

34

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, str. 1-10.

1

UDK 624.131

NEKA ISKUSTVA U ODREĐIVANJU GEOTEHNIČKIH USLOVA TEMELJENJA ŠESNAEST MOSTOVA

Miroljub Samardaković*

Rezime: Na osnovu ličnog iskustva u određivanju geotehničkih uslova temeljenja 16 mostova, od kojih je 9 na teritoriji grada Niša, u radu se opisuje pogodna *metodologija* za određivanje ovih uslova na osnovu terenskih, laboratorijskih i računskih istraživanja i ispitivanja, kao i osnovni rezultati za svaki most. Prikazana su primenjena geotehnička rešenja za temeljenje tzv. *plitim* temeljima u *nanosnom* tlu i u ispucaloj *steni*, kao i na bušenim *šipovima* velikog prečnika, i mogućnosti za dimenzionisanje ovakvih temelja autorovim geomehničkim programskim sistemom *GeoData2*.

Ključne reči: geotehnička istraživanja; mostovi; plitki temelji; bušeni šipovi; geomehnički proračuni.

Abstract: On the basis of the personal experience in determination of the foundation conditions of 16 bridges, out of which 9 are in the territory of the city of Nis, the author describes the favorable methodology for determination of these conditions on the basis of the field, laboratory and computational research and investigation, as well as the fundamental results for every bridge. The applied geotechnical solutions with the shallow foundations in the soil deposits and the jointed rock, as well as on the drilled piles of large diameter, have been presented along with the possibilities for dimensioning of these foundations with the author's geomechanical program system *GeoData2*.

Keywords: geotechnical explorations; bridges; foundations; drilled piles; geomechanical computations.

1 UVOD

Posle dužeg perioda bez izgradnje novih mostova u gradu Nišu, čije je jezgro izdvojeno na tri dela rekom Nišavom i njenom pritokom Gabrovačkom rekom, grad poslednjih godina stvara mogućnosti da uz nastavak uređenja korita planira i gradi više novih mostova preko ovih reka.

Na projektovanju i izvođenju ovih mostova angažovani su vodeći domaći projektanti i izvođači među kojima zapaženi samostalan, kreativan i konkurentan doprinos daju stručnjaci Instituta GAF u Nišu – kao autori prvonagrađivanih *projekata* i izvedenih mostova (prof. N. Spasojević sa saradnicima), *ispitivanja konstrukcija* (prof. D. Drenić sa saradnicima) i *geotehničkih podloga* sa analizama

racionalnih načina temeljenja i određivanjem računskih uslova za dimenzionisanje temelja ovih i drugih mostova [1-16].

U ovome radu sažeto se prikazuju neka iskustva i rezultati autora u projektovanju, organizovanju i izvođenju geotehničkih istraživanja i ispitivanja (terenskih, laboratorijskih i računskih) sa određivanjem i prikazom geotehničkih uslova temeljenja 16 mostova (od kojih je 9 na teritoriji grada Niša a 7 u samom gradu), koja bi mogla biti od koristi za praksu u ovoj oblasti.

U poglavlju 2 opisuju se cilj, zadatak, metod i pogodan sadržaj sa redosledom geotehničkih istraživanja i ispitivanja za dobijanje *geotehničkih podloga* projekta mosta u opštem slučaju.

U poglavlju 3 delimično se prikazuju i komentari

* Dipl.inž.građ., Odeljenje za geotehniku Instituta GAF u Nišu, msam@gaf.ni.ac.yu, msam@eunet.yu

rišu *geotehnička rešenja* za projektovanje novih ili saniranje postojećih mostova sa stubovima na tzv. *plitkim temeljima* u *nanosnom tlu* [1,2,3,7,8,9,13,16] i u *oštećenoj steni* [10,11,12] i sa stubovima novih i saniranih mostova na *bušenim šipovima* velikog prečnika u *nanosnom tlu* [4,5,6,14,15].

Pošto savremena računarska tehnika to omogućava – npr. autorovim programskim sistemima *GeoData1&2* za određivanje i prikaz *geomehaničkih pokazatelja* sastava i svojstava tla i za savremene konvencionalne *geomehaničke proračune* stabilnosti i deformacija tla (plitkih temelja i šipova, kosina/padina i potpornih konstrukcija) [17] – u geotehničkim elaboratima za predmetne mostove (kao i za druge objekte) konstrukter dobija dijagrame sa snopovima krivih preko kojih za projektom dobijeno opterećenje odabira oblik i potrebne dimenzije temelja u pogledu graničnog stanja *loma* tla ili graničnog stanja *upotrebljivosti*¹⁾ (dozvoljenih pomeranja) objekta.

Time geomehaničar ne dimenzioniše temelje za obično netačno pretpostavljena opterećenja već omogućava konstrukteru da na kraju statičkog proračuna iz dijagrama odabere oblik i dimenzije plitkih temelja ili prečnike i dubine šipova koji su tehnoeekonomski najpovoljniji.

Ovakav pristup detaljnije je razrađen za dimenzionisanje temelja u pogledu loma nego u pogledu pomeranja jer je to i u praksi češći slučaj (zbog osiguranja od mogućih krajnjih posledica), iako štetne deformacije objekata nastaju gotovo isključivo zbog prevelikih relativnih sleganja.

2 IZRADA GEOTEHNIČKIH PODLOGA

Kao i za druge važnije građevinske objekte, *geotehničke podloge* za projektovanje i izvođenje mostova rade se sa *ciljem* utvrđivanja geotehničkih uslova izgradnje i korišćenja objekta i *zadatkom* određivanja građe (sastava i sklopa), stanja i svojstava *terena* i njegovog ponašanja kao dela sredine u kome će interakcija sa radovima i objektom biti od značaja za stabilnost, deformacije, funkcionalnost, izgled i ekonomičnost objekta (i terena).

Navedeni zadatak u opštem slučaju može biti uspešno izvršen primenom savremenih *metoda* geotehničkih istraživanja i ispitivanja, najbolje interdisciplinarnih (konstrukterstvo+geomehanika+geologija) kroz kreativnu stručnu saradnju u skladu sa

naučnim saznanjima, savremenom stručnom praksom, zakonskom i tehničkom regulativom, kao i stvarnim (ne samo formalnim) kompetencijama i odgovornostima učesnika.

Takav metod trebalo bi, na osnovu obimnog iskustva autora u ovoj i drugim oblastima građevinske geotehnike, da podrazumeva *sadržaj* istraživanja i ispitivanja sledećeg redosleda:

- 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 (granulometrija, 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, hidrogeološkim, inženjerskogeološkim, 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, *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

¹⁾ Principi i termini prema EUROCODE 7, Deo 1: Opšta pravila (Anagnosti,P.,ed.), GF, Beograd, 1997, 63-69.

