



I REGIONALNI KONGRES STUDENATA GEOTEHNOLOŠKIH FAKULTETA

UNIVERZITET U TUZLI
RUDARSKO-GEOLOŠKO-GRADJEVINSKI
FAKULTET TUZLA



ISSN 1512-7044

ZBORNİK RADOVA

I REGIONALNOG KONGRESA STUDENATA GEOTEHNOLOŠKIH FAKULTETA
Tuzla, 26. – 29.04.2007. godine

Posebno izdanje Zbornika radova
Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta Tuzla
Broj XXXIV

TUZLA, 2007

SAVREMENE METODE UTVRĐIVANJA GEOTEHNIČKIH USLOVA TEMELJENJA I PRORAČUNA TEMELJNIH KONSTRUKCIJA NOVOIZGRAĐENIH MOSTOVA NA PODRUČJU GRADA NIŠA

**Verka Prolović¹ Elefterija Zlatanović² Iva Despotović³
Nenad Ristić³ Saša Spasić³ Bojan Marković³**

Rezime: U periodu od nekoliko poslednjih godina grad Niš je dobio više novih mostova na čijem projektovanju i izvođenju su zapaženi, samostalni i kreativan doprinos dali stručnjaci Instituta za građevinarstvo i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu. U radu je, u prvom delu, prikazana metodologija pripreme geotehničkih podloga sa sadržajem neophodnih istraživanja i ispitivanja i primenom razvijenih programskih sistema Geo Data 1 i 2 u cilju utvrđivanja geotehničkih uslova temeljenja predmetnih mostova. Drugi deo rada sadrži pregled metoda proračuna uz odgovarajuće modeliranje u sistemu temeljna konstrukcija-tlo i analizu pri tom dobijenih rezultata.

Ključne reči: mostovi, geotehnička istraživanja, temelji mostova, bušeni šipovi, metode proračuna.

MODERN METHODS OF DETERMINATION OF GEOTECHNICAL CONDITIONS FOR FOUNDATION CONSTRUCTION AND FOUNDATION STRUCTURES DESIGN OF THE NEWLY BUILT BRIDGES IN THE AREA OF THE CITY OF NIŠ

Abstract: In the previous several years, the city Niš obtained several new bridges, whose design and construction was notably contributed by the independent and creative work of the professional of the Institute of Civil Engineering and Architecture of the Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš. The paper, in its part, presents the methodology of preparation of geotechnical layouts with the necessary investigations and examinations with the application of developed software systems Geo Data 1 and 2 with the aim of determination of geotechnical conditions for foundation construction of the mentioned bridges. The second part of paper contains the list and review of the methods of design with the corresponding modeling in the system foundation structure-soil and the analysis of the obtained results.

Key words: bridges, geotechnical exploration, bridges foundation, drilled piles, design methods.

¹ Full professor of the Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

² Graduate Engineer of Civil Engineering, teaching assistant of the Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

³ Student of the Faculty of Civil Engineering and Architecture of Niš

1.Uvod

Rekom Nišavom i njenom pritokom Gabrovačkom rekom jezgro grada Niša je podeljeno na tri dela. Severni deo grada, na desnoj obali Nišave, je imao veoma otežanu komunikaciju sa ostalim delovima grada. Godinama je i pešački i drumski saobraćaj bio usmeren ka mostovima u samom centru grada (most preko Nišave kod Tvrđave i most Mladosti preko Nišave). Preostali deo grada na levoj obali Nišave, centralni deo grada, podeljen na dva dela Gabrovačkom rekom, je imao lakšu komunikaciju jer je to mnogo manja reka u odnosu na Nišavu. Međutim, i tu je godinama glavna veza bila preko mostova u blizini Čele Kule.

Kada su sredinom 80-tih godina stvorene mogućnosti za početak radova na uređenju korita Nišave i kada je uveliko počela gradnja novih velikih gradskih saobraćajnica, planirana je i gradnja više novih mostova. Prvo je izgrađen most Proleterska preko reke Nišave, a zatim nekoliko mostova preko Gabrovačke reke.

Mostovi građeni preko Nišave u nekoliko poslednjih godina, koji su i predmet razmatranja u ovom radu (most na bulevaru Mediana, pešački viseći most kod Gradske toplane), građeni su na uzvodnom delu reke Nišave gde se i grad širio sa ciljem povezivanja njegovih delova na levoj i desnoj obali.

Značajan doprinos u projektovanju i izvođenju navedenih mostova dali su stručnjaci Instituta za građevinarstvo i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, posebno sa Odeljenja za konstrukcije, građevinsku geotehniku i ispitivanje konstrukcija.

Rad ima za cilj u prvom redu da istakne značaj i problematiku projektovanja i proračuna donjeg stroja novoizgrađenih mostova na području grada Niša, sa prikazom savremene metodologije pripreme geotehničkih podloga i metoda proračuna za usvojena rešenja.



Sl 1. Plan grada Niša sa naznačenim pložajima postojećih (p) i novoizgrađenih (n) mostova

2.Izrada geotehničkih podloga

Projektovanje temelja je veoma složen problem koji za uspešno rešavanje zahteva posmatranje uzajamnog dejstva konstrukcije temelja i tla, odnosno podloge ispod temelja. To dalje podrazumeva prikupljanje niza relevantnih podataka, njihovo proučavanje i razvrstavanje u grupe koje će nam činiti osnovu za ispravno projektovanje temelja. U sklopu ukupne tehničke dokumentacije, koja se odnosi na projektovanje temelja, moraju se naći: geodetske, geotehničke, geološke, seizmološke i hidrogeološke podloge.

Geotehničke podloge za projektovanje i izvođenje svih važnijih građevinskih objekata, što podrazumeva i mostove posebno, rade se u cilju utvrđivanja geotehničkih uslova izgradnje i eksploatacije objekata. Zadatak je određivanje građe (sastava i sklopa), stanja i svojstva terena i procene njegovog ponašanja kao dela sredine u kojoj će interakcija sa objektom i određenim specifičnim radovima biti od značaja za stabilnost, funkcionalnost, veličinu deformacija, izgled i ekonomičnost objekta.

