

Samardaković, M. (2005): Dimenzionisanje osno opterećenog šipa u višeslojnom tlu, *Zbornik radova naučno-stručnog savetovanja „Geotehnički aspekti građevinarstva“*, SGIT SCG i DMTG SCG, Kopaonik, str. 295-300.

DIMENZIONISANJE OSNO OPTEREĆENOG ŠIPA U VIŠESLOJNOM TLU

Miroljub Samardaković*

*Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, A. Medvedeva 14, Niš,
msam@EUnet.yu

REZIME: Za potrebe dubokog temeljenja, npr. mostova, dubina i debljina šipova najčešće se određuju na osnovu graničnog stanja loma tla pod vertikalnim opterećenjem, proračunom smičućeg otpora po omotaču i reakcije tla ispod baze šipa. Oni zavise od svojstava tla i šipa i naročito od načina i uslova njegovog izvođenja, što se u proračun uvodi odgovarajućim izborom pojedinih parametara. U radu su prikazani programi sa dijagramima pogodnim za dimenzionisanje šipova u dvoslojnom i višeslojnom tlu na osnovu vertikalnog opterećenja dozvoljenog prema važećem Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (1990). Programi su deo autorovog programskog sistema *GeoData2* za geomehaničke proračune, koji se godinama uspešno primenjuje u praksi.

KLJUČNE REČI: Šipovi, nosivost, dimenzionisanje, softver.

DESIGN OF AXIALLY LOADED PILES IN LAYERED SOILS

ABSTRACT: The depth and dimensions of piles for the deep foundations of, e.g. bridges, are most frequently determined on the basis of the soil failure limit state under the vertical load, through the calculation of the pile skin friction and basis soil resistance. Both of them depend on the properties of the soil and the pile and on the ways and conditions of its construction, which has been introduced into the calculation by the appropriate choice of certain parameters. The paper presents the programs with diagrams suitable for pile dimensioning in two-layered and multi-layered soil on the basis of the permissible vertical load according to the standing Code on technical norms for civil engineering structures foundation (1990). The programs are a part of the author's program system *GeoData2* for geomechanical calculation, which has been successfully used in practice for years.

KEYWORDS: Piles, bearing capacity, design, software.

UVOD

U stručnom žargonu, pod *dimenzionisanjem* šipa podrazumeva se određivanje njegove pogodne dubine i potrebnog preseka za očekivano opterećenje a pod *proračunom* određivanje merodavnih statičkih uticaja i dimenzionisanje armature (ako je šip armiranobetonski). Rešavanje oba dela ovoga jedinstvenog zadatka zavisi od poznavanja *interakcije* opterećenog šipa i datog tla, kojom treba da bude ostvarena – prema terminima EC7 – dovoljna sigurnost u pogledu graničnog stanja *loma* (šipa i tla) i graničnog stanja *upotrebljivosti* (deformacija, pomeranja) šipova sa objektom. Interakcija će, naravno, zavisiti od vrste, veličine i trajanja opterećenja, od traženih dimenzija i krutosti šipa, od

građe, stanja i svojstava terena datog šipa (dela sredine koji je u interakciji), od načina izvođenja šipa, sadejstva susednih šipova u grupi itd., što zadatak čini bitno složenijim od dimenzionisanja plitkih temeljnih ploča i greda, odakle potiču teorijske postavke računskih rešenja.

Računski (u literaturi nazvan analitički ili statički) način dimenzionisanja šipa svodi se na geomehaničke proračune smičućeg otpora po omotaču i otpora tla ispod baze šipa, pri čemu je od osnovnog značaja što realniji izbor računskih pokazatelja svojstava tla i interakcije sa šipom, zbog čega ovaj način dimenzionisanja nije najpouzdaniji ali je kod nas najčešći, zadat i važećim domaćim Pravilnikom [9]. Ovaj način je najpodesniji za tzv. *bušene* šipove jer se betoniraju u bušotinama-otkopima i najčešće znatno manje menjaju stanje okolnog tla pa izbor računskih parametara može biti realniji nego za šipove koji se *utiskuju* ili *ugrađuju kombinovano*^{*)}.