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 *prilozima* sa svim rezultatima istraživanja, ispitivanja i proračuna.

Elaborati [1-16] za objekte koji su predmet ovoga rada urađeni su u saradnji autora sa projektantima mostova, geološkom operativom grada (dubinska istraživanja, deo laboratorijskih ispitivanja) i saradnicima u Laboratoriji za geotehniku GAF (deo laboratorijskih ispitivanja).

3 GEOTEHNIČKA REŠENJA

3.1 PLITKI TEMELJI U NANOSNOM TLU

Novi mostovi [2,3,9,13]

Prema glavnom projektu (*Srbijaprojekt*, Beograd, 1990), planiran je pešački *most preko Nišave kod teniskih terena kraj Tvrdave u Nišu*, koji će premostiti reku jednim tvorom 70 m sa glavnim nosačem koga (preko užadi) najvećim delom nosi visoki kosi stub na desnoj obali a manjim delom dva laka obalna stuba ispod kraja mosta na levoj obali. Ovakav sistem osetljiv je na različita sleganja temelja na krajevima nosača a pre svega na rotaciju temelja kosog stuba jer se pri njoj menjaju sile u užadima i osloncima na levoj obali. Za geotehnički elaborat-studiju [2] urađeno je na svakoj obali po pet istražnih bušotina uz povremeno standardno penetraciono sondiranje, neophodno za određivanje mehaničkih svojstava krupnozrnih slojeva. Zbog velike dubine efektivnog dejstva planiranog sandučastog temelja stuba na desnoj obali, zamašne osnove ekvivalentne pravougaoniku 13×22 m na 7,8 m ispod ulice, dubina istraživanja za njega bila je 17-25 m, čime su autor ali i jedan od tada najiskusnijih niških geologa (pok. R.Stevanović) prvi put detaljnije sagledali sastav, stanje i svojstva tercijarne (neogene) gline koja čini podinu kvartarnih fluvijalnih nanosa niške kotline. Utvrđeno je da neogena glina nije homogena u pogledu sastava i svojstava, kako se obično procenjivalo. Posle detaljnih laboratorijskih ispitivanja, uz dimenzionisanje temelja na osnovu dozvoljenih opterećenja u pogledu loma tla, savremenim postupcima sračunata su sleganja i rotacije temelja i njihov vremenski tok za različita vremena građenja, što je u potpunosti zadovoljilo potrebe konstruktora mosta i vrhunskog revidenta.

Izvedeni *podvožnjak u ul. Zetska u Nišu*, sa jednim otvorom 11,0 m ispod međunarodne pruge, projektovan je prema elaboratu [3], uz kasnije dopune. Na osnovu četiri bušotine dubina 10-12 m i penetracionih i laboratorijskih ispitivanja, za merodavno ekscentrično opterećenje dimenzionisani su plitki temelji stubova za granično stanje *loma* i za granično stanje *upotrebljivosti* u fluvijalnom nanosu, sa proračunom sleganja uz sadejstvo nasipa uz stubove.

Izvedeni AB drumski *most u ul. D.Popovića-M.Držića preko Gabrovačke reke u Nišu*, širine 14,50 m, sa jednim otvorom 14,00 m i AB obalnim stubovima, projektovan je (*Mostogradnja*, Beograd) na osnovu geotehničkog elaborata [9], urađenog na osnovu 4 istražne bušotine dubina 10-15 m. Mimo očekivanja, do ove dubine nije nađena sivozelena (sivoplava) terciarna glina već zaglinjeni peskovi i šljunkovi. Od varijanti temeljenja plitkog i sa šipovima predložena je i primenjena prva, sa pravougaonim stopama osnova 3,6/11,0 m na tanjem šljunčanom jastuku jer je u temeljnom tlu bio sloj stišljivije gline. Urađeni su dijagrami za dimenzionisanje temelja na osnovu dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla u statičkim i seizmičkim uslovima i originalni dijagram za dimenzionisanje na osnovu željenog (dozvoljenog) sleganja, kao i dijagrami vremenskog toka sleganja za željena vremena građenja – primenjeni za merodavna kosa i ekscentrična opterećenja. Dopunom elaborata isto je rešeno za temeljenje 1,4 m pliće od planiranog osnovnim elaboratom.

Za novoplanirani metalni *most preko Gabrovačke reke u ul. Višegradska u Nišu*, širine 14,5 m, sa jednim otvorom 12 m, elaboratom [13] na osnovu dve bušotine dubina po 15 m nađen je teren slične građe kao u elaboratu [9] za sličan objekat na istoj reci, pa su način temeljenja i geomehanički proračuni urađeni i prikazani kao u [9].

Rekonstrukcije/sanacije mostova [1,7,8,16]

Jednu od prepoznatljivih znamenitosti grada Niša, *most preko Nišave na ulazu u nišku Tvrdavu* na rečnim temeljima starog mosta – kome se na racionalnosti, sigurnosti i izgledu ni posle 45 godina burnog razvoja graditeljstva i grada nema šta zameriti – konstruisao je cenjeni projektant i izvođač značajnih mostova i metalnih konstrukcija, doc.J.Canić (MIN pa GAF u Nišu), višedecenijski uzor generacija graditelja i studenata ovoga fakulteta. Povodom radova na održavanju i zaštiti mosta posle skoro 30

godina korišćenja, autor je imao čast da za potrebe konstruktora uradi analizu stabilnosti i sleganja temelja srednjih stubova mosta [1], na osnovu profila 4 istražne bušotine dubina 15-20 m (*Geosonda*, Beograd, 1958), urađenih za potrebe izgradnje novog mosta. Prikazana građa terena je heterogena, slična novijim nalazima duž reke u gradu [2,5,14]. Na osnovu opisa materijala u slojevima, za masivne srednje stubove sa stopama 3,31/14,10 m na 7,60 m ispod kolovoza (2,20 m ispod dna korita reke) sračunati su pritisci nasipa i otpori tla oko stubova i faktori sigurnosti u pogledu loma tla, klizanja i preturanja za merodavna opterećenja mosta, kao i vremenska sleganja i rotacije stuba oko ose mosta, imajući u vidu istoriju opterećivanja tla starim, novim i popravljenim mostom. Satisfakcija za trud u tumačenju i analizi dostavljenih podataka o terenu i objektu, izboru računskih profila i izvršenim geomehničkim proračunima (tada bez kompjutera) došla je posle 2-3 meseca, kada su geodetskim merenjima potvrđene sračunate (male) razlike sleganja oslonaca glavnih nosača.

