

IZDAVAČ:

Savez građevinskih inženjera Srbije
Beograd, Kneza Miloša 9/1, Tel/Faks: (011) 32 41 656

PROGRAMSKI ODBOR SAVETOVANJA:

KOPREDSIEDNICI:

Prof.dr Milan MAKSIMOVIĆ, dipl.inž.grad., Beograd
Prof.dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.grad., Novi Sad

ČLANOVI:

Prof.dr Petar ANAGNOSTI, dipl.inž.grad., Beograd
Prof.dr Milan DIMKIĆ, dipl.inž.grad., Beograd
Dr Nenad ŠUŠIĆ, dipl.inž.grad., Beograd
Prof.dr Slobodan ČORIĆ, dipl.inž.grad., Beograd
Prof.dr Milinko VASIĆ, dipl.inž.geol., Novi Sad
Prof.dr Mitar ĐOGO, dipl.inž.grad., Novi Sad
Prof.dr Petar SANTRAČ, dipl.inž.grad., Subotica
Prof.dr Verka PROLOVIĆ, dipl.inž.grad., Niš
Prof.dr Slava ČORIĆ, dipl.inž.grad., Beograd
Prof.dr Zvonko TOMANOVIĆ, dipl.inž.grad., Podgorica
Mirosljub SAMARDAKOVIĆ, dipl.inž.grad., Niš

EDITOR: Prof.dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.grad., Novi Sad

TEHNIČKI UREDNIK: Mr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž.grad., Beograd

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

TIRAŽ:

220 primeraka

ŠTAMPA:

Akademski izdanja, Zemun

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624.1(082)

НАУЧНО-стручно саветовање Геотехнички аспекти грађевинарства (4 ; 2011 ; Златибор) Zbornik radova / Četvrt naučno-stručno savetovanje Geotehnički aspekti građevinarstva, Zlatibor, 1.-3. novembar 2011. godine ; [organizatori] Savez građevinskih inženjera Srbije ... [et al.] ; editor Radomir Folić. - Beograd : Savez građevinskih inženjera Srbije, 2011 (Zemun : Akademski izdanja). - XII, 536 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 220. - Str. XI: Predgovor / Radomir Folić, Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-88897-00-6

1. Фолић, Радомир [уредник] [аутор додатног текста], 1940- 2. Савез грађевинских инжењера Србије (Београд)

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

COBISS.SR-ID 186991628

SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE

SRPSKO DRUŠTVO ZA MEHANIKU TLA I GEOTEHNIČKO IŽENJERSTVO

u saradnji sa

Institut IMS AD, Beograd
Saobraćajni institut CIP d.o.o., Beograd
AD "Putevi" Užice

ZBORNİK RADOVA

ČETVRTO NAUČNO-STRUČNO SAVETOVANJE

GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA

Editor: Prof. dr Radomir Folić

Zlatibor, 1. – 3. novembar 2011. godine

LITERATURA

- Boulanger R. W., Idriss I. M. (2005). New criteria for distinguishing between silts and clays that are susceptible to liquefaction versus cyclic failure. 25th Annual USSD Conference, Salt Lake City, Utah. 357-366.
- Idriss I. M., Boulanger R. W. (2004). Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes. Proc. of the 11th ICSDEE and 3rd ICEGE, Barkley, California, pp 32-56.
- Moss R. E. S., Seed R. B., Kayen R. E., Stewart J. P., Der Kiureghian A., Cetin. K. O. (2006). CPT Probabilistic and Deterministic Assessment of In Situ Seismic Soil Liquefaction Potential. Journal of geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- New York State Department of Transportation. (2007). Liquefaction Potential of Cohesionless Soil: Geotechnical Design Procedure.
- Prakash S., Puri K. V. (2010). Recent advances in liquefaction of fine grained soils. 5th Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of Professor I. M. Idriss. San Diego, California, No. 4.17a, 1-6.
- Republički seizmološki zavod. 2010. Izveštaj o rezultatima i aktivnostima Republičkog seizmološkog zavoda posle zemljotresa kod Kraljeva 03.11.2010 u 01:56.
- Robertson P. K., Wride (Fear) C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal 35, 442-459.
- Seed R. B., Cetin. K. O., Moss R. E. S., Kammerer A. M., Wu J., Pestana J. M., Riemer M. F. (2001). Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic site response evaluation. 4th Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic and Symposium in Honor of Professor W. D. Liam Finn, San Diego, California, No. SPL-2, 1-45.