Zbog složenosti zadatka u opštem slučaju, savremena naučna i stručna periodika obiluje radovima sa analitičkim rešenjima i dijagramima za analizu različitih uticaja na šip i grupu šipova u različitim vrstama tla, najčešće za uticaje horizontalnog opterećenja, pomeranja tla i sl. (npr. [6]).

U domaćoj praksi konstrukterima je, uz primenu najsavremenijih kompjuterskih programa za analizu uticaja i dimenzionisanje konstrukcije (npr. mosta), još uvek blisko dimenzionisanje šipova ‘pešice’ – čak i za najjednostavniji slučaj vertikalno opterećenog vertikalnog šipa – verovatno zato što se time zalazi u domen geotehničkih konstrukcija čija računska analiza zahteva (a) odgovarajuću specijalnost, kao i (b) raspolaganje odgovarajućim geotehničkim podlogama projekta (što najčešće nije slučaj kada ih nisu uradili autori pod (a))^{**)} .

Za potrebe izrade geotehničkih podloga iz kojih će konstrukter moći da izabere pogodan prečnik i dubinu šipa za naknadno dobijeno vertikalno opterećenje, autor je sačinio programe čiji se rezultati prikazuju u obliku dijagrama takve namene, kako je opisano u ovome radu. Smičući otpor tla po omotaču i otpor ispod baze šipa računaju se prema rešenju navedenom u čl.145-152 Pravilnika [9], uz izbor računskih parametara u skladu sa savremenim naučnim saznanjima.

Imajući u vidu tipične profile terena sa aluvijalnim nanosom preko moćne podine, programi su urađeni za dvoslojno tlo (sa nadslojem i površinskim opterećenjem, npr. od nasipa uz obalni stub mosta) i za višeslojno tlo, i korisno su korišćeni za izradu geotehničkih podloga većeg broja projekata, pre svega mostova [11].

Programi su jednostavni za primenu i otvoreni za izmene i dopune novijim saznanjima i korelacijama – urađeni u Microsoft Excel proširenom korisničkim funkcijama i procedurama programskog jezika VBA (Visual Basic for Application) – i predstavljaju deo autorovog programskog sistema *GeoData2* (1993-2005) za proračune stabilnosti i deformacija tla plitkih temelja i šipova, potpornih konstrukcija i kosina/padina, koji sa *GeoData1* (za obradu i prikaz rezultata terenskih i laboratorijskih geomehničkih ispitivanja) pokriva rešavanje skoro svih zadataka primenjene Mehanike tla [10]. Može se uočiti da baš takav softver poslednjih godina nude i vodeći proizvođači laboratorijske opreme (Wykeham Farrance, GDS i dr.) a okreću mu se i autori programa za konvencionalne ali i savremenije geomehničke proračune, npr. [1], [2], [3].

^{*)} U bogatoj literaturi o projektovanju i izvođenju raznih vrsta pojedinačnih i šipova u grupi, za razne namene u osnovnim vrstama tla, koja se intenzivno obogaćuje novim radovima i za praksu pogodnim dijagramima, nezaobilazni su sintetički radovi o plitkim temeljima [13], [14] i šipovima [15] prof. A.S.Vesića koji se iz naših krajeva vinuo u USA do svetskih visina, gde poslednjih decenija jednu od vodećih uloga ima Poulos [6], [7]. Veoma instruktivne su knjige [4], [12], [8] a za sagledavanje principa izvođenja i projektovanja na osnovu novijih rezultata npr. [3].