Za izvedeni betonski pešački *most preko J. Morave u Grdelici*, širine 4,8 m na grednim glavnim nosačima sa tri polja raspona 17,8+18,0+17,8 m, po izgradnji dva rečna stuba konstatovano je da su temelji izbetonirani na rečnom nanosu u koritu ove izrazito bujične reke umesto na dezintegriranoj pa dublje sve zdravijoj steni (škriljcu) ispod nanosa, prema geološkom elaboratu (*Geozavod*, Beograd, 2001). Dopunskim istraživanjima i proračunima [7] izvedene su dve kontrolne bušotine pored srednjih (rečnih) stubova, dubina po 5 m sa nabušivanjem stenske podine, utvrđene debljine nanosa ispod temelja, izvršena računaska provera stabilnosti i predložene racionalne mere za obezbeđenje trajne stabilnosti temelja rečnih stubova.

Za izvedenu rekonstrukciju drumskog *mosta preko r. Dašnica u s. Grejač (Aleksinac)*, sa jednim otvorom i dva glavna nosača, raspona 16 m, na dva masivna obalna stuba sa krilima i temeljima na 3,60-3,80 m ispod korita reke, urađen je geotehnički elaborat [8] kao podloga projekta rekonstrukcije (prof. N. Spasojević, *Institut GAF* u Nišu). Urađeni su temeljni raskop dubine 4,20 m i po jedna istražna bušotina dubine 10,0-10,5 m pored svakog stuba i odgovarajuća laboratorijska ispitivanja. Za dostavljene merodavne stare i nove statičke uticaje od stubova i složene oblike osnova temelja određene su efektivne (centrično pritisnute) računске površine osnova i njihovi uticaji na tlo pa su računski proverene

dimenzije temelja u pogledu loma tla i određena dodatna sleganja stubova usled sanacijom uvećanog opterećenja – sa ocenom da se rekonstrukcija mosta može izvršiti bez intrevencija na temeljima i temeljnom tlu.

Za planiranu rekonstrukciju sa proširenjem za još jednu saobraćajnu traku drumskog *mosta preko Lukavačke reke u Dimitrovgradu*, sa pločastim glavnim nosačem preko tri polja 9,32+11,65+9,32 = 30,30 m, sa plitkim temeljima u nanosnom tlu, na kojima je izvedena samo podužna polovina mosta, geotehničkim elaboratom [16] urađenim na osnovu tri istražne bušotine procenjeno je da za dostavljena opterećenja od rekonstruisanog mosta nema potrebe za intervencijama u temeljnom tlu i na temeljima. Kao i za napred opisane objekte, za projektom dobijena eventualno drugačija kosa i ekscentrična opterećenja temeljnog tla ovoga mosta urađeni su dijagrami za dimenzionisanje temelja na osnovu dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla (*Sl.1*) i dozvoljenog sleganja ili za proveru očekivanih sleganja (*Sl.2*) i rotacija (*Sl.3*) temelja, metodom ekvivalentnog elastičnog poluprostora razvijenom prema radovima [17,18] autora.

DOZVOLJENO OPTEREĆENJE (q_a, V_a) U POGLEDU LOMA TLA

Temelji: *2 i 3 rečnih stubova rekonstruisanog mosta*

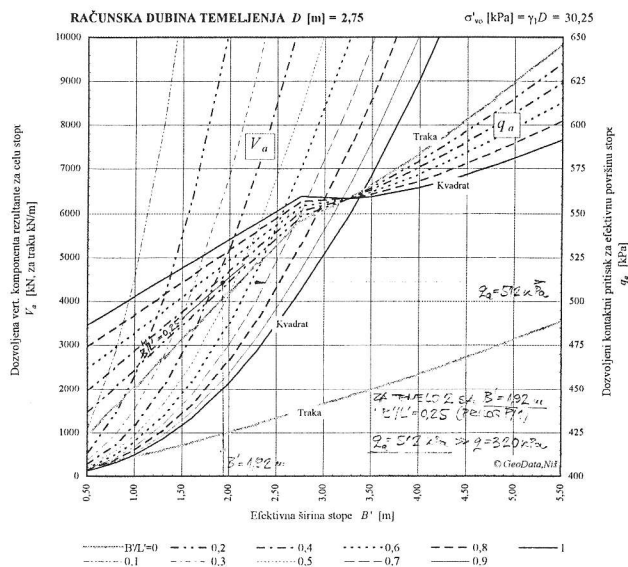
Faktori sigurnosti: *Prosečni preporučeni Pravilnikom (1990)*

Računski profil terena: *Sa najnepovoljnijim parametrima čvrstoće (sloj Š, Prilozii T/3,7)*

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

V [kN]	k_a [1]	0,03	γ_1 [kN/m ³]	11,00	F_{ac} [1]	2,50	N_q [1]	10,687
H_b [kN]	H_c [kN]		γ_2 [kN/m ³]	11,00	F_{ac} [1]	1,50	N_y [1]	10,911
M_b [kNm]	M_c [kNm]		c [kPa]	0	c_m [kPa]	0,00	N_c [1]	20,752
$\max H_b/V$	$\max H_c/V$	0,030	ϕ [°]	35	ϕ_m [°]	25,02	Kota NPV	143,00
$e_{tr} = M_b/V$	$e_c = M_c/V$		$(Z_d/B)_{\min}$	0,72	Fizička površina stope	$A = B \cdot L$		
$B' = B - 2e_{tr}$	$L' = L - 2e_c$		$(Z_d/B)_{\max}$	1,88	Efektivna površina stope	$A' = B' \cdot L'$		

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



Za navedene faktore sigurnosti F_{ac} i F_{ay} dozvoljena je vertikalna komponenta rezultante stope $V_a = q_a A' = q_a B' L'$.