Dugogodišnja praksa i iskustvo na obimnim istraživanjima za potrebe izgradnje većeg broja mostova i ostalih objekata [11] ostvarenih u okviru Odeljenja za geotehniku i Laboratorije za geotehniku Građevinsko-arhitektonskog fakulteta ukazuje na potrebu i važnost interdisciplinarnog pristupa u primeni savremenih metoda geotehničkog istraživanja i ispitivanja (konstrukterstvo+geomehanika+geologija). To podrazumeva kreativnu stručnu saradnju zasnovanu na naučnim saznanjima, savremenoj stručnoj praksi i važećoj zakonskoj i tehničkoj regulativi, u skladu sa kompetencijama svakog od učesnika u stručnom timu [4].

Sadržaj geotehničkih istraživanja i ispitivanja, koji bi garantovao izradu solidnih geotehničkih podloga za projektovanje mostova, bi prema [11] trebalo da ima sledeći raspored:

a) *prethodna istraživanja* – prikupljanje i proučavanje postojeće dokumentacije o terenu i objektu, rekognosciranje terena, izrada programa (projekta) istraživanja i ispitivanja;

b) *terenska istraživanja i ispitivanja* – *površinska* (geodetska, po potrebi inž. geološko kartiranje i geofizička istraživanja) i *dubinska* (istražno bušenje, kartiranje bušotina, uzimanje uzoraka tla, evidentiranje pojave i nivoa podzemne vode, penetraciono sondiranje u nevezanom tlu i po potrebi dubinska geomehanička ispitivanja i geofizička istraživanja);

c) *laboratorijska geomehanička ispitivanja* – određivanje i prikaz *geomehaničkih pokazatelja* opštih fizičkih svojstava (vlažnost, gustina, specifična težina, poroznost), sastava (granulo-metrija, plastičnost) i stanja (zbijenost, konzistencija) i mehaničkih svojstava (parametri čvrstoće, deformabilnost, po potrebi vodopropusnost) tla u slojevima – sa svim bitnim detaljima opita i pratećim podacima koje je iz svakog opita moguće dobiti, po potrebi uz statističku obradu;

d) *geološki izveštaj* – prikaz rezultata geološkog dela istraživanja sa tzv. *opštim geotehničkim uslovima* izgradnje i korišćenja planiranog objekta (hidrološkim, geomorfološkim, geološkim, hidro-geološkim, inženjersko-geološkim, procenjenim mikroseizmičkim);

e) *geomehanički proračuni* – procena racionalnih varijanti temeljenja, izbor *računskih profila* sa računskim pokazateljima svojstava tla i proračuni *dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla*, e) *veličina sleganja i vremenskog toka sleganja* za različita očekivana vremena građenja, po potrebi i ekvivalentnih *pokazatelja interakcije* temelja i tla (utvrđenom slojevitom tlu), sa izradom *dijagrama za dimenzionisanje temelja* pod opterećenjima koja će konstrukter dobiti statičkim proračunom;

f) *geotehnički izveštaj* – na osnovu analize rezultata po svim prethodnim pozicijama, sa predlogom racionalnog *načina* temeljenja, analizom *opštih* geotehničkih uslova i *geomehaničkih pokazatelja* svojstava tla, prikazom i analizom rezultata geomehaničkih proračuna i određivanjem *računskih uslova za dimenzionisanje temelja* i za *izvođenje* radova (stabilnost zaseka, pritisci i dr.);

g)elaborat – sa geološkim i geotehničkim izveštajem i pripadajućim priložima sa svim rezultatima istraživanja, ispitivanja i proračuna.

U okviru pratećih geomehaničkih proračuna u primeni su programski sistemi Geo Data 1 i Geo Data 2 (autor dipl.građ.ing.Miroljub Samrdaković,Odeljenje za geotehniku Instituta GAF-a u Nišu) za određivanje i prikaz geomehaničkih pokazatelja sastava i svojstava tla i za savremene geomehaničke proračune stabilnosti i deformacija tla (plitkih temelja i šipova,kosina/padina i potpornih konstrukcija).

U geotehničkim elaboratima za predmetne objekte konstrukter dobija dijagrame sa snopovima krivih.Za dobijeno opterećenje iz projekta biraju se oblik i potrebne dimenzije temelja u pogledu graničnog stanja loma tla ili graničnog stanja upotrebljivosti (dozvoljenih pomeranja) objekta.Geomehaničar na taj način omogućuje projektantu konstrukcije da na kraju statičkog proračuna odabere oblik i dimenzije temelja (sl.2) koji su tehno-ekonomski najpovoljniji.

DOZVOLJENO OPTEREĆENJE (q_a, V_a) U POGLEDU LOMA TLA

Temelji: 2 i 3 rečnih stubova rekonstruisanog mosta

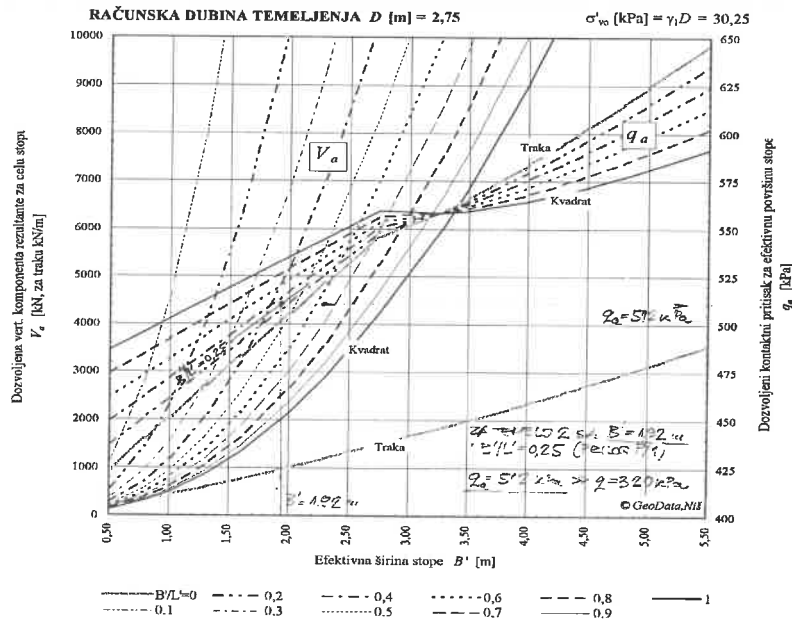
Faktori sigurnosti: Prosečni preporučeni Pravilnikom (1990)

Računski profil terena: Sa najnepovoljnijim parametrima čvrstoće (sloj 5, Prilozi T/3,7)

(Programski sistem GeoData2, u skladu sa Pravilnikom [SI.list SFRJ br.15/1990] i dr.)