^{**)} Značajan pozitivan pomak učinjen je uvođenjem odgovarajućih licenci IKS prema Zakonu o planiranju i izgradnji (2003) ali još uvek formalno jer se, iz obimnog iskustva autora, Zakon u praksi izrade geotehničkih podloga najčešće ne sprovodi (programe geotehničkih istraživanja i geotehničke proračune rade izvođači bez licence projektanta a konstrukteri, IKS i organi državne i lokalne uprave to tolerišu).

PRIKAZ PROGRAMA PREMA REŠENJU U PRAVILNIKU (1990)

Prema rešenju i detaljima navedenim u čl. 145-152 Pravilnika [9], kako je poznato, za odabrane veličine pokazatelja svojstava tla i parcijalnih faktora sigurnosti može se sračunati dozvoljeno opterećenje (V_a) u pogledu loma tla pod dejstvom osnovnog opterećenog šipa, iskazano preko $V_a = Q_s + Q_b$ kao zbir mobilisanih delova (Q_s) sile smicanja po omotaču i (Q_b) sile loma tla baze šipa, bez uvođenja težine šipa u analizu. Rešenje važi za homogeno tlo pa se za odabranu silu $V = V_a$ i prečnik (D) kružnog poprečnog preseka šipa može odrediti potrebna dubina (h) šipa, iskazana implicitno. Na osnovu toga, sačinjenim programima dobijaju se dijagrami za dimenzionisanje ovakvih šipova u dvoslojnom tlu (Sl.1) i višeslojnom tlu (Sl.2) sa čestim nadslojem (visine h_0) i površinskim opterećenjem (p), kako sledi.

Šip u dvoslojnom tlu. Prema oznakama na Sl.1, za poznatu debljinu (h_1) gornjeg sloja i odabrane pokazatelje svojstava tla i faktore sigurnosti, dozvoljeno opterećenje šipa u pogledu loma tla zavisi od prečnika (D) i dubine (h) šipa u donjem sloju kao

$$V_a = Q_{s1}(D, h_1) + Q_s(D, h) + Q_b(D, h) = V_a(D, h)$$

odakle se za pogodne prečnike šipa dobijaju dijagrami V_a (otpor baze i ukupan mobilisani otpor) u zavisnosti od dubine šipa u baznom sloju, kao na Sl.1.

Šip u višeslojnom tlu. Prema Sl.2, u sistemu slojeva $i = 1, \dots, j, \dots, n$ dubina (z_j) na dnu sloja j i dozvoljeno opterećenje (V_{aj}) šipa sa bazom na toj dubini su

$$z_j = \sum_{i=1}^{j-1} h_i \quad V_{aj} = \sum_{i=1}^{j-1} Q_{si}(D, h_i) + Q_{bj}(D, z_j) = V_{aj}(D, z_j)$$

odakle se za odabrani prečnik šipa dobija dijagram potrebne dubine (z) za željeno $V = V_a$, kao na Sl.2.

Računski profil terena: B2

Opterećenje na površini

p [kPa]	0
-----------	---

Površinski sloj (Nasip)

h_0 [m]	1,00
γ [kN/m ³]	19,00

Srednji sloj (2', 3: Šljunkovita glina)

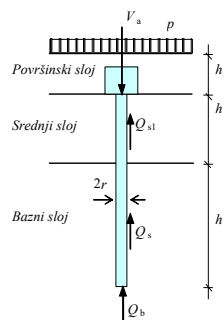
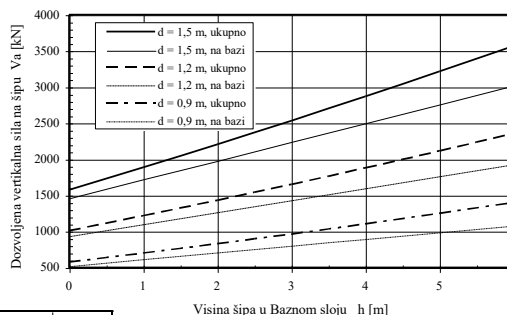
h1 [m]	4,65					
γ [kN/m³]	19,50					
c [kPa]	10					
φ [°]	21					
a [kPa]	0	Fsa	2,5	a m [kPa]	0	
δ [°]	10	Fsδ	1,5	δm [°]	6,7	
OCR	1	Kos1	0,642			