UDK: 725.13.025.4 (497.1)

69.059.2/3

Izvorni naučni članak

GEOTEHNIČKI USLOVI SANACIJE DOMA NARODNE SKUPŠTINE U BEOGRADU

Gordana Hadzi-Niković*, Slobodan Čorić*, Stanko Čorić**

* Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Đušina 7, ghnikovic@rgf.bg.ac.rs

** Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. Kralja Aleksandra 73

REZIME

Dom Narodne Skupštine je jedan od naših najznačajnijih spomenika kulture, na kome su uočena brojna oštećenja pojedinih elemenata konstrukcije i koji, po sadašnjim propisima, ne ispunjava uslove potrebne za dinamičku stabilnost objekta. Da bi se predložile mere sanacije objekta, bilo je neophodno izvođenje detaljnih geotehničkih istraživanja i utvrđivanje: širine i dubine trakastih temelja, veličine dozvoljenih opterećenja za postojeće temelje i upoređivanje sa stvarnim opterećenjima temelja, kao i veličine sleganja postojećih temelja za stvarna opterećenja od objekta i upoređivanje sa dozvoljenim sleganjima za datu vrstu temelja i temeljnog tla. Sleganja su određena konvencionalnom metodom, kao i metodom konačnih elemenata i dobijeni su slični rezultati. U saradnji sa projektantima sanacije konstrukcije predložene su mere za trajno rešenje problema statičke i dinamičke stabilnosti.

KLJUČNE REČI: geotehnička istraživanja, oštećenja konstrukcije, nosivost tla, sleganja, geotehnički model, dinamička stabilnost, mere sanacije.

GEOTECHNICAL CONDITIONS FOR THE REMEDIAL MEASURES FOR THE PARLIAMENT BUILDING IN BELGRADE

ABSTRACT

The Parliament building is one of the biggest and most beautiful cultural monuments in Serbia. Right now, there are numerous structural damages over the building and according to the present code of practice the building doesn't satisfy the dynamic stability. In order to propose remedial measures for the building, at first, it was necessary to perform detailed geotechnical investigations to determine the breadth and the depth of shallow strip foundations. After that, it was also necessary to define the existing and the allowable loading and the settlement of the foundations. The settlements are determined by two methods: conventional and finite element. The obtained values are very close. In the cooperation with engineers responsible for the rehabilitation of structures the following remedial measures are proposed: micropiles, diaphragms or their combination.

KEY WORDS: geotechnical investigations, structural damages, bearing capacity, settlement, geotechnical model, dynamic stability, remedial measures.

UVOD

Dom Narodne Skupštine Republike Srbije u ul. Trg Nikole Pašića br. 13 u Beogradu ima ozbiljna oštećenja pojedinih delova konstrukcije, koja su nastala na objektu tokom više od 70 godina njegovog korišćenja. Pored toga, ovaj monumentalni objekat više ne zadovoljava savremene propise u pogledu otpornosti na dejstvo zemljotresa. Radi iznalaženja trajnog rešenja problema sleganja i problema dugoročne dinamičke stabilnosti i statičke održivosti konstruktivnog sistema objekta, bilo je potrebno definisanje geotehničkih uslova i interakcije sistema teren-objekat. Zbog toga su na predmetnoj lokaciji izvedena detaljna geotehnička istraživanja.

Radi definisanja inženjerskogeoloških svojstava terena, kao područja međusobnog uticaja prirodne litogenetske konstrukcije i objekta, izvedena su terenska istraživanja i laboratorijska ispitivanja:

- Inženjerskogeološko rekognosciranje površine terena sa ekspertskim pregledom zgrade, susednih objekata i saobraćajnica;
- Istražno bušenje 6 istražnih bušotina, dubine 19 do 38m, ukupne dužine bušenja 140.5m, sa detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem jezgra istražnih bušotina;
- Opiti standardne penetracije, izvedeni u 2 istražne bušotine: B-2 i B-4; ukupno je izvedeno 11 opita standardne penetracije (5 opita u bušotini B-2 i 6 opita u bušotini B-4), pri čemu su, opitima obuhvaćene sve izdvojene litološke sredine;
- Istražno iskopavanje 2 istražne jame, do dubine fundiranja, sa detaljnim inženjerskogeološkim kartiranjem iskopa: jedne sa spoljne, zapadne strane objekta, J-1, a druge u okviru gabarita objekta, iz atrijuma prema Kosovskoj ulici;
- Ugradnja pijezometara i merenje nivoa podzemnih voda, u dve istražne bušotine B-5 i B-6, sa dužinom pijezometarske konstrukcije od po 12m;
- Refrakciona seizmička ispitivanja na površini terena, duž 2 profila i u bušotinama,
- Seizmički karotaž istražne bušotine B-1,
- Laboratorijska geomehanička ispitivanja 18 neporemećenih uzoraka tla iz svih izdvojenih litoloških članova, na kojima je izvedeno 18 identifikaciono klasifikacionih opita, 16 opita edometarske stišljivosti, 8 opita direktnog smicanja i 16 opita jednoaksijalne čvrstoće na pritisak;
- Laboratorijska geohemijska ispitivanja uzoraka podzemne vode.