Postupak dimenzionisanja stope:

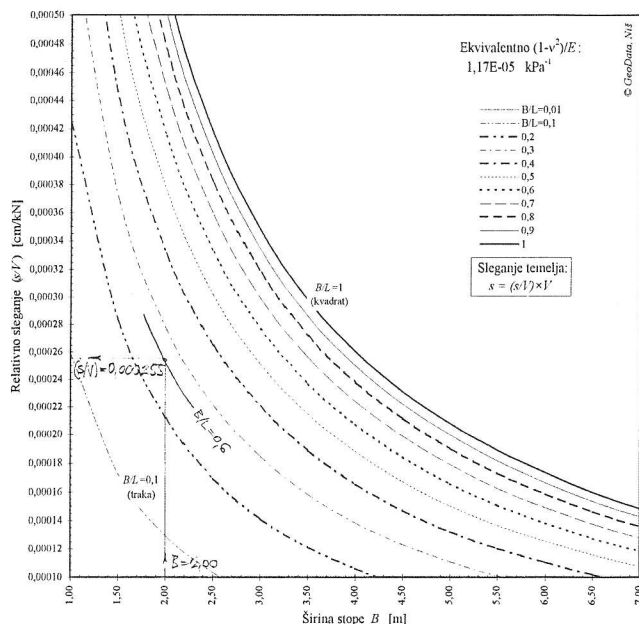
Za datu silu $V = V_a$ (bez seizmike $V'/0,80 = V_a$) odabere se B'/L' (ili B'), iz dijagrama očitano potrebno B' (ili B'/L') i sračuna $L' = B'/B' \cdot L'$. Odabere se orijentacija B' i L' i njima dodaju dvostruki ekscentriciteti za te pravce, tako da fizičke dimenzije stope budu $B = B' + 2e_{tr}$, $L = L' + 2e_c$, $B' = B'/B' \cdot L' + 2e_{tr}$, $L' = L'/L' \cdot L' + 2e_c$, $B' \leq L'$, $B > L$, $p = V_a/(BL) \leq q_a$.

Sl.1 Dimenzionisanje temelja u pogledu loma tla

SLEGANJA KRUTIH TEMELJA PROIZVOLJNIH DIMENZIJA I OPTEREĆENJA (Programski sistem GeoData2, M.Sam.)

Temelji: Svi temelji mosta
Računski profil terena: Kao za proračun sleganja temelja 2 rečnog stuba

DIJAGRAM ZA DIMENZIONISANJE TEMELJA NA OSNOVU SLEGANJA ILI ZA ODREĐIVANJE SLEGANJA TEMELJA u zavisnosti od vertikalne komponente rezultante (V'), širine (B) i oblika (B/L) stope

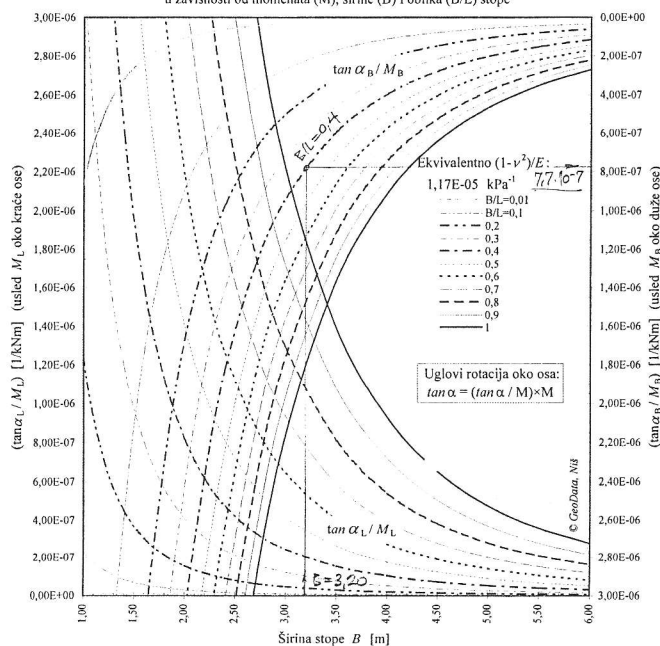


Sl.2 Dimenzionisanje temelja na osnovu sleganja

ROTACIJE PROIZVOLJNIH KRUTIH TEMELJA (Programski sistem GeoData2)

Objekat: Svi temelji mosta
Računski profil terena: Kao za proračun sleganja temelja 2 rečnog stuba

DIJAGRAM ZA ODREĐIVANJE ROTACIJA TEMELJA ILI ZA DIMENZIONISANJE TEMELJA NA OSNOVU ŽELJENIH ROTACIJA u zavisnosti od momenata (M), širine (B) i oblika (B/L) stope



Sl.3 Dimenzionisanje temelja na osnovu rotacije

3.2 PLITKI TEMELJI U OŠTEĆENOJ STENI

Novi mostovi [11,12]

U toku je izgradnja drumskog *mosta preko Berinčvorske reke u s. Zvonice (Babušnica)*, jednog otvora 10 m, sa grednim glavnim nosačima na dva masivna stuba, kojim se koso prelazi izrazito bujična reka u planinskom području, sa koritom u krupnozrnom nanosu granulacije od muljevitog šljunka do blokova širine preko 50 cm. Za dobijanje geotehničke podloge [11] projekta, kao racionalan način dubinskog istraživanja u takvom tlu za planirani objekat primenjen je mašinski iskop po jedne istražne jame kod svakog stuba, do dubina 2,80-3,00 m do kojih se moglo sići jačim rovokopačem. Izdvojeni su 'slojevi' krupnozrnog nanosa sa drobinom ispod 25 cm, pa sa blokovima širim od 25 cm, preko tzv. zone velikih oštećenja čvrsto vezane stene čija oštećenost opada a mehanička svojstva se poboljšavaju sa dubinom. Koso i ekscentrično opterećene stope su dimenzionisane za dve varijante (plićeg i dubljeg) temeljenja, u pogledu loma *ispucale stenske mase* čiji su *parametri čvrstoće* prema Coulomb-Mohr-u i modul deformacije procenjeni primenom programa *RocLab*²⁾, kao ekvivalentni parametrima čvrstoće prema uslovu loma Hoek-Brown³⁾ određenim preko pokazatelja za Hoek-Brown-klasifikaciju oštećene stene (na osnovu čvrstoće monolita, sastava i stanja oštećenosti stenske mase). Za odabrane faktore sigurnosti u pogledu loma tla sa takvim parametrima čvrstoće urađeni su dijagrami za dimenzionisanje temelja na osnovu dozvoljenog kosog i ekscentričnog opterećenja, prema jugoslovenskom Pravilniku (1990) i rešenju Terzaghi-ja adaptiranom za pravougaone temelje na steni⁴⁾, i sračunata sleganja temelja.

U toku je i izgradnja drumskog *mosta "Rekarci" preko r. Jablanica kod Lebane* (prema projektu *Instituta za puteve*, Beograd), ramovske AB konstrukcije sa tri otvora 9,0+11,5+9,0 m i pločastim glavnim nosačem kruto vezanim za srednje stubove-pločasti i pokretnim osloncima na krajnjim stubovima-poluotvorenim sanducima. Za planirane plitke temelje u stenskoj masi, pravougaonih stopa za srednje stubove i oblika ćiriličnog P za krajnje stubove, mašinskim iskopom po jedne istražne jame pored svakoga stuba [12] utvrđeni su, do dubina 1,60-2,70 m

2) *** (2002): *RocLab*, Rocscience Inc., Toronto.

3) Hoek, E. i dr. (2002): *Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition*, Rocscience Inc., Toronto, 1-7.