Bazni sloj (4: Dezintegrirani škriljac)

γ [kN/m ³]	21.00						
c [kPa]	0	Fsc	2,5	c_m [kPa]	0		
ϕ [°]	30	F ϕ	1,5	ϕ_m [°]	21,1	N γ	4
a [kPa]	0	Fsa	2,5	a_m [kPa]	0	Nq	14
δ [°]	15	Fs δ	1,5	δ_m [°]	10,1	Nc	80
σ'_p [kPa]							
OCRb	1	Kob	0,500				
OCRs	1	Kos	0,500				

Presek šipa

d [m]	0,90	1,20	1,50
$r = d/2$ [m]	0,45	0,60	0,75
A [m ²]	0,64	1,13	1,77
O [m]	2,83	3,77	4,71

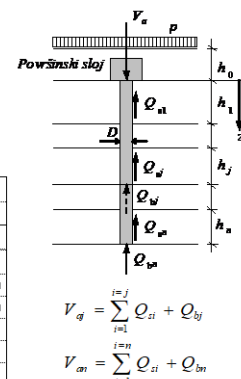


Sl.1. Primer dimenzionisanja šipa u dvoslojnom tlu sa nasipom
Fig.1. Designing of the pile in two-layered soils with embankment

PRORAČUN DOZVOLJENOG VERTIKALNOG OPTEREĆENJA 'BUŠENOG' ŠIPA KRUŽNE OSNOVE
 Prema Pravilniku (Sl. list SFRJ 15/1990), geomehantički programski sistem GeoData2 (v.0411, M. Sam.)

Šip: **Utežištu stuba 3** Opterećenje pored vrha šipa Profil terena
 Kota vrha: **190,40** m n.v. $p = 0$ kPa Istražna bušotina: **B3 (XI 2004)**
 Prečnik $D = 1,50$ m srednje $h_0 = 2,80$ m Sadašnja kota terena: **194,61** m n.v.
 $F_{sc} = 2,5$ $\gamma_0 = 11,0$ kN/m³ Kota NPV: **193,01** m n.v.
 $F_{sq} = 1,5$ $p + \gamma_0 h_0 = 30,8$ kPa Dubina NPV: **1,60** m

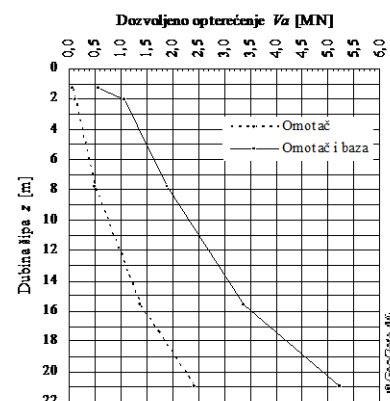
Sloj	D.kota	z	h	γ_{ef}	c'	φ'	c_m	φ_m	$a = 0,8c$		$\delta = 0,8\varphi$		c_p'	q'	σ_{v0}'	OCR	k_0
									a	δ	a_m	δ_m					
1 G' Glina lapor.	189,11	1,29	1,29	11,0	18	22	7,2	15,1	14,4	17,6	5,8	11,9	105	45	38	2,77	1,041
2 P Pesak	188,31	2,09	0,80	11,0	0	28	0,0	19,5	0,0	22,4	0,0	15,4	0	54	49	1	0,531
3 P1 Pesak lapor	182,61	7,79	5,70	11,0	5	30	2,0	21,1	4,0	24,0	1,6	16,5	0	116	85	1	0,500
4 P2 Pesak	174,81	15,59	7,80	11,0	0	30	0,0	21,1	0,0	24,0	0,0	16,5	0	202	159	1	0,500
5 GL Glinac	169,40	21,00	5,41	21,0	18	24	7,2	16,5	14,4	19,2	5,8	13,1	103	316	259	1	0,593
6 GL Glinac	169,40	21,00	0,00	21,0	18	24	7,2	16,5	14,4	19,2	5,8	13,1	103	316	316	1	0,593