Detaljna geotehnička istraživanja su izvedena u julu i avgustu 2010. Godine (Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010).

Istražno bušenje, ugradnja i razrada pijezometara i opiti standardne penetracije izvedeni su od strane „Kosovoprojekta«, d.o.o., a pod nadzorom Rudarsko-geološkog fakulteta.

Istražna iskopavanja temelja izveo je »Kosbet« iz Beograda.

Terenska i laboratorijska geofizička ispitivanja poverena su »NIS« – Servisu za geofiziku. Interpretaciju rezultata geofizičkih ispitivanja i formiranje geofizičkog modela za seizmičku mikroneonizaciju terena je uradio Seizmološki zavod Srbije.

Laboratorijska geomehanička ispitivanja uzoraka tla izvedena su u Laboratoriji za mehaniku tla Rudarsko-geološkog fakulteta.

Laboratorijska geohemijska ispitivanja uzoraka podzemne vode su urađena u Zavodu za javno zdravlje RS.

Na osnovu rezultata istraživanja, od strane Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, utvrđena su inženjerskogeološka svojstva terena i, u skladu sa tim, definisani geotehnički uslovi za izvođenje mera koje bi trebalo da obezbede dugoročnu stabilnost objekta.

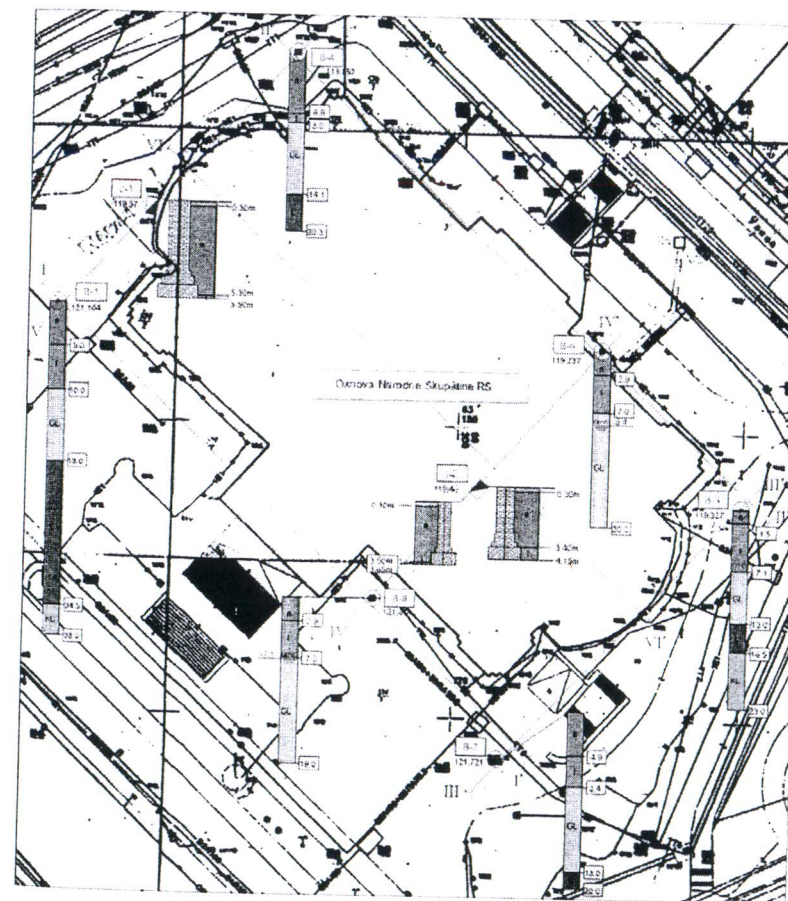
Rešenje problema sleganja i problema dugoročne dinamičke stabilnosti i statičke održivosti konstruktivnog sistema zgrade povereno je Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu koji je u ovoj fazi rada, definisao idejno rešenje sanacije konstrukcije Doma Narodne skupštine u Beogradu.