4) Stagg, K.G., Zienkiewicz, O.C. (1968): *Rock mechanics in engineering practice*, John Wiley & Sons, London, 151.

ispod peščanog nanosa u koritu, 'slojevi' krupnozrnog rečnog bujičnog nanosa (sa zrnima drobine širina do 20 cm), pa zona *veće oštećenosti* čvrsto vezane stene (gnajs) sa drobinom i blokovima širine do 40 cm i zona *manje oštećenosti* stene sa prslinama i pukotinama na odstojanjima većim od 30-40 cm. Za temelje u zoni manje oštećenosti (ispucalaj steni) *parametri čvrstoće* prema Coulomb-Mohr-u i *ekvivalentne elastične konstante* određeni su primenom programa *RocLab*. Za planirane stope temelja i merodavna ekscentrična opterećenja određene su efektivne kontaktne površine stopa i njihove dimenzije proverene su u pogledu loma tla kako je opisano za prethodni most [11]. Za analizu deformacija osetljive ramovske konstrukcije mosta urađeni su dijagrami za određivanje sleganja i rotacija temelja proizvoljnih dimenzija i opterećenja prema [17,18], kao na *Sl.2* i 3.

Sanacije postojećih mostova [10]

Drumski *most preko Nišave kod s. Ostrovica (Niš)*, sa dva otvora ispod spregnutih greda raspona 28,0+16,3 m, na tri masivna stuba od kojih su dva u vodi, saniran je prema projektu sa geotehničkom podlogom [10] na osnovu dve istražne bušotine dubina 8,0-8,2 m. Utvrđeno je da se temeljima zašlo 0,5-1,0 m u ispucali slojeviti krečnjak čiji su ekvivalentni parametri čvrstoće određeni i dimenzije postojećih i planiranih ojačanih temelja u pogledu loma proverene na dva načina izradom dijagrama kako je napred opisano [11,12], uz primenu i trećeg načina – preko pokazatelja kvaliteta ispucale mase (RQD) i, na osnovu njega, očekivanog odnosa pokazatelja (čvrstoće i deformabilnosti) ispucale stene *in situ* i pokazatelja *monolita* stene⁵⁾. Na osnovu računskih analiza [10] ocenjeno je da je umesto planiranog ojačanja oba krajnja temelja dovoljno ojačati jedan (levi) i da postojeći temelj srednjeg stuba može ostati takav i posle saniranja ovoga stuba.

3.3 STUBOVI NA BUŠENIM ŠIPOVIMA

Za mostove sa stubovima na šipovima u nanosnom tlu primenjivani su duboki tzv. *bušeni AB šipovi velikog prečnika* (90, 120 i 150 cm), prema raspoloživoj opremi i tehnologiji vodećih domaćih preduzeća u ovoj oblasti. Geotehnički elaborati za nove mostove [4,5,6,14] i rekonstrukciju postojećih [15] urađeni su, kao i ostali navedeni, prema metodologiji opisanoj u

tački 2 ovoga rada, primenom geomehničkih programskih sistema *GeoData1&2* autora [17], sa dimenzionisanjem ovakvih šipova u skladu sa jugoslovenskim Pravilnikom (1990).

Za planirani betonski drumski *most preko J. Morave kod s. Lalinac (Niš)*, za glavni projekat (prof. N.Spasojević, Institut GAF u Nišu) sa kontinualnim glavnim nosačem duž pet polja raspona $30,5+3\times 31,0+30,5=154,0$ m, na 4 rečna i dva obalna stuba, urađen je geotehnički elaborat [4] za koji je duž ose mosta izvedeno sedam istražnih bušotina dubina 12,0-15,6 m, sa mestimičnim penetracionim sondiranjem (SPT) za određivanje pokazatelja čvrstoće i deformabilnosti krupnozrnih (nevezanih) materijala. Ispod zaglinjenih peskova i šljunkova u obalama i ispod korita reke nađeni su šljunkovi i peskovi debljine 3-3,5 m, preko podine od starije (tercijarne) sivoplave jezerske gline-glinca, slojevito pekovite i laporovite, znatne debljine. Na osnovu pokazatelja fizičko-mehaničkih svojstava, određenih penetracionim sondiranjem i laboratorijskim ispitivanjima, geomehnički proračuni 'nosivosti' i sleganja urađeni su za varijante temeljenja stubova na *sanducima* i bušenim *šipovima*. Za merodavna ekscentrična opterećenja, kao dozvoljena u pogledu loma tla, sračunate su potrebne dimenzije osnova *sanduka* (neznatno veće od planiranih), kao i veličine i vremenski tok njihovog sleganja. Za *šipove* prečnika 150 cm određene su potrebne dubine (*h*) baza šipova u tercijarnoj glini, za koje je u opisanom dvoslojnom terenu (kvartarni krupnozrni nanos na tercijarnoj glini) uočeno da mogu biti *analitički iskazane* implicitno ali *direktno* u zavisnosti od željenog dozvoljenog vertikalnog opterećenja (V_a) šipa. Kraća analiza ukazala je da će sleganja šipova biti upola manja od sleganja sanduka.

Za izgradnju i korišćenje pešačkog *mosta preko Nišave kod Gradske toplane u Nišu*, geotehnički uslovi temeljenja [5] određeni su za tri nagrađena idejna rešenja različitih konstrukcija i varijanti temeljenja, što je znatno otežalo zadatak istraživanja, pre svega geomehničke proračune prema metodologiji opisanoj u tački 2 ovoga rada. Izvedeno je 6 istražnih bušotina dubina 10-18 m sa penetracionim sondiranjem (SPT) u nevezanim slojevima i utvrđene generalno dve geološke stenske mase: fluvijalni *kvartarni nanos* (peskovi i šljunkovi različitih granulacija i zaglinjenosti) na neogenoj *tercijarnoj podini* od manje ili više laporovite gline, slojevito različito peskovite, sa mestimičnom pojavom glinca ili čvršćih zona (koje su lokalno znatno otežale

⁵⁾ Bowles, J.E. (1982): *Foundation analysis and design*, McGraw-Hill, Singapore, 105.

spuštanje i izvlačenje zaštitnih kolona iskopa za šipove). Na osnovu profila terena i laboratorijskih rezultata usvojeni su računski profili terena za geomehaničke proračune i za varijante sa masivnim temeljima ili sanducima urađeni su, programima *GeoData2*, dijagrami za dimenzionisanje stopa na osnovu dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla ili dozvoljenog sleganja i rotacije temelja (sa proverom drugog kriterijuma). Na osnovu napred opisane zavisnosti 'nosivosti' (V_a) šipa od dubine (h) u baznom sloju, sačinjen je i primenjen program sa dijagramom za dimenzionisanje bušenih šipova u dvoslojnom terenu sa nasipom iznad šipa, prema Sl.4. Most je izgrađen prema projektu prof. N.Spasojevića (Institut GAF u Nišu), sa grednim glavnim nosačem raspona 56 m, čiji najveći deo nosi kosa užad preko visokog srednjeg stuba na šipovima uz levu obalu, sa ukopanim levim obalnim stubom koji drži krajeve zatega i desnim obalnim stubom na šipovima. Za projektovana opterećenja srednjeg i desnog obalnog stuba sa po dva šipa prečnika 120 cm dopunom geotehničkog elaborata [5] određene su potrebne dubine šipova i sračunata njihova sleganja.