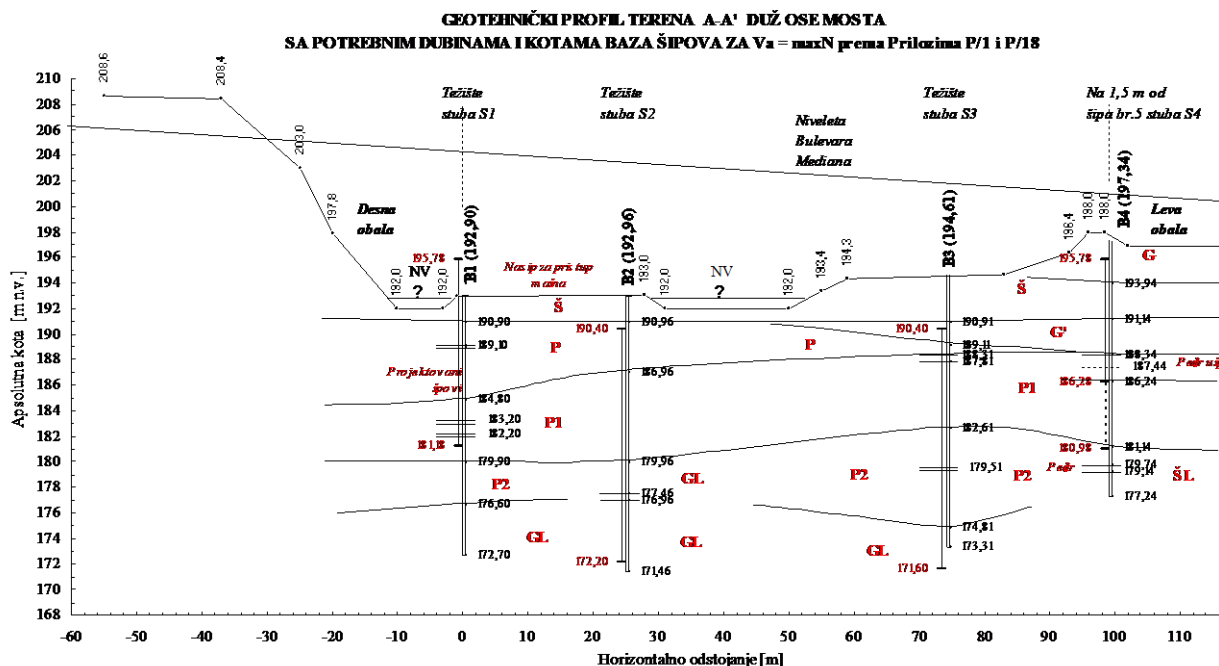
$$V_q = \sum_{i=1}^n Q_{qi} + Q_{qn}$$

$$V_{qn} = \sum_{i=1}^n Q_{qi} + Q_{qn}$$

Prema navodu konstruktora, za šipove stuba S3 maxN [kN] = 5017																
Sloj		Dkota	Dubina	Deblj.	Po omotaču u sloja				Za bazu šipa na dnu sloja					Svega		
		sloja	z	h	p _s	A _s	Q _s	? Q _s	N _q	N _q	N _α	q _s	A _t		Q _t	V _e
R.br.	Opis	m	m	m	kPa	m ²	kN	? kN	N _q	1	1	N _α	kPa	m ²	kN	kN
1	G' Glina lapor.	189,11	1,29	1,29	14,1	6,08	86	86	2,8	10,6	67	276	1,77	488	573	
2	P Pesak	188,31	2,09	0,80	7,2	3,77	27	113	3,6	13,2	82	549	1,77	969	1082	
3	P1 Pesak lapor	182,61	7,79	5,70	14,24	26,85	382	495	3,6	13,2	82	799	1,77	1410	1905	
4	P2 Pesak	174,81	15,59	7,80	23,66	36,74	869	1364	1,7	6,6	45,2	1144	1,77	2021	3385	
5	GL Glinac	169,40	21,00	5,41	41,45	25,48	1056	2420	1,7	6,6	45,2	1589	1,77	2807	5227	
6	GL Glinac															