GEOTEHNIČKA SVOJSTVA TERENA

Objekat se nalazi na platou između Bulevara Kralja Aleksandra i ulica: Vlajkovićeve, Kosovske i Takovske u Beogradu. Površina istražnog prostora iznosi približno 240 x 135 m, odnosno ≈ 3.24 ha.

U morfološkom smislu, istražni prostor predstavlja deo padine koja se od Terazija spušta ka Dunavu sa kotama, u intervalu, od približno 122 mnv kod Bulevara Kralja Aleksandra do 115 mnv u području Kosovske ulice.

U geološkoj građi terena, do dubine istraživanja, učestvuju: savremene veštačke tvorevine (nasip), prašnasti sedimenti kvartarne starosti, lesne naslage i laporovite gline, glinoviti lapori i krečnjaci tercijarne starosti, sl.1.



Slika 1. Položaj istražnih bušotina i jama
Figure 1. Locations of boreholes and trial pits

Teren je, u gornjem delu, izgrađen od nasipa (n) promenljive debljine 1.5 - 6.9m (izvan gabarita objekta), u čijoj su podlozi stišljive i na promenu vlažnosti, osetljive, lesne naslage (l) debljine 1.1m u bušotini B-4, do 5.6m u bušotini B-3. Od dubine 6.6 - 10.0m od površine, teren izgrađuju prekonsolidovani glinovito-laporoviti sedimenti: laporovite gline GL, promenljive debljine, od 5.4m u bušotini B-1 do 13.0m u bušotini B-6 i lapori L, takode promenljive debljine, od 3.5m u bušotini B-3 do ≈19.0m u bušotini B-1, ispod kojih se nalazi tercijarni krečnjak K, neutvrđene debljine. Najmanja dubina na kojoj se krečnjak pojavljuje je 16.5m od površine terena, na koti ≈ 103m, u bušotini B-3.

Podzemna vode nije konstatovana u bušotinama B-1, B-2 i B-3. U ostalim bušotinama je, u vreme bušenja (juli 2010.god.), izmeren nivo podzemne vode na promenljivim dubinama: 7.10m od površine terena, u bušotini B-4, do 8.40m od površine terena, u bušotini B-6. Nakon dvomesečnog osmatranja, nivo podzemne vode se nalazio na dubini ≈ 9.50m od površine terena. Maksimalni nivo podzemne vode je moguć u dubljim delovima lesnih naslaga i u zoni veće izdellenosti laporovitih glina. Generalno, ovaj nivo prati nagib površine terena i nalazi se na dubini 7.0-9.0m od površine terena.

Fundiranje objekta, najvećim delom, izvedeno je u lesnim naslagama, osim za manji deo temelja ispod jugoistočnog dela objekta, prema Bul. Kralja Aleksandra, čije se temeljne spojnice nalaze na kontaktu lesnih naslaga i laporovitih glina.

U prijemu i prenošenju opterećenja od objekta učestvuju kvartarne lesne naslage i tercijarne laporovite gline i to:

- Lesne naslage (l), prašinsto-glinovite, promenljive debljine od 1.5 do 3.8m i
- Ispucale laporovite gline kore raspadanja (GL)promenljive debljine od 6.6 do više od 13.0m.

Nestišljivu podlogu, „bedrock“ predstavljaju tercijarni lapori, na dubini od 13.0 do više od 20.0m. U Tabeli br. 1 su prikazani najvažniji parametri temeljnog tla merodavni za geostatičke proračune

Tabela 1. Merodavni parametri tla za geostatičke proračune
Table 1. Adopted parameters of soils for geostatical analyses

Oznaka i debljine sloja u gabaritu objekta	Zaprem. težina tla γ/γ' (kN/m ³)	Ugao unutrašnjeg trenja tla φ (^o)	Kolezija tla c (kPa)	Modul stišljivosti Ms (kPa)	Napomena
n	1.5-5.30	19.0	-	-	-
l	1.2-3.8	18.2 10	25	8000 3500	Les prir.vlažan Potopljen les
GL	6.6-13.0	19.3	23	8500	Ispucala glina