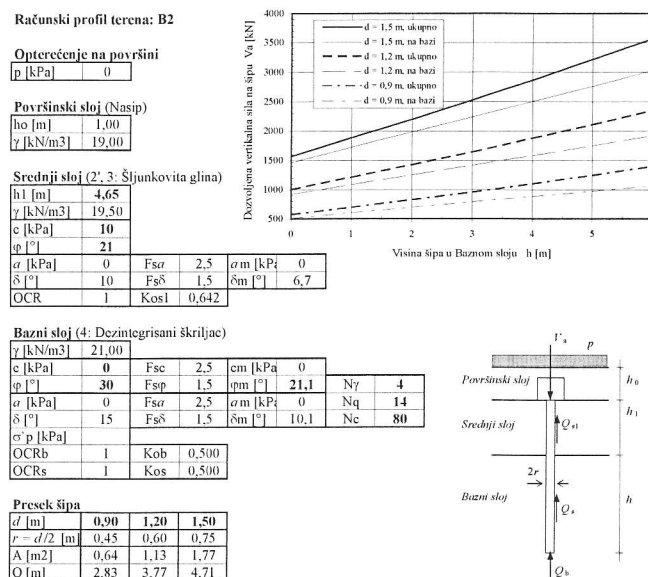
Drumski **most preko r. Jablanica kod s. Cekavica (Leskovac)** projektovan je kao betonski gredni sa dva polja po 20 m, na tri stuba sa po dva bušena šipa, na mestu mosta dužine 4×10 m srušenog agresijom NATO 1999. godine. Za geotehnički elaborat [6] urađene su tri istražne bušotine dubina po 10 m, na osnovu kojih je građa terena računski mogla biti prikazana u dve stenske mase (aluvijalni nanos od peskova i šljunkova preko podine od gline, naizmenično prašinovite i peskovite) pa su proračuni sa dijagramima za dimenzionisanje šipova urađeni kao na Sl.1.

U toku je izgradnja drumskog **mosta preko Nišave na bulevaru "Mediana" u Nišu**, širine 27,50 m, sa tri (kolovoznom pločom povezana) kontinualna sandučasta glavna nosača raspona $25,0+49,2+25,0=99,2$ m, na četiri stuba temeljena svaki na šest bušenih šipova prečnika 150 ili 120 cm (projekat PO "Mostprojekt", Beograd). Posle geotehničkog elaborata sa tri istražne bušotine dubina 10-30 m za izradu idejnog projekta, kao podloga za glavni projekat urađen je elaborat [14] sa četiri bušotine dubina 20,2-21,5 m, po jedna u osi svakog stuba. Geotehnički profili bušotina bili su slični kao za ostale mostove preko Nišave u Nišu [1,2,5] ali sa heterogenijim građama krupnozrnog kvartarnog nanosa (mestimično sa glinom i sa proslojcima ili blokovima slabije vezanog 'peščara' u prelaznoj najnižoj zoni) i podine od jezerskih

tercijarnih sedimenata (laporovita glina sa različitim prisustvom peska ili šljunka, koja lokalno prelazi u čvršći glinac). Pri izradi susednih šipova za levi obalni stub bilo je pojave blokova peščara koji su gotovo onemogućili utiskivanje zaštitnih kolona samo za pojedine šipove ovoga stuba, zbog čega je predloženo njihovo skraćivanje uz uvećanje prečnika. Za detaljnije dimenzionisanje šipova u takvim uslovima, u okviru sistema *GeoData2* autor je sačinio program sa dobijanjem dijagrama za dimenzionisanje bušenih šipova u višeslojnom terenu sa nasipom iznad šipa (sa određivanjem potrebne dubine z baze ispod vrha šipa, u zavisnosti od željene dozvoljene sile V_a), prema Sl.5. Vertikalna nosivost šipa računa se na osnovu geomehaničkih pokazatelja svojstava tla u slojevima terena, prema Pravilniku (1990). Detaljnim proračunima za pretpostavke različitih nivoa mobilizacije bočnog trenja i dr. predložene su dimenzije i visinski položaji šipova za četiri stuba mosta, kao na Sl.6, sa veličinama sleganja šipova i dijagramom orijentacionog vremenskog toka sleganja za različita vremena građenja mosta.

Za potrebe rekonstrukcije **železničkog mosta preko r. Jerma na pruži Pirot-Dimitrovgrad** (rešenje *Mostogradnje*, Beograd) teren je istražen istražnim bušenjem sa opitima standardne penetracije (SPT) i napred opisanom metodologijom dimenzionisani su šipovi uz obalne stubove [15].

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.)



Sl.4 Primer dimenzionisanja šipa u dvoslojnom tlu sa nasipom

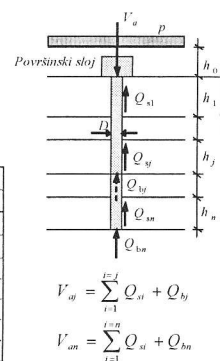
PRORAČUN DOZVOLJENOG VERTIKALNOG OPTEREĆENJA 'BUŠENOG' ŠIPA KRUŽNE OSNOVE Prema Pravilniku (Sl.list SFRJ 15/1990), geomehnički programski sistem GeoData2 (v.0411, M.Sam.)