V [kN] *		k_{ph} [1]	0.03	γ_1 [kN/m ³]	11.00	F_{sc} [1]	2.50	N_q [1]	10.687
V_B [kN]		H_L [kN]		γ_2 [kN/m ³]	11.00	F_{sp} [1]	1.50	N_γ [1]	10.911
M_B [kNm]		M_L [kNm]		c [kPa]	0	c_m [kPa]	0.00	N_c [1]	20.752
$max(H_B/V)$	0.030	$max(H_L/V)$	0.030	ϕ [°]	35	ϕ_m [°]	25.02	Kota NPV	443.00
$e_{p'} = M_B/V$		$e_{l'} = M_L/V$		$(Z/B)_{min}$	0.72	Fizička površina stopa	$A = B \times L'$		
$B' = B - 2e_{p'}$		$L' = L - 2e_{l'}$		$(Z/B)_{max}$	1.88	Efektivna površina stopa	$A' = B' \times L'$		

* Za traku ($B/L=0$) je V, H [kN/m], M [kNm/m], po dužnom metru trake.



Za navedene faktore sigurnosti F_{sc} i F_{sp} dozvoljena je vertikalna komponenta rezultante stopa $V_a = q_a A' = q_a B' L'$.

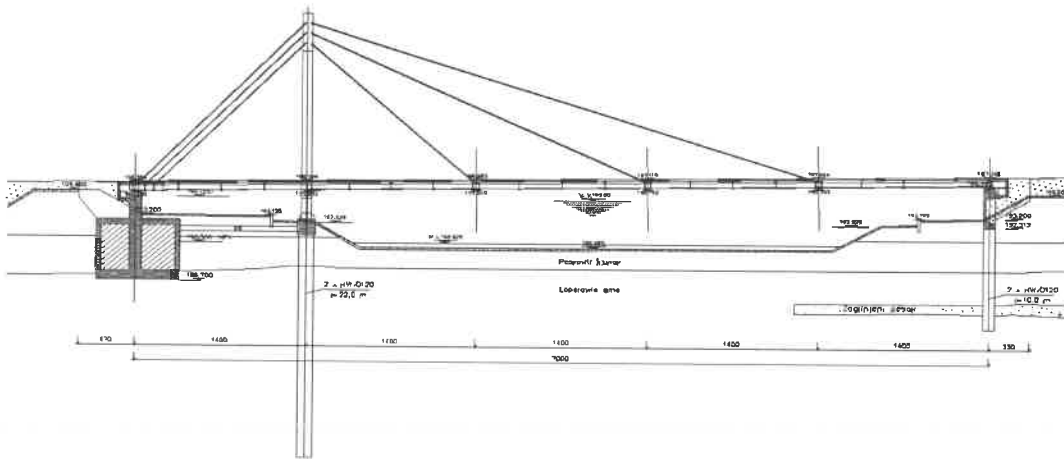
Postupak dimenzionisanja stopa:

Za datu silu $V = V_a$ (bez seizmike $V/10,80 = V_a$) odabere se B/L' (ili B'), iz dijagrama očitano potrebno B' (ili B/L') i sračuna $L' = B'/(B/L')$. Odabere se orijentacija B' i L' i njima dodaju dvostruki ekscentriciteti za te pravce, tako da fizičke dimenzije stopa budu $B = B' + 2e_{p'}$, $L = L' + 2e_{l'}$, $L = B'/(B/L') + 2e_{l'}$, [$B' \leq L'$, $B < L$, $p = V_a/(BL) \leq q_a$].

Sl 2. Dimenzionisanje temelja u pogledu loma tla

3. Geotehnička rešenja

Pešački most preko reke Nišave kod Gradske toplane je izgrađen je 2003.godine. Idejno rešenje, Idejni i Glavni projekat su urađeni u Institutu GAF-a u Nišu (glavni i odgovorni projektant prof.dr Novak Spasojević). Most je sa dva otvora raspona $14+56=70\text{m}$ i ukupne dužine sa krilnim zidovima 78m . Gornji stroj mosta je konstruisan kao spregnuta konstrukcija (beton-čelik) sa kosim kablovima (zategama) i jednim pilonom postavljениm na inundaciji leve obale.



Sl.3. Dispozicija pešačkog mosta preko reke Nišave u Nišu

Donji stroj mosta čine dva obalna stuba i temelj pilona. Fundiranje pilona je izvršeno na dva bušena šipa (sistema HW) prečnika 1.20m i dužine 22.0m , povezana u vrhu naglavnom gredom. Desni obalni stub je koncipiran kao olakšana armiranobetonska konstrukcija u skladu sa uticajima koje prima i prenosi na tlo. Fundiranje ovog obalnog stuba je izvršeno takođe na dva HW šipa prečnika 1.20m i dužine 10.0m . Levi obalni stub je zbog negativnih vertikalnih reakcija gornjeg stroja fundiran na masivnom dubokom temelju (sanduku).

Za izgradnju i korišćenje pešačkog mosta geotehnički uslovi temeljenja [9] određeni su za tri nagrađena idejna rešenja različitih konstrukcija i varijanti temeljenja. Izvedeno je šest istražnih bušotina dubine $10\text{-}18\text{m}$ sa penetracionim sondiranjem (STP) u nevezanim slojevima. Utvrđene su generalno dve stenske mase: fluvijalni kvartarni nanos (peskovit i šljunkovit različitih granulacija i zbijenosti) na neogenoj tercijarnoj podini od laporovite gline, sa mestimičnom pojavom glinca ili čvršćih zona. Ove čvršće zone su stvarale velike probleme kasnije, u toku izrade šipova, jer su otežavale i spuštanje i izvlačenje zaštitnih kolona. Za usvojeno rešenje, za projektovana opterećenja srednjeg i desnog obalnog stuba, neophodno je bilo uraditi dopunu geotehničkog elaborata [9] i odrediti dubinu šipova i njihova sleganja korišćenjem programa Geo Data 2.

DOZVOLJENO OPTEREĆENJE ŠIPA U POGLEDU LOMA TLA
 Prema Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (1990)
 Geomehanički programski sistem *GeoData2* (ver. II 1999, M.Sam.)