TEHNIČKI PODACI O OBJEKTU

Dom Narodne Skupštine je jedan od naših najvećih i najlepših spomenika kulture iz prve polovine 20. veka. Objekat je izgrađen u baroknom stilu, sa zidovima od opeke obloženim fonolitom i veštačkim kamenom. Objekat je nepravilnog, približno pravougaonog oblika, u osnovi površine ≈ 55 x 110 m. Sastoji se od centralne zone i dva bočna krila, u kojima su smešteni atrijumi. Objekat ima podrum, suteran, prizemlje, dva sprata i potkrovlje. U konstruktivnom smislu, to je krut zidani objekat koji je fundiran na temeljnim trakama. Međuspratne konstrukcije su armiranobetonske ploče ojačane rebrima

i armirane krutom armaturom. Objekat nema dilatacionih spojnica. Raskošni holovi i plenumske sale se visinski protežu na dve etaže, tako da su u ovim zonama formirani značajni otvori kroz međuspratne konstrukcije. Pored toga, prostrane vertikalne komunikacije – stepeništa, koja se nalaze u centralnoj zoni objekta, takode formiraju otvore kroz međuspratne konstrukcije. Sve ovo značajno narušava integritet i jedinstvo objekta kao celine i bitno umanjuje njegovu krutost u ravni međuspratnih konstrukcija, što je posebno opasno kada je objekat izložen seizmičkim uticajima.

Izgradnja objekta je započeta u avgustu 1907.god. Do prvih deformacija na objektu došlo je još u toku građenja, 1909.god., usled čega su radovi na izgradnji objekta obustavljeni sve do 1911.god. Od 1911. do 1912.god. vršena je rekonstrukcija objekta i nakon toga je nastavljena izgradnja, ali je zbog istorijskih dešavanja zgrada završena tek 1937.god.

Originalan građevinski projekat nije sačuvan, a prema našim terenskim istraživanjima, objekat je fundiran na betonskim temeljnim trakama (sa visinom betonske stope 75 cm), promenljive širine i na promenljivoj dubini fundiranja):

- B₁=2.30m (T₁, spoljni temelj, otkopan istražnom jamom J-1 u zapadnom delu objekta), na dubini fundiranja 5.50m od površine trotora (kota 119.57m, D_{min}=D_f=5.50m).
- B₂=1.95m (T₂, unutrašnji podužni temelj, otkopan istražnom jamom J-2, u jugoistočnom atrijumu), na dubini fundiranja 4.15m od površine trotoara (kota 119.46m, D_{min}=2.41m) i
- B₃=1.45m (T₃, unutrašnji poprečni temelj, otkopan istražnom jamom J-2 u jugoistočnom atrijumu) na dubini fundiranja 3.65m od površine trotoara (kota 119.57m, D_{min}=1.41m).

Analiza opterećenja, dobijena od inženjera statičara, pokazala je da su izračunata opterećenja u rasponu: 236 do 298 kPa za stalno opterećenje i 9.20-16.0 kPa za korisno opterećenje, što dovodi do prosečnog opterećenja $\sigma=267$ kPa za stalno i dodatnih 12 kPa za korisno opterećenje, tako da je ukupni srednji napon koji temeljne trake prenose na tlo $\sigma_{\text{sr}} \approx 280$ kPa.

GEOSTATIČKI PRORAČUNI

Proračuni graničnih opterećenja su urađeni za utvrđene geotehničke modele terena GMT-1, GMT-2 i GTM-3, kao i za različite moguće kombinacije širina temelja i dubina fundiranja, kao i za uslove prirodno vlažnog tla i provlaženog tla.

Granično vertikalno centrično opterećenje temelja sračunato je po postupku iz Pravilnika o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, a faktor sigurnosti F_s u pogledu dozvoljene nosivosti temeljnog tla je dobijen u odnosu na prosečno opterećenje $\sigma_{\text{sr}}=280$ kPa.

Izvršene analize graničnih opterećenja i faktora sigurnosti u pogledu opšteg loma, za sve, terenskim radovima utvrđene, širine temelja i dubine fundiranja, pokazuju da su faktori sigurnosti, u sadašnjim uslovima (tlo je u gabaritu objekta konsolidovano usled opterećenja od objekta, kao i usled težine nasutog tla) veći od 2.5 za sve temelje, tako da nosivost temeljnog tla nije dovedena u pitanje (Čorić, 2008).

Sleganje temelja je sračunato za srednji neto kontakti napon $\sigma_{\text{zo}}=250$ kPa i širine temelja B₁=2.30m, B₂=1.95m i B₃=1.45m, uz uvažavanje odgovarajućeg geotehničkog modela terena.