Sl.2. Primer dimenzionisanja šipa u višeslojnom tlu sa nasipom
 Fig.2. Designing of the pile in multi-layered soils with embankment



Sl.3. Primer sa predlogom dimenzionisanih šipova za most na višeslojnom tlu
 Fig.3. Designing of piles for a bridge on the multi-layered soils

Na Sl.3 dat je izvod iz elaborata sa geotehničkim uslovima temeljenja većeg mosta (dužine 99,20 m, na četiri stuba, u izgradnji preko reke Nišave na Bulevaru “Mediana” u Nišu) sa profilom terena i predloženim dubinama bušenih šipova velikog*) prečnika (120 i 150 cm) za dostavljena opterećenja.

Programi su opšteg računskog tipa, kakvo je i rešenje prema Pravilniku, i mogu se primenjivati za sve grupe tla ma da se u literaturi za krupnozrna i sitnozrna predlažu odgovarajuća varijantna rešenja. Od najvećeg značaja za realnost proračuna je izbor računskih parametara tla i interakcije šipa i tla, naročito zavisnih od načina izrade bušotine/iskopa i ugrađivanja betona kojim se vrši zamena iskopanog tla, od bočnog pomeranja i sleganja tla i/ili šipa, blizine susednih šipova ili objekata i dr., pa se za ozbiljnije analize i složenija opterećenja mora raditi primenom kompleksnih programa sa nelinearnim modelima oba materijala i savremenim numeričkim metodama (FEM, BEM).

Kao i za plitke temelje, parametri čvrstoće treba da budu procenjeni za tlo zahvaćeno zonom smicanja oko šipa, koja se (određena klasičnim numeričkim rešavanjem sistema osnovnih diferencijalnih jednačina metodom karakteristika za osno opterećenje šipa u krutoplastičnom tlu) pruža do z_{fb} ispod baze šipa, z_{fu} iznad baze i x_f pored šipa (izvedeno prema [5]):

$$z_{fb} = \frac{D}{2} \frac{\cos \varphi}{\cos(\pi/4 + \varphi/2)} \exp(\pi/4 + \varphi/2) \tan \varphi$$

$$z_{fu} = D \tan(\pi/4 + \varphi/2) \exp(\pi \tan \varphi)$$

$$x_f = \frac{D}{2} \frac{\cos \varphi}{\cos(\pi/4 + \varphi/2)} \exp(3\pi/4 + \varphi/2) \tan \varphi$$

Za povratnu (back) analizu i istraživanje pojedinih uticaja moguće je variranje pojedinih ulaznih parametara, pri čemu se u tabeli i dijagramu na istoj strani odmah vidi područje i veličina takvog uticaja (npr. bočna adhezija a i ugao kontaktnog trenja δ mogu se zadati se u procentu od c i φ).

ZAKLJUČAK

Prikazani programi za dimenzionisanje osno opterećenih šipova na osnovu dozvoljenog statičkog opterećenja u pogledu loma tla prema domaćem Pravilniku [9] sačinjeni su za uobičajene računske profile dvoslojnog i višeslojnog terena i pogodni su za izradu geotehničkih podloga jer se iz dobijenih dijagrama za odabrane uobičajene prečnike šipa (određene raspoložućom opremom izvođača) i za projektom naknadno zadata opterećenja mogu odrediti potrebne dubine šipa. Ograničenja rezultata određena su, naravno, pretpostavkama i aproksimacijama uvedenim u primenjenu metodu proračuna određenu Pravilnikom. Variranjem pojedinih ulaznih parametara može se numerički i na dijagramu analizirati njihov uticaj na rezultate proračuna, što je česta potreba autora podloga i konstruktora.