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)

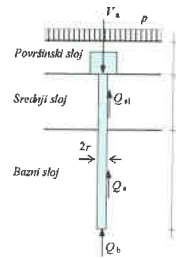
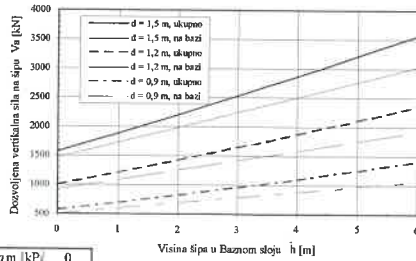
h ₁ [m]	4,65	γ [kN/m ³]	19,50		
c [kPa]	10	φ [°]	21		
α [kPa]	0	F _{sc}	2,5	α _m [kPa]	0
δ [°]	10	F _{sδ}	1,5	δ _m [°]	6,7
OCR	1	K _{os1}	0,642		

Bazni sloj (4: Dezintegrirani škrinjac)

γ [kN/m ³]	21,00	c [kPa]	0	F _{sc}	2,5	α _m [kPa]	0
φ [°]	30	F _{sφ}	1,5	φ _m [°]	21,1	N _γ	4
α [kPa]	0	F _{scα}	2,5	α _m [kPa]	0	N _q	14
δ [°]	15	F _{sδ}	1,5	δ _m [°]	10,1	N _c	80
σ' p [kPa]		OCRb	1	K _{ob}	0,500		
		OCRs	1	K _{os}	0,500		

Presek šipova

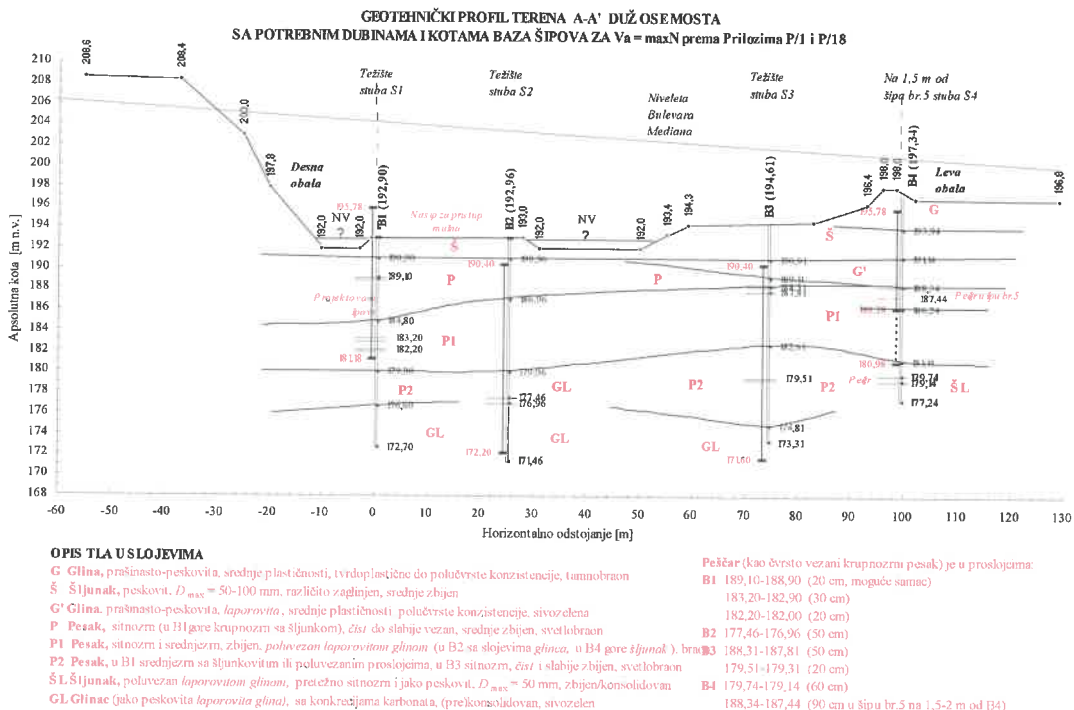
d [m]	0,90	1,20	1,50
r = d/2 [m]	0,45	0,60	0,75
A [m ²]	0,64	1,13	1,77
Q [m]	2,83	3,77	4,71



Sl.4. Primer dimenzionisanja šipa u dvoslojnom tlu sa nasipom

Drumski most preko reke Nišave na bulevaru "Mediana" u Nišu je građen od druge polovine 2005.godine do početka 2007.godine. Most je gradila vodeća domaća firma "Mostogradnja" Beograd prema projektu "Mostprojekta" iz Beograda. Most je širine 27.50m sa tri (kolovoznom pločom povezana) kontinualna sandučasta nosača, raspona 25+49.2+25=99.2m, oslonjena na dva obalna i dva rečna stuba. Svaki stub je fundiran na šest bušenih šipova (šipova sistema HW) prečnika 1.5 i 1.2m.

Posle geotehničkog elaborata za izradu idejnog projekta, sa tri istražne bušotine dubine 10-30m, urađen je kao podloga za glavni projekat, elaborat [14,N+P 8] sa četiri bušotine dubine 20.2-21.5m, po jedna u osi svakog stuba.



Sl.5. Geotehnički profil terena sa položajem šipova za most preko reke Nišave na bulevaru „Mediana”.

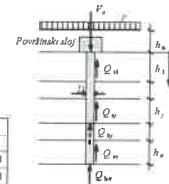
Geotehnički profili bušotina bili su slični kao za ostale mostove preko Nišave u Nišu, ali sa heterogenijom građom krupnozrnog kvartarnog nanosa i podine od jezerskih tercijernih sedimenata (laporovita glina sa različitim prisustvom peska ili šljunka koja lokalno prelazi u čvršći glinac). Pri izradi šipova za levi obalni stub bilo je pojava blokova peščara koji su gotovo onemogućili utiskivanje zaštitnih kolona zbog čega je predloženo njihovo skraćivanje uz uvećanje prečnika. Vertikalna nosivost šipova je računata na osnovu geomehaničkih pokazatelja svojstva tla u slojevima terena prema Pravilniku (1990). Detaljnim proračunima, u okviru programa Geo Data 2, predložene su dimenzije i visinski položaj šipova za četiri stuba mosta (sl.6) sa veličinama sleganja šipova i dijagramom orijentacionog vremenskog toka sleganja za različita vremena korišćenja mosta.