Proračuni sleganja temelja su vršeni za centričnu tačku temelja, a date su i veličine prosečnih sleganja temelja. Veličine sleganja pod objektom određene su konvencionalnom metodom. Raspodela napona u temeljnom tlu određena je metodom Štajnbrenera.

U tabeli 2 su prikazane veličine maksimalnih i prosečnih sleganja za različite temelje i geotehničke modele terena.

Tabela 2. Rezultati proračuna sleganja temeljnih traka
Table 2. Results of the settlement analyses

Geotehnički model Terena	Širina temeljne trake B (m)	Debljina i modul stišljivosti sloja H (m) ^ Ms (kPa)	Neto kontaktno opterećenje kPa	Sleganje najveće s (cm)	Sleganje prosečno s (cm)
GMT ₁	2.30	I 3.40 ^ 8 000	250	11.5	9.2
		LG 6.60 ^ 8 500			
GMT ₂	1.95	I 3.00 ^ 4 000	250	17.5	14.0
		LG 8.00 ^ 8 500			
GMT ₃	1.45	I 2.80 ^ 4 000	250	14.1	11.3
		LG 7.80 ^ 8 500			
T ₁ u preseku VI-VI'	2.30	I 1.20 ^ 8 000 LG 8.20 ^ 8 500	250	11.4	9.1
T ₄ u preseku IV-IV'	2.30	LG 11.60 ^ 8 500	250	12.1	9.7
T ₃ u preseku IV-IV'	1.95	I 2.00 ^ 4 000	250	16.1	12.9
		LG 12.00 ^ 8 500			
T ₄ u preseku IV-IV'	2.30	I 2.00 ^ 8 000	250	12.7	10.1
		LG 13.00 ^ 8 500			

Analiza rezultata sleganja pokazuje da su se, samo usled opterećenja od objekta, temelji slegli u proseku za 9 -14cm. Ovim sleganjima od opterećenja objektom, svakako treba dodati i sleganja usled provlažavanja temeljnog tla, koja su u ovakvim inženjerskogeološkim sredinama i kod starih objekata neizbežna i koja, u našem slučaju, iznose i do 8 cm (Hadži-Niković, 2005).

Maksimalna sleganja su pretrpeli temelji koji se nalaze u središnjem delu zgrade, ispod glavnog stepeništa, gde su debljine lesnih naslaga najveće (≈ 3.0 m), a gde njihovi moduli stišljivosti, istovremeno, imaju najniže vrednosti (≈ 3500 kPa u J-2).

Dobijeni rezultati su korišćeni pri formiranju modela za proračun deformacija metodom konačnih elemenata, primenom domaćeg softverskog paketa Tower 6. Model se sastoji od preko 220,000 elemenata. Prosečna dimenzija konačnih elemenata u konstrukciji je 75x75 cm, a u nivou temelja 45x45 cm. Ovako formirana mreža konačnih elemenata omogućava dobijanje veoma preciznih rezultata za analizu postojećeg stanja na konstrukciji, a pruža mogućnost i dodavanja novih konačnih elemenata u slučaju proračuna sa izvedenim konstrukcijama tokom sanacije objekta (Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010).

Modul elastičnosti zidanog zida određen je prema evropskim standardima ES 6 i iznosi $E=4835$ MPa. Tlo ispod temeljne konstrukcije modelirano je posebnim konačnim elementima čije su karakteristike određene na osnovu vrednosti koeficijenta vertikalne reakcije tla. Ova vrednost određena je saglasno EC 7, na osnovu prethodno izračunatih sleganja temelja i usvojeno je da iznosi $k=2650$ kN/m³.

Ovim proračunima dobijene su veličine sleganja ≈ 10.0 -11.0 cm, što se dobro slaže sa veličinama sleganja dobijenim konvencionalnom metodom.

Sleganja terena na koti fundiranja, koja su nastala od opterećenja objekta su veća od dozvoljenih i konstruktivni sistem objekta, svojim elastičnim kapacitetom nije mogao da ih prihvati i podnese bez oštećenja. Samim tim, u zonama gde je bila iscrpljena nosivost konstrukcije, pojavila su se oštećenja koja su se manifestovala kao prsline, pukotine i slični diskontinuiteti na samom objektu.