Programi su deo autorovog programskog sistema *GeoData1&2* [10] za rešavanje zadataka primenjene Mehanike tla – sva standardna geomehnička ispitivanja i geomehnički proračuni za plitke temelje i šipove, potporne konstrukcije i kosine/padine – koji se godinama obimno i uspešno primenjuje u praksi, pre svega za izradu geotehničkih podloga i projektovanje geotehničkih konstrukcija. Programi su otvoreni za izmene i dopune, što se povremeno (1993-2005) čini u skladu sa potrebama u praksi i novijim saznanjima. Tako će se raditi na proširenju programa specifičnim klasičnim rešenjima za sleganje šipa, graničnu dubinu krutog horizontalno opterećenog šipa i horizontalno opterećenje loma tla, kao i rasporeda horizontalnih reakcija, veličina maksimalnih uticaja i horizontalno pomeranje vrha šipa – dok materijalni uslovi ne omoguće regularnu primenu znatno moćnijih profesionalnih programa (npr. Plaxis i dr.).

*) U pogledu poprečnog preseka šipovi se klasifikuju [4] kao mikro-šipovi sa kružnim presekom prečnika do 15 cm, mini-šipovi prečnika 15-25 cm, šipovi malog prečnika 30-60 cm i šipovi velikog prečnika > 60 cm.

REFERENCE

- [1] Bardet, J.-P. (1997): *Experimental Soil Mechanics*, Prentice Hall, New Jersey.
- [2] Coduto, D.P. (1999): *Geotechnical Engineering - Principles and Practices*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [3] Coduto, D.P. (2001): *Foundation Design – Principles and Practices*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [4] Fleming, W.G.K. et al. (1985): *Piling Engineering*, Surrey University Press, Glasgow, 55, 79-80.
- [5] Kézdi, Á. (1962): *Erddrucktheorien*, Springer-Verlag, Berlin, 104-105.
- [6] Poulos, H.G. (2003): MS4 State of the Art Report: Effects of urban construction on existing pile foundations, *Proceedings XIII ECSMGE* (Vaniček et al., editors), Vol.3, Prague, 401-424.
- [7] Poulos, H.G., Davis, E.H. (1980): *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley, New York.
- [8] Prakash, S., Sharma, H.D. (1990): *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley, New York.
- [9] *** (1990): *Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata*, Sl. list SFRJ, br.15, Beograd, 653-667.
- [10] Samardaković, M. (1996): Geomehanički programski sistemi *GeoData1* i *GeoData2*, *Zbornik radova Međunarodnog naučnog skupa Pravci razvoja geotehnike* (Beograd, 1996), Rudarsko-geološki fakultet i Sava centar, Beograd, str.395-404.
- [11] Samardaković, M. (2005): Neka iskustva u određivanju geotehničkih uslova temeljenja šesnaest mostova, *Nauka+praksa*, br.8, Građevinsko-arhitektonski fakultet - Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Niš, u štampi.
- [12] Tomlinson, M.J. (2001): *Foundation Design and Construction*, 7th edition, Pearson Education, Harlow (England).
- [13] Vesić, A.S. (1973): Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations, *Journal SMFD*, ASCE, Vol.99, SM 1, New York, 45-73.
- [14] Vesić, A.S. (1975): Bearing Capacity of Shallow Foundations, Chap.3 u *Foundation Engineering Handbook* (Winterkorn, H.F., Fang, H.-Y., editors), Van Nostrand Reinhold Comp., New York, 121-147.
- [15] Vesić, A.S. (1977): *Design of Pile Foundations*, Transportation Research Board, Washington.