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

Šip: U bušotini stuba 3
Kota vrha: 190,40 m.n.v.
Prečnik D = 1,50 m
F_{sw} = 2,5
F_{sq} = 1,5

Opterećenje pored vrha šipa
p = 0 kPa
srednje h₀ = 2,80 m
γ_e = 11,0 kN/m³
p + γ_eh₀ = 30,8 kPa

Profil terena
Istražna bušotina: B3 (CZ 2004)
Sadašnja kota terena: 194,61 m.n.v.
Kota NPI: 193,01 m.n.v.
Dubina NPI: 1,60 m



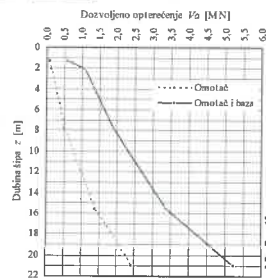
$$V_{uj} = \sum_{i=1}^j Q_{vi} + Q_{uj}$$

$$V_{un} = \sum_{i=1}^n Q_{vi} + Q_{un}$$

Sloj	R.br.	Opis	D.kota	z	h	γ _e	c'	φ'	σ _v	σ _h	σ _v	σ _h	σ _v	σ _h	σ _v	σ _h	σ _v	σ _h	OCR	k _c
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	103	45	38	2,77	1,041		
2	P Pesak	188,31	2,09	0,80	11,0	0	28	0,0	19,3	0,0	22,4	0,0	15,4	0	54	49				
3	P1 Pesak lapor	182,61	7,79	5,70	11,0	5	30	0,0	21,1	4,0	24,0	1,6	16,5	0	116	85				
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				
5	GL Glinac	169,40	21,00	5,41	21,0	18	24	7,2	16,3	14,4	19,2	5,8	13,1	103	316	259				
6	GL Glinac	169,40	21,00	0,00	21,0	18	24	7,2	16,3	14,4	19,2	5,8	13,1	103	316	316				

Prerna navodni konstrukterni, za šipove stuba S3 uzazN (kN) = 5017

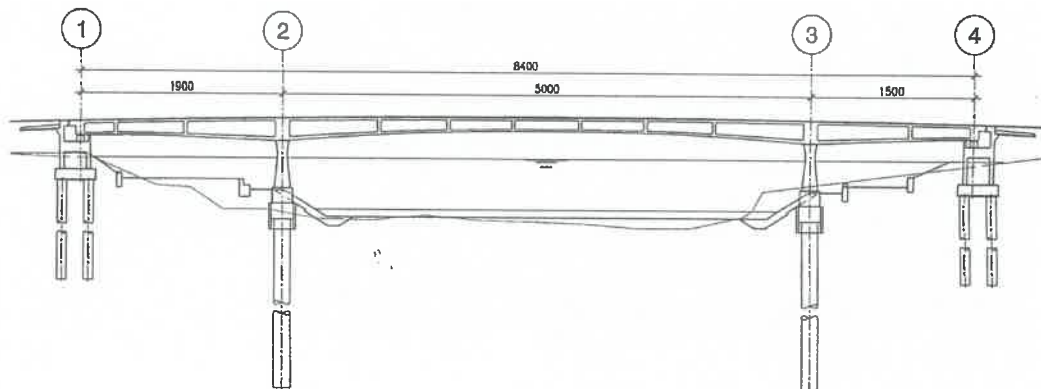
Sloj	R.br.	Opis	D.kota	Dubina	Deblj.	Po omočaju u sloju						Za bazu šipa na dnu sloja						Svega
						p _s	A _s	Q _s	γ _s	N _{st}	N _{gr}	N _{cr}	q _s	A _b	Q _b	F _s		
1	G' Glina lapor	189,11	1,29	1,29	14,1	6,08	86	86	2,8	10,63	67	276	1,77	498	573			
2	P Pesak	188,31	2,09	0,80	7,2	3,77	27	113	3,6	13,23	82	549	1,77	969	1082			
3	P1 Pesak lapor	182,61	7,79	5,70	14,24	26,83	382	495	3,6	13,23	82	799	1,77	1410	1905			
4	P2 Pesak	174,81	15,59	7,80	23,66	30,74	869	1364	1,7	6,6	45,2	1144	1,77	2021	3385			
5	GL Glinac	169,40	21,00	5,41	41,43	25,48	1056	2420	1,7	6,6	45,2	1589	1,77	2807	5227			



Sl.6. Primer dimenzionisanja šipa u višeslojnom tlu preko reke Nišave na bulevaru „Mediana“

Šipovi ispod srednjih stubova su izvedeni u dužini od preko 18 m zalazeći duboko u čvrstu laporovitu glinu. Ispod obalnih stubova šipovi su izvedeni u dužini oko 10m i prečnika 1.5m zbog problema koji su napred navedeni.

Drumski most u ulici Vojvode Mišića je građen istovremeno sa mostom na bulevaru „Mediana“. Prema projektu „Mostprojekta“ most je gradila firma „Ratko Mitrović“ takođe iz Beograda. Sa tri, kolovoznom pločom povezana kontinualna glavna nosača, on je po konstrukciji potpuno sličan mostu „Mediana“. Ukupna širina mosta je 24.64m, a raspon 19+50+15=84m.



Sl.7. Dispozicija mosta preko reke Nišave u ulici Vojvode Mišića

Most je oslonjen na dva obalna i dva rečna stuba koji su fundirani takodje na bušenim šipovima dužine 18m jer je geotehnički profil terene sličan profilu terena kod ostalih mostova. Sva tri mosta, koji su predmet razmatranja u ovom radu, su na međusobnom razmaku od nekoliko stotina metara.

4. Metode proračuna

Savremenu građevinsku praksu karakteriše sve šira primena šipova velikog prečnika i dužine, kojima se na ekonomičan način mogu rešiti najsloženiji problemi u fundiranju. Pored izuzetno velikih podužnih, njima se mogu poveriti i znatna poprečna opterećenja. Izabrani načini fundiranja navedenih mostova su u prvom redu u skladu sa odgovarajućim geotehničkim uslovima na datim lokacijama, a problem usvajanja konačne dužine šipova mora biti rešavan u skladu sa njihovim podužnim i poprečnim opterećenjem.

Određivanje nosivosti šipa za podužno opterećenje, odnosno određivanje potrebne dužine šipa koja će u datom geotehničkim uslovima osigurati potrebnu nosivost, je definisano Pravilnikom o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (1990) i praktično se jednostavno sprovodi primenom programa Geo Data 2, kako je napred objašnjeno.