Posebno treba naglasiti negativan uticaj raskvašavanja lesnih naslaga ispod temelja koje dovodi do dodatnih sleganja objekta. Ovo izaziva ugaonu rotaciju delova objekta, oko mesta provlažavanja, koja je znatno veća od dozvoljene, a što neizbežno dovodi do novih oštećenja objekta.

Rezultati mikrosezmičke rejonizacije pokazali su da objekat treba računati sa koeficijentom seizmičnosti $K_s=0.05$ (VIII seizmička zona) usvajajući drugu kategoriju tla.

Prema rezultatima seizmičkih proračuna, maksimalna horizontalna pomeranja vrha objekta usled dejstva zemljotresa iznose: u podužnom pravcu 8.90 cm, a u poprečnom pravcu 7.40cm.

I pored uočenih oštećenja i nedostataka, objekat je u funkciji, služi nameni i koristi se bez većih problema. Da bi se ovakvo stanje zadržalo i u narednom periodu, neophodno je preduzeti mere i intervencije, kako na konstruktivnom sistemu objekta, tako i na temeljnoj konstrukciji. Preduzete mere i intervencije bi trebalo da spreče dalje širenje oštećenja i sačuvaju integritet čitavog objekta.

Zato su razmatrana varijantna rešenja mera sanacije: ojačanjem temeljne konstrukcije mikrošipovima, dijafragmama ili kombinacijom dijafragmi i mikrošipova.

Primenom sistema mikrošipova sprečila bi se dalja sleganja, ali se ne bi povećala sposobnost objekta da primi horizontalne sile od seizmičkih sila. Osim toga, naknadno raskvašavanje lesnih naslaga, u zoni fundiranja objekta, moglo bi da umanjí nosivost mikrošipova, a samim tim i omogućí dalji razvoj sleganja objekta.

Sanacija temeljne konstrukcije sistemom dijafragmi omogućila bi i dinamičku stabilnost objekta i njegovu bezbednost u pogledu oscilacija nivoa podzemnih voda. Međutim, zbog izrazite razudenosti objekta, ne može se efikasno pričí svim bitnim zonama unutar samog objekta.

Zbog toga je predloženo da se sanacija temeljne konstrukcije izvede kombinovanjem mikrošipova i dijafragmi sa pratećim adekvatnim intervencijama na konstruktivnom sistemu objekta (Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010).

ZAKLJUČAK

Zbog uočenih oštećenja na zgradi Doma Narodne Skupštine, a i ugrožene dugoročne dinamičke stabilnosti objekta, izvedena su detaljna geotehnička istraživanja terena.

U prijemu i prenošenju opterećenja od objekta učestvuju kvartarne lesne naslage debljine od 1.5 do 3.8m i tercijarne ispucale laporovite gline kore raspadanja promenljive debljine od 6.60 do više od 13.0m. Nestišljivu podlogu, „bedrock” predstavljaju tercijarni lapori, koji se nalaze na dubini od 13.0 do više od 20.0m.

Objekat je, u konstruktivnom smislu, krut zidani objekat, fundiran na betonskim temeljnim trakama, promenljive širine, od $B_3=1.45$ m do $B_1=2.30$ m, i na promenljivoj dubini fundiranja: najmanja efektivna dubina fundiranja temelja je od $D_{\min}=1.41$ m za temelj T_3 do $D_{\min}=5.50$ m za T_1 .

Izvršene analize graničnih opterećenja i faktora sigurnosti u pogledu opšteg loma, za sve, terenskim radovima utvrđene, širine temelja i dubine fundiranja, pokazuju da su faktori sigurnosti, u sadašnjim uslovima veći od 2.5 za sve temelje.

Analiza rezultata sleganja pokazuje da su se, samo usled opterećenja od objekta, $\sigma_{1g} \approx 280$ kPa, temelji slegli u proseku za 9 -14cm. Ovim sleganjima od opterećenja objektom, svakako treba dodati i sleganja usled provlažavanja temeljnog tla, koja su u ovakvim inženjerskogeološkim sredinama i kod starih objekata, neizbežna. Ukupna sleganja terena su veća od dozvoljenih i konstruktivni sistem objekta nije mogao da ih prihvati i podnese bez oštećenja. Samim tim, u zonama gde je bila iscrpljena nosivost konstrukcije, pojavila su se oštećenja koja su se manifestovala kao prsline, pukotine i slični diskontinuiteti na samom objektu. Posebno treba naglasiti negativan uticaj raskvašavanja lesnih naslaga ispod temelja koje dovodi do dodatnih sleganja objekta.