Šip: U težištu stuba 3
Kota vrha: 190,40 m n.v.
Prečnik $D = 1,50$ m
 $F_{sc} = 2,5$
 $F_{sp} = 1,5$

Opterećenje pored vrha šipa
 $p = 0$ kPa
srednje $h_0 = 2,80$ m
 $\gamma_0 = 11,0$ kN/m³
 $p + \gamma_0 h_0 = 30,8$ kPa

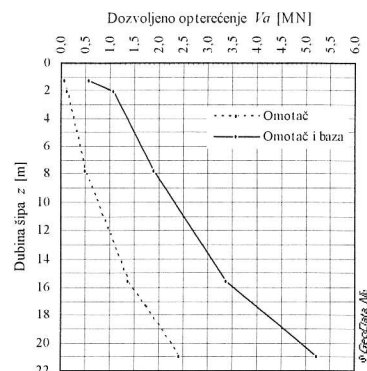
Profil terena
Istražna bušotina: B3 (N1 2004)
Sadašnja kota terena: 194,61 m n.v.
Kota NPV: 193,01 m n.v.
Dubina NPV: 1,60 m

R.br.	Sloj	D.kota m	z m	h m	γ_{ef} kN/m ³	c' kPa	φ' °	c_m kPa	φ_m °	$a = 0,8c'$		$\delta = 0,8\varphi$		σ_p' kPa	q' kPa	σ_{v0}' kPa	OCR	k_0
										a	δ	a	δ					
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

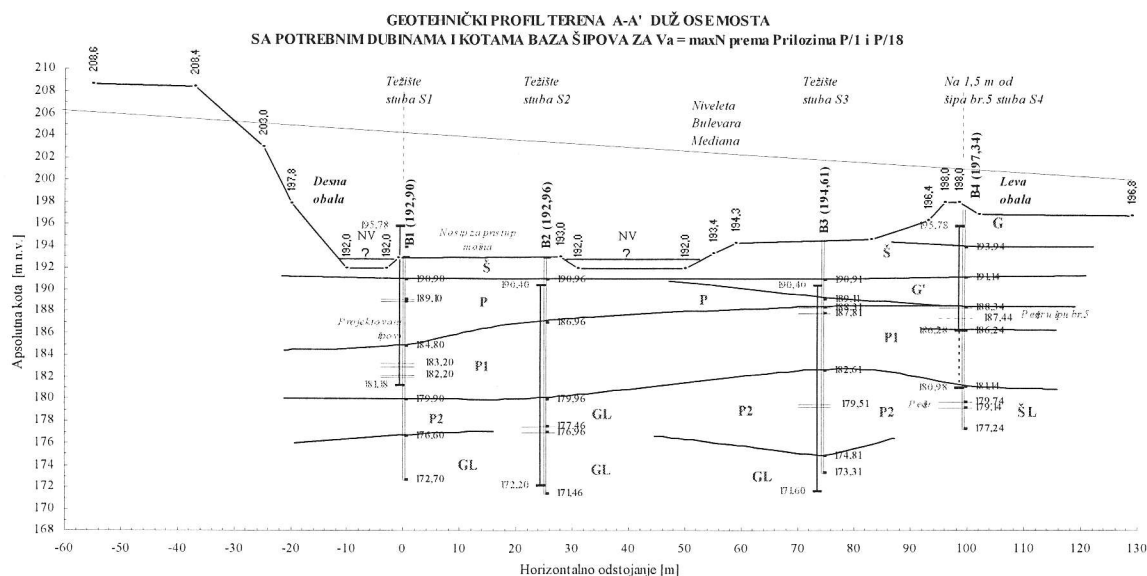


Prema navodu konstruktora, za šipove stuba S3 maxN [kN] = 5017

R.br.	Sloj	D.kota m	Dubina m	Deblj. h m	Po omotaču u sloju		Ukupno	Za bazu šipa na dnu sloja						Svega
					p_s kPa	A_s m ²		N_{st} kN	N_{qr} kN	N_{cr} kN	A_b m ²	Q_b kN	V_a 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
2	P Pesak	188,31	2,09	0,80	7,2	3,77	27	113	3,6	13,2	82	549	1,77	969
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
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
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
6	GL Glinac													



SL.5 Primer dimenzionisanja šipa u višeslojnom tlu sa nasipom



OPIS TLA U SLOJEVIMA

- G Glina, prašinasto-peskovita, srednje plastičnosti, tvrdoplastične do polučvrste konzistencije, tamnobraon
Š Šljunak, peskovit, $D_{max} = 50-100$ mm, različito zaglajnen, srednje zbijen
G' Glina, prašinasto-peskovita, laporovita, srednje plastičnosti, polučvrste konzistencije, sivozelena
P Pesak, sitnozrn (u B1 gore krupnozrn sa šljunkom), čest do slabije vezan, srednje zbijen, svetlobraon
P1 Pesak, sitnozrn i srednjuzrn, zbijen, poluvezan laporovitom glinom (u B2 sa slojevima glince, u B4 gore šljunak), braon
P2 Pesak, u B1 srednjuzrn sa šljunkovitim ili poluvezanim proslojcima, u B3 sitnozrn, čest i slabije zbijen, svetlobraon
ŠL Šljunak, poluvezan laporovitom glinom, pretežno sitnozrn i jako peskovit, $D_{max} = 50$ mm, zbijen/konsolidovan
GL Glinac (jako peskovita laporovita glina), sa kongregacijama karbonata, (projektno konsolidovan, sivozelen
- Pesčar (kao čvrsto vezani krupnozrni pesak) je u proslojcima:
B1 189,11-188,90 (20 cm, moguće smace)
183,20-182,90 (30 cm)
182,20-182,00 (20 cm)
B2 177,46-176,96 (50 cm)
B3 188,31-187,81 (50 cm)
179,51-179,21 (20 cm)
B4 179,74-179,14 (60 cm)
188,34-187,44 (90 cm u šipu br.5 na 1,5-2 m od B4)

SL.6 Primer geotehničkog profila terena sa položajem dimenzionisanih šipova

4 ZAKLJUČAK

Kako je poznato, u *početnoj fazi* razvoja savremene geotehnike određivanje geotehničkih uslova temeljenja (izgradnje i korišćenja) građevinskih objekata svodilo se na geološka i/ili dubinska istraživanja posle kojih je građevinac rešavao konstruktorske (projektantske i izvođačke) zadatke uz skromne mogućnosti geotehničkih proračuna. Sa burnim razvojem metoda geomehaničkih ispitivanja i proračuna u poslednje tri decenije (čiji je svedok i u našim uslovima aktivan učesnik i autor ovoga rada), uz 'geološke' podloge projekata sve se više pridodaju geomehanički proračuni, često neodgovarajući i netačni (više primera je u arhivi autora).

Tako, u *sadašnjoj fazi* domaćeg društvenog razvoja i stručne prakse, često nastaje preplitanje i sputavanje kompetencija autora geotehničkih podloga i konstruktera, naročito kada dostavljeni proračuni ograničavaju izbor mogućih rešenja. Pošto su geotehnički elaborati *podloge* za projektovanje, geomehanički proračuni treba i mogu da ponude 'repertoar' računskih rešenja od kojih će konstrukter odabrati i računski dokazati tehnno-ekonomski najpovoljnije. Programski sistemi *GeoData1&2* razvijaju se za takvu namenu i uspešno se primenjuju u okviru *metodologije* geotehničkih istraživanja i ispitivanja opisane u poglavlju 2.