Iz analize ponašanja šipa za poprečno opterećenje u sistemu šip-tlo dobiće se veličina i raspodela pomeranja i presečnih sila po dužini šipa. To ima nesumnjiv značaj s obzirom da pomeranja mogu izazvati dodatno naprezanje u nadtemeljenoj konstrukciji, a prema veličini presečnih sila šip treba dimenzionisati.

4.1. Osnovne postavke proračuna poprečno opterećenih šipova

Metode proračuna dugih deformabilnih šipova, opterećenih poprečnim opterećenjem, grupišu se prema načinu modeliranja u sistemu "šip-tlo" i tehnicima proračuna. Izdavaju se uglavnom tri osnovna pristupa u kojim se tlo može smatrati:

- a) linearno deformabilnim Winkler-ovim prostorom
- b) linearno elastičnim prostorom
- c) nehomogenom i nelinearno stišljivom sredinom

Za analizu u ovom radu usvojene su osnovne postavke koje važe za tlo kao linearno deformabilnu sredinu koju karakteriše koeficijent horizontalne reakcije tla C_H . Njime se, prema Terzaghi-ju [13], definiše zavisnost između horizontalnih pomeranja tačkica ose vertikalnog deformabilnog šipa $y(z)$ i reaktivnih pritisaka tla $q(z)$ u obliku:

$$C_H = \frac{q(z)}{y(z)} = f(z) \quad (1)$$

gde je:

$f(z)$ – funkcija raspodele koeficijenta reakcije tla dubinom

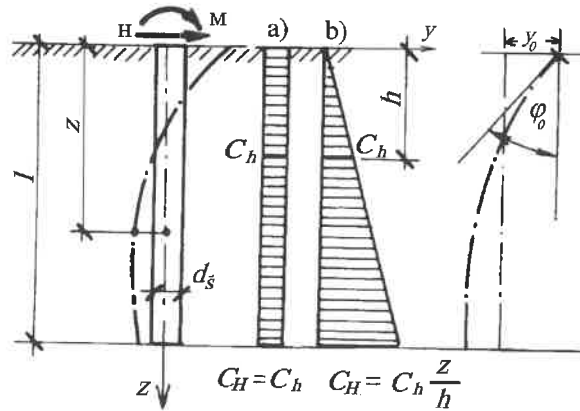
Pri rešavanju problema poprečno opterećenih šipova najčešće se polazi od konstantne vrednosti C_H

$$C_H = f(z) = C_h = const \quad (2)$$

ili linearno rastuće vrednosti (Slika 8):

$$C_H = f(z) = C_h \frac{z}{h} \quad (3)$$

mada se mogu uzeti i druge, složenije raspodele koeficijenta reakcije tla sa dubinom.



Sl.8. Raspodela koeficienta reakcije tla sa dubinom

Dubina (h) na kojoj se sračunava merodavna vrednost koeficienta reakcije tla C_h prema [2] i [12] iznosi:

$$h = 2 (d_s + 1) \quad (4)$$

pa je:

$$C_h = mh \quad (5)$$

pri čemu je:

d_s - prečnik šipa (m)

m - karakteristika tla koja definiše promenu C_H sa dubinom (kn/m^4)

U interakciji šipa sa tлом angažuje se deo tla oko šipa, pa se u proračun uvodi, prema [12], računaska širina (prečnik) šipa:

$$b_{rac} = k_\phi (d_s + 1) \quad (6)$$

gde je :

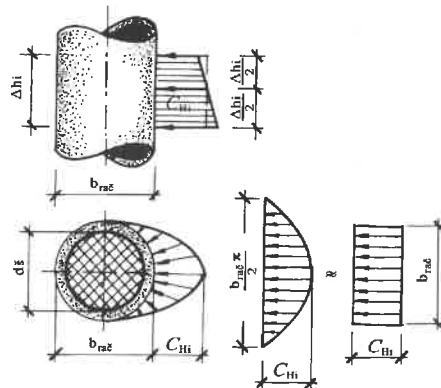
k_ϕ - koeficijent oblika (0.9 za kružni poprečni presek i 1.0 za poprečni presek oblika kvadrata i pravougaonika)

Posmatrano u poprečnom preseku, usvojena je parabolična raspodela koeficienta reakcije tla.

Kako je prema oznakama (Slika 9):

$$\frac{2}{3} C_{H i} \frac{b_{rac} \pi}{2} = 1.047 b_{rac} C_{H i} \approx b_{rac} C_{H i} \quad (7)$$

to se parabolična raspodela koeficijenata reakcije tla na poluobimu $b_{rac} \pi / 2$, u potpunosti može zameniti ravnomernom raspodelom na računskoj širini b_{rac} .



Sl.9. Raspodela koeficienta reakcije tla u poprečnom pravcu

Prva grupa metoda kojima se može rešiti problem poprečno opterećenih šipova, polazi od osnovne diferencijalne jednačine elastične linije šipa. U prvom slučaju, kada je $C_H = C_h = const$, ona glasi:

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} + y \cdot C_h \cdot b_{rač} = 0 \quad (8)$$

Za slučaj linearno rastućeg koeficienta reakcije tla diferencijalna jednačina ima oblik:

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} + y \cdot C_h \cdot \frac{z}{h} b_{rač} = 0 \quad (9)$$

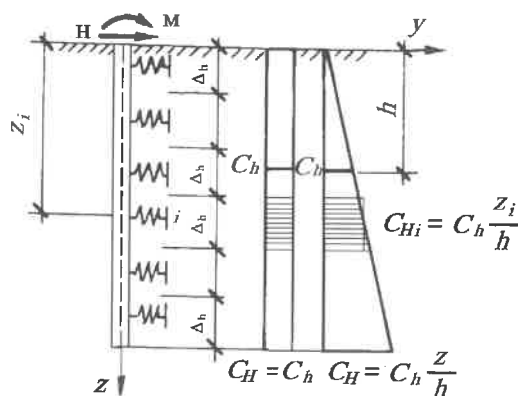
Rešenja diferencijalnih jednačina (8) i (9) u analitičkom obliku su poznata u literaturi i data su u skladu sa graničnim uslovima.