Prema rezultatima seizmičkih proračuna, maksimalna horizontalna pomeranja vrha objekta usled dejstva zemljotresa iznose: u podužnom pravcu 8.90 cm, a u poprečnom pravcu 7.40cm.

Radi obezbeđivanja statičke i dinamičke stabilnosti objekta, razmatrana su varijantna rešenja mera sanacije: ojačanjem temeljne konstrukcije mikrošipovima, dijafragmama ili kombinacijom dijafragmi i mikrošipova. Zaključeno je da bi se kombinovanjem mikrošipova i dijafragmi, sa pratećim adekvatnim intervencijama na konstruktivnom sistemu objekta, trajno rešili problemi sleganja i problemi dugoročne dinamičke stabilnosti i statičke održivosti konstruktivnog sistema objekta.

LITERATURA

1. Čorić, S. *Geostatički proračuni*, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu I Izgradnja, 2008.
2. *Elaborat o rezultatima detaljnih geotehničkih istraživanja terena objekta Doma Narodne skupštine Republike Srbije*, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010.
3. FHWA (2006), *Soils and Foundations*, Vol. I & II, Report FHWA-NH-06-088, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2006.
4. Hadži-Niković, G. *Konstitutivne zavisnosti nezasićenih tla područja Beograda – doktorska disertacija*, Beograd, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
5. *Idejno rešenje, autorizovani program i projektni zadatak sanacije konstrukcije Doma Narodne skupštine u Beogradu*, Građevinski Fakultet Univerziteta u Beogradu, 2010.

NUMERIČKA ANALIZA SLEGANJA POVRŠINE TERENA USLED IZGRADNJE TUNELA

Snežana Maraš-Dragojević*

* Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, snezamd@grf.bg.ac.rs

REZIME

Za adekvatnu analizu naponsko-deformacijskih stanja u tunelskoj konstrukciji i okolnoj sredini, neophodna je trodimenzionalna analiza kojom se simulira napredovanje radova i naponske promene i deformacije u okolini privremenog radnog čela. Međutim, 3D numeričko modeliranje izgradnje tunela je izuzetno zahtevno sa stanovišta kapaciteta i vremena rada računara, pa je primena numeričkih metoda u inženjerskoj praksi još uvek ograničena na 2D modele. U radu je dat prikaz metoda 3D analize izgradnje tunela kao i nekih metoda 2D analize kojima se na određeni način vrši uključivanje 3D efekata izgradnje tunela. Takođe, prikazani su neki rezultati MKE analize sleganja površine terena usled izgradnje tunela sa otvorenim čelom u laporovitim sredinama područja Beograda. Izvršeno je poređenje poprečnih profila sleganja dobijenih 3D i 2D MKE analizom i empirijske Gausove krive.

KLJUČNE REČI: tunel, sleganje površine terena, tlo, metoda konačnih elemenata

NUMERICAL ANALYSIS OF TUNNEL INDUCED GROUND SURFACE SETTLEMENTS

ABSTRACT

For an adequate analysis of the stress/strain distribution in the rock/soil surrounding the tunnel opening and in its lining, three-dimensional analysis is required. It simulates the progress of works and the stress changes and deformation in the vicinity of the temporary working face. However, 3D numerical modeling of tunnel construction is considered extremely time consuming, and the application of numerical methods in engineering practice is still limited to 2D models. The paper presents methods for modeling 3D tunnel construction and commonly used methods for taking into account of 3D effects in 2D analysis. Also paper presents some results of FEM analysis of the ground surface subsidence due to open face tunneling in marly clay of Belgrade area. Transverse settlement profiles obtained from 3D FE analysis are compared with profiles obtained from 2D FE analysis and empirical Gaussian curve.

KEYWORDS: tunnel, surface settlements, soil, finite element method

UVOD

Kod projektovanja i izgradnje tunela u urbanim područjima, izuzetno je značajano adekvatno predvideti i kontrolisati sleganja površine terena. Pri projektovanju tunela postoje tri vrste pristupa: empirijske metode, analitička rešenja i numeričke metode. Empirijske i analitičke metode predstavljaju relativno jednostavne i korisne postupke proračuna, međutim mogućnosti njihove primene su ograničene. Empirijske metode, koje se baziraju na pretpostavci da se transverzalni profil sleganja može opisati Gausovom krivom (Peck, 1969), daju vrlo dobre rezultate kad su uslovi