U *narednoj fazi*, u organizovanijem i bogatijem društvu, pošto složenost i specifičnosti geotehničkih problema zahtevaju odgovarajuću specijalizaciju konstruktera⁶⁾, u okviru projekta konstrukcije građevinskog objekta potreban geotehnički deo projekta sa proračunima treba da radi *projektant objekata građevinske geotehnike*⁷⁾ dok geolog kao *izvođač radova na izradi geotehničkih podloga*⁷⁾ prikazuje genezu i fizičko-mehanička svojstva terena i nije dužan niti ovlašćen da radi geomehaničke proračune.

⁶⁾ Zbog čega se u svetu, pri građevinskim fakultetima i samostalno, konstituiše sve veći broj geotehničkih odseka, instituta i sl., pa je i Međunarodno društvo za Mehaniku tla i Fundiranje (ISSMFE) promenilo naziv u Međunarodno društvo za Mehaniku tla i Geotehniku (ISSMGE).

⁷⁾ Prema opisu licenci Inženjerske komore Srbije.

Autorova iskustva u određivanju geotehničkih uslova temeljenja sa obimnim geomehaničkim proračunima za potrebe temeljenja 16 mostova i preko dve stotine drugih objekata potvrđuju ispravnost takve metodologije. Građevinci-geotehničari i geolozi sarađivali su u domenu svojih znanja i kompetencija – što je dalo optimalne rezultate u izradi geotehničkih podloga i razvoju pojedinih metoda (npr. proračuna plitkih temelja i šipova).

REFERENCE

- [1] Samardaković, M. (1988): *Analiza stabilnosti temelja sa proračunom dozvoljenog opterećenja i sleganja srednjih stubova mosta preko Nišave na ulazu u Tvrdavu u Nišu*, Institut GF u Nišu, V+17 strana.
- [2] Samardaković, M. (1990): *Geotehnički uslovi temeljenja novog mosta preko Nišave kod Tvrdave u Nišu*, Institut GF u Nišu i DP "Geoistrage", Niš, X+140 strana.
- [3] Samardaković, M. (1992): *Geotehnički uslovi temeljenja podvoznjaka u ul. Zetska u Nišu*, Institut GF u Nišu i DP "Geoistrage", Niš, X+56 strana.
- [4] Samardaković, M. (1992): *Geotehnički uslovi temeljenja mosta preko J. Morave kod s. Lalinac (Niš)*, Institut GF u Nišu, Niš, X+91 strana.
- [5] Samardaković, M. (1999): *Geotehnički uslovi temeljenja novog pešačkog mosta preko Nišave kod Toplane u Nišu*, Institut GAF u Nišu, Niš, XI+77 strana.
- [6] Samardaković, M. (2000): *Geotehnički uslovi temeljenja mosta preko r. Jablanica kod s. Cekavica (Leskovac)*, DP "Geo-projekt", Niš, X+35 strana.
- [7] Samardaković, M. (2002): *Geotehnički uslovi sa predlogom mera za temeljenje rečnih stubova mosta preko J. Morave u Grdelici*, DOO "Geoprojekting", Niš, XI+15 strana.
- [8] Samardaković, M. (2002): *Geotehnički uslovi temeljenja za potrebe sanacije drumskog mosta preko r. Dašnica u Grejaču (Aleksinac)*, DP "Geoinženjering", Niš, VII+29 strana.
- [9] Samardaković, M. (2002): *Geotehnički uslovi temeljenja drumskog mosta preko Gabrovačke reke u ul. D. Popovića u Nišu*, Institut GAF u Nišu, Niš, X+50 strana.
- [10] Samardaković, M. (2003): *Geotehnički uslovi saniranja drumskog mosta preko reke Nišave u Ostrovici (Niš)*, DP "Geoinženjering", Niš, VII+23 strane.
- [11] Samardaković, M. (2003): *Geotehnički uslovi temeljenja drumskog mosta preko Berinizvorske reke u s. Zvonce (Babušnica)*, AD "Geoinženjering", Niš, VII+21 str.
- [12] Samardaković, M. (2003): *Geotehnički uslovi temeljenja drumskog mosta "Rekarci" preko r. Jablanica kod Lebana*, AD "Geoinženjering", Niš, VIII+26 strana.

- [13] Samardaković, M. (2004): *Geotehnički uslovi temeljenja drumskog mosta preko Gabrovačke reke u ul. Višegradska u Nišu*, AD "Geoinženjering", Niš, VIII+32 strane.
- [14] Samardaković, M. (2004): *Geotehnički uslovi temeljenja drumskog mosta preko Nišave na bulevaru "Mediana" u Nišu*, Institut GAF, Niš, XI+53 strane.
- [15] Samardaković, M. (2005): *Geotehnički uslovi rekonstrukcije mosta preko reke Jerma na km 088+195 magistralne pruge Niš-Dimitrovgrad*, AD "Geoinženjering", Niš, 14 strana geomehaničkih proračuna sa interpretacijim SPT opita i dimenzionisanjem šipova.
- [16] Samardaković, M. (2005): *Geotehnički uslovi rekonstrukcije drumskog mosta preko Lukavačke reke u Dimitrovgradu*, Institut GAF, Niš, XI+34 strane.
- [17] Samardaković, M. (1996): Geomehanički programski sistemi *GeoData1* i *GeoData2*, *Zbornik radova Međunarodnog naučnog skupa Pravci razvoja geotehnike* (Beograd, 18-19. novembar 1996), RGF i Sava centar, Beograd, str. 395-404.
- [18] Samardaković, M. (1999): Određivanje pokazatelja deformabilnosti tla za analizu interakcije sa plitkim temeljima (I) - Ekvivalentne elastične konstante tla, *Zbornik radova XXI kongresa JUDIMK*, Beograd, str. 211-216.

SOME EXPERIENCES IN DETERMINATION OF THE FOUNDATION CONDITIONS OF SIXTEEN BRIDGES

Miroljub Samardaković*

Abstract: On the basis of the personal experience in determination of the foundation conditions of 16 bridges, out of which 9 are in the territory of the city of Nis, the author describes the favorable methodology for determination of these conditions on the basis of the field, laboratory and computational research and investigation, as well as the fundamental results for every bridge. The applied geotechnical solutions with the shallow foundations in the soil deposits and the jointed rock, as well as on the drilled piles of large diameter, have been presented along with the possibilities for dimensioning of these foundations with the author's geomechanical program system *GeoData2*.

* Civ. Eng., Geotechnical department, Institut GAF, Niš.