, J.L.(2013): *Geotechnical engineering: unsaturated and saturated soils*, John Wiley & Sons, NY.
- Bustamante,M.,Gianeselli,L.(1982): Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT, *Proc. of the 2nd Europ. Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, pp.493-500.
- Bustamante,M.,Gambin,M.&Gianeselli,M.(2009): Pile design at failure using the Ménard pressuremeter: an up-date, *Proc. of the Int. Foundation Congress and Equipment Expo'09*, Orlando, Florida.
- Fleming,K. et al.(2009): *Piling Engineering*,Taylor&Francis, London, p.30.pp.578-579.
- Frank, R. (2013). *Pressuremeter testing and foundation design*, GT Seminar,Georgia Tech, Atlanta.
- Guo,W.D.(2013): *Theory and Practice of Pile Foundations*, CRC Press, London.
- Mayne,P.W. et al.(2009): Geomaterial behavior and testing, *Proceedings of the 17th Int.Conf. on SMGE* (Hamza,M. et al., eds.), Vol.4, Alexandria, IOS Press, Rotterdam, p.2826.
- Milović,D.(2018): Nosivost šipova – teorijske i terenske metode, *Građevinski materijali i konstrukcije*, 61, 1, str.15-26.
- Potts,D.M.(2003): Numerical analysis – a virtual dream or practical reality?, *Geotechnique*, 53, 6, London, pp.535-573.
- Poulos,H.G.,Davis,E.H.(1980): *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley&Sons, New York.
- Prakash,S.,Sharma,H.D.(1990): *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley, NY, p.36.
- Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, *Sl. list SFRJ*, br.15/1990.
- Randolph,M.F.,Wroth,C.P.(1978): Analysis of deformation of vertically loaded piles, *Journal Geot.Eng. Division*, ASCE, Vol.104, GT12, pp.1465-1488.
- Robertson,P:K.,Cabal,K.L.(2012): *Guide to CPT for Geotechnical Engineering*, Gregg Drilling & Testing Inc., Signal Hill, California.
- Samardaković,M.(1996): Geomehanički programski sistemi *GeoData1* i *GeoData2*, *Zbornik radova Međunarodnog naučnog skupa Pravci razvoja geotehnike*, RGF, Beograd, str.395-404.
- Samardaković,M.(2005): Dimenzionisanje osno opterećenog šipa u višeslojnom tlu, *Zbornik radova savetovanja „Geotehnički aspekti građevinarstva“*, SGIT SCG, Kopaonik, str.295-300.
- Samardaković,M. и др.(2019): *Geotehnički uslovi izgradnje stambenih i poslovnih objekata br.33-36 kompleksa "Novi Niš" na KP 6350/1 KO Niš-Bubanj*, GeoSol DOO, Niš, 249 strana.
- Tomlinson,M.,Woodward,J.(2008): *Pile Design and Costruction Practice*, Taylor&Francis, pp.10-11.
- Viggiani,C. et al.(2012): *Piles and Pile Foundations*, Spon Press, London, p.13.
- Vukićević,M. et al.(2018): Evaluation of methods for predicting axial capacity of jacked-in and driven piles in cohesive soils, *Građevinar*, 70, 8, Zagreb, pp.685-693.