Druga grupa metoda proračuna poprečno opterećenih šipova se zasniva na konceptu odgovarajuće diskretizacije deformabilnog šipa i zamene tla sistemom elastičnih oslonaca (opruga, fiktivnih štapova), na osnovu kojih je urađeno više programskih sistema. Jedan od njih je i program STRESS, po kome se iz uslova jednakih deformacija podloge (Δl_0) i kontrakcija fiktivnih štapova (Δl), određuju površine poprečnih preseka fiktivnih štapova:

$$A_{fi} = \frac{AC_{Hi} l}{E} \quad (10)$$

pri čemu je:

- A pripadajuća površina jednog segmenta šipa
- C_{Hi} koeficijent reakcije tla za "i"-ti fiktivni štap
- l dužina fiktivnog štapa
- E modul elastičnosti materijala od koga je šip



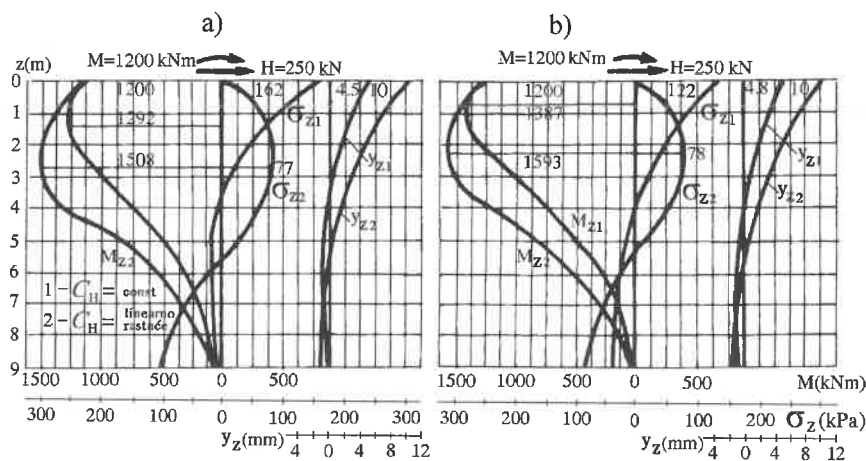
Sl.10. Modeliranje u sistemu šip tlo za program STRESS

U formiranoj ramovskoj konstrukciji poznatih dimenzija i zadanog opterećenja, izračunavanjem statičkih uticaja, dobijaju se sile u zamenjujućim štapovima, zatim reaktivni pritisci tla, presečne sile i pomeranja duž ose šipa.

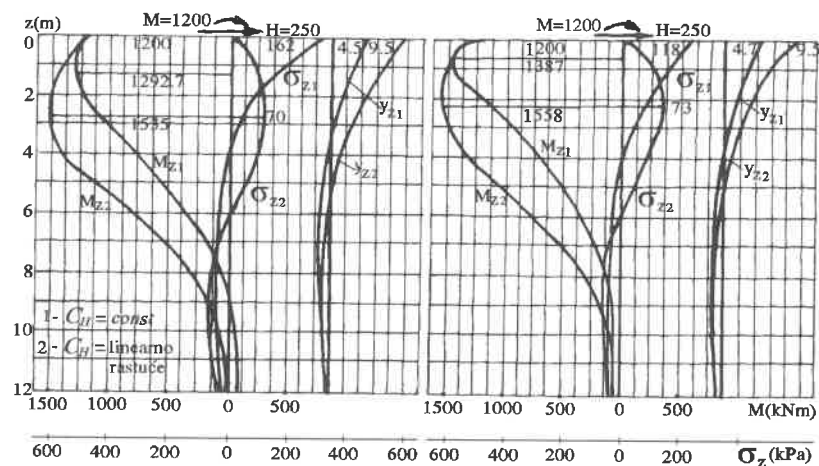
4.2. Primeri proračuna poprečno opterećenih šipova

Cilj sprovedenih istraživanja u ovom radu je izvođenje potrebnih zaključaka za rešavanje praktičnih problema u projektovanju temelja sa šipovima velikog prečnika i dužine. U prvom redu radi se o pravilnom izboru dužine šipa, jer nepotrebno povećanje dužine preko određene granice stvara velike probleme u izvođenju šipova. S druge strane, u gornjem, najopterećenijem kraju šipa, zbog velikih momenata savijanja problem predstavlja dimenzionisanje šipa, a takođe i svođenje pomeranja ose šipa u granice koje neće štetiti nadtemeljnoj konstrukciji.

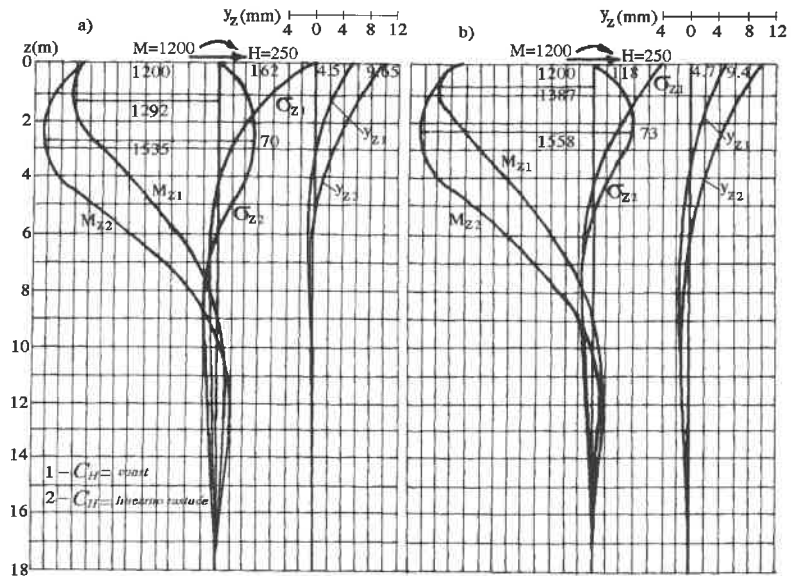
Za analizu je izabran šip prečnika 1.20 m, opterećen na gornjem kraju horizontalnom silom $H = 250$ kN i momentom $M = 1200$ kNm. Za sračunatu merodavnu vrednost koeficijenta horizontalne reakcije tla $C_h = 36 \cdot 10^3$ kN/m³ usvojena je za dalju analizu raspodela sa konstantnom i linearno rastućom vrednošću. Posmatrane su dužine šipova od 9.0 m, 12.0 m i 18.0 m sa odgovarajućom promenom pomeranja, momenata savijanja i reaktivnih pritisaka po dužini.



Sl. 11. Uporedni dijagram momenta savijanja (M_z), redukovanih pritisaka (σ_z) i horizontalnih pomeranja (y_z) za šip dužine 9.0m prema a) analitičkom rešenju b) programu STRESS



Sl. 12. Uporedni dijagram momenta savijanja (M_z), redukovanih pritisaka (σ_z) i horizontalnih pomeranja (y_z) za šip dužine 12.0m prema a) analitičkom rešenju b) programu STRESS



Sl.13. Uporedni dijagram momenta savijanja (M_z), redukovanih pritisaka (σ_z) i horizontalnih pomeranja (y_z) za šip dužine 18.0m prema a) analitičkom rešenju b) programu STRESS

4.3. Analiza dobijenih rezultata

Dobijeni rezultati i njihov grafički prikaz pokazuju dobro slaganje ako se uprede analitička rešenja i rešenja dobijena primenom programa STRESS. Maksimalne vrednosti posmatranih veličina i njihova raspodela duž ose se skoro poklapaju. Znatnija odstupanja nastaju pri promeni koeficijenta reakcije tla. Za linearno rastući koeficijent reakcije tla vrednosti momenata savijanja veće su celom dužinom šipa, a mesto maksimalnog momenta savijanja je na većoj dubini od površine terena (približno $2d_s + 3d_s$).

Sa prikazanih dijagrama se posebno uočava da sve posmatrana veličine na dubini od približno 9.0 m dostižu vrlo male vrednosti. Povećanje dužine šipa iznad te vrednosti (posebno uočljivo na slikama 12 i 13) skoro da ne utiče na promenu maksimalnih vrednosti momenata savijanja, pomeranja i reaktivnih pritisaka tla. Ta dubina se može smatrati dubinom uklještenja šipa, efektivnom dužinom šipa ili potrebnom dužinom horizontalno opterećenog šipa. To se posebno poklapa sa preporukama Terzaghi-ja [13], gde se za određene karakteristike tla i samog šipa može odrediti dubina D_u ispod koje se šip može smatrati nepokretnim:

$$D_u = \sqrt[5]{\frac{216 EI}{b_{rac} m}} \quad (11)$$

Prema podacima iz navedenog primera u ovom radu je:

$$D_u = \sqrt[5]{\frac{216 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot 0.102}{1.98 \cdot 8.38 \cdot 10^3}} = 8.31m$$

pa je slaganje sa dijagramima (slike 12 i 13) očigledno.

Iz navedenih analiza sledi zaključak da se za dejstvo poprečnog opterećenja dužina šipa može unapred približno odrediti prema datim preporukama, a zatim uporediti sa dužinom koju diktiraju ostali uslovi.

5.Zaključak

Utvrđivanje geotehničkih uslova temeljenja građevinskih objekata predstavlja osnov za ispravno projektovanje njihovih temelja koji treba da osiguraju stabilnost i sigurnost i za vreme izgradnje i za vreme eksploatacije objekta. U početnoj fazi razvoja savremene geotehnike plan istraživanja je obuhvatao geološka i dubinska istraživanja. Dobijeni rezultati istraživanja i ispitivanja su uz odgovarajuće ocene, zaključke i preporuke prezentovani u elaboratu na osnovu kojih bi konstrukter sprovodio potrebne geotehničke proračune.

Savremeni pristup, u sadašnjoj fazi razvoja stručne prakse, zahteva interdisciplinarnost (konstrukterstvo+geomehanika+geologija), što podrazumeva da geomehaničar detaljnim geomehaničkim proračunima ponudi više računskih rešenja od kojih će konstrukter odabrati i računski dokazati tehno-ekonomsko najpovoljnije. Programi sistema Geo Data 1 i Geo Data 2 razvijeni su za takvu namenu i uspešno se primenjuju u okviru metodologije geotehničkih istraživanja i ispitivanja.

Metode proračuna usvojenog rešenja temeljne konstrukcije moraju obuhvatiti sadejstvo temelja i tla. Pogodnim modeliranjem u posmatranom sistemu i primenom savremenih programskih sistema dobijaju se rešenja koja je jednostavno koristiti i u praktičnim proračunima.

Literatura

1. Етимов Т. Благоев Г: *Автоматизирано изследване на пилотни фундаменти*, Техника, София, 1992.
2. Крюков К.Р., Новоградцев В.Р.: *Конструкций и расчет металлических и железобетонных опор линий электропередачи*, Энергия, Ленинград, 1975.
3. Lazović M., Vukićević M., Lelović S.: *Zbirka zadataka iz fundiranja*, Građevinski fakultet, Beograd, 1995.
4. Maksimović, M.: *Mehanika tla*, Gros knjiga, Beograd, 1995.
5. Marić B., Polić S., Verić F.: *Prilog teoriji proračuna horizontalno opterećenih pilota*, Saopštenja XVI Savetovanja JDMTF-a, Arandjelovac, 1986.
6. Nonveiller E., *Mehanika tla i temeljenje građevina*, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
7. Prolović V., Milošević S.: *Zbirka zadataka iz fundiranja*, Građevinski fakultet, Niš, 1984
8. Samardaković, M. (2004): *Geotehnički uslovi temeljenja drumskog mosta preko Nišave na bulevaru "Mediana" u Nišu*, Institut GAF, Niš, XI+53 strane.
9. Samardaković, M. (1999): *Geotehnički uslovi temeljenja novog pešačkog mosta preko Nišave kod Toplane u Nišu*, Institut GAF u Nišu, Niš, XI+77 strana
10. Samardaković, M. (1996): *Geotehnički programski sistemi GeoData 1 i GeoData 2, Zbornik radova Međunarodnog naučnog skupa Prvaci razvoja geotehnike*, Beograd, 18-19. novembar 1996., RGF i Sava centar, Beograd, str. 395-404
11. Samardaković, M. : *Neka iskustva u određivanju geotehničkih uslova temeljenja šesnaest mostova*, Nauka+Praksa br.8, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, 2005.
12. Силин К.С., Глотов Н.М., Завриев К.С.: *Проектирование фундаментов глубокого заложения*, Транспорт, Москва, 1981
13. Terzaghi K. : *Teorijska mehanika tla*, Naučna knjiga, Beograd , 1972.
14. Tomlinson M.J.: *Foundation design and construction*, Pearson Prentice Hall, Edinburgh, 2001.