

---

**DGKS**

---

**DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH  
KONSTRUKTERA SRBIJE**

---

**14. KONGRES**

NOVI SAD  
24-26. SEPTEMBAR

**2014.**

**14**

**K**

**O**

**N**

**G**

**R**

**E**

**S**

**2014**

U SARADNJI SA:



**GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM  
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**MINISTARSTVOM PROSVETE,  
NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA  
REPUBLIKE SRBIJE**



**INŽENJERSKOM KOMOROM  
SRBIJE**

**ZBORNİK  
RADOVA**



**CHINA ROAD AND BRIDGE  
CORPORATION SERBIA BRANCH**

Izdavač: **Društvo građevinskih konstruktora Srbije**  
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1

Urednici: prof. dr **Miloš Lazović**  
prof. dr **Boško Stevanović**

Tehnička  
priprema: **Saška - Stoja Todorović**

Priprema za  
štampu: **Nebojša Ćosić**

Štampa: **DC Grafički centar**

Tiraž: **150 primeraka**

Beograd, septembar 2014.

## **ORGANIZACIONI ODBOR**

### **PREDSEDNIŠTVO DGKS**

Prof. dr Miloš LAZOVIĆ, dipl.inž.grad., predsednik  
Aleksandar BOJOVIĆ, dipl.inž.grad., potpredsednik  
Prof. dr Boško STEVANOVIĆ, dipl.inž.grad., sekretar  
Prof. dr Đorđe VUKSANOVIC, dipl.inž.grad.  
Prof. dr Mihajlo ĐURĐEVIĆ, dipl.inž.grad.  
Prof. dr Dragoslav STOJIC, dipl.inž.grad.  
Prof. dr Đorđe LADINOVIĆ, dipl.inž.grad.  
Prof. dr Snežana MARINKOVIĆ, dipl.inž.grad.  
Prof. dr Aleksandar RISTOVSKI, dipl.inž.grad.  
Doc. dr Bratislav STIPANIĆ, dipl.inž.grad.  
Dr Zoran FLORIĆ, dipl.inž.grad.  
Mr Slobodan GRKOVIĆ, dipl.inž.grad.  
Branko KNEŽEVIĆ, dipl.inž.grad.  
Gojko GRBIĆ, dipl.inž.grad.  
Goran VUKOBRATOVIĆ, dipl.inž.grad.  
Đorđe PAVKOV, dipl.inž.grad.  
Svetislav SIMOVIĆ, dipl.inž.grad.

### **ČLANOVI ORGANIZACIONOG ODBORA IZVAN PREDSEDNIŠTVA**

Prof. dr Zlatko MARKOVIĆ, dipl.inž. grad.  
Miroslav MIHAJLOVIĆ, dipl.inž.grad.  
Aleksandar TRAJKOVIĆ, dipl.inž.grad.

## **NAUČNO-STRUČNI ODBOR**

1. Prof. dr Radenko Pejović, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
2. Prof. dr Duško Lučić, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
3. Prof. dr Goran Markovski, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
4. Prof. dr Meri Cvetkovska, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
5. Prof. dr Tatjana Isaković, Univerzitet u Ljubljani Fakultet građevinarstva i geodezije, Ljubljana, Slovenija
6. Prof. dr Viktor Markelj, Ponting d.o.o., Maribor, Slovenija
7. Prof. dr Zlatko Šavor, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zavod za konstrukcije, Katedra za mostove, Zagreb, Hrvatska
8. Prof. dr Radu Bancila, University "POLYTEHNICA", Temišvar, Rumunija
9. Mr Predrag Popović, Čikago, SAD
10. Prof. dr Kostadin Topurov, Sofija, Bugarska
11. Prof. dr Dušan Najdanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
12. Prof. dr Miloš Lazović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
13. Prof. dr Đorđe Vuksanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
14. Prof. dr Dejan Bajić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
15. Prof. dr Đorđe Ladinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
16. Prof. dr Dragoslav Stojić, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Niš, Srbija
17. Doc. dr Bratislav Stipanić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija

## **14. KONGRES JE ORGANIZOVAN U SARADNJI SA:**

GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM UNIVERZITETA U  
BEOGRADU

MINISTARSTVOM PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG  
RAZVOJA REPUBLIKE SRBIJE

INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE, Beograd

## **DONATORI SIMPOZIJUMA:**

### **DIJAMANTSKI**

CHINA ROAD & BRIDGE CORPORATION, SERBIA BRANCH,  
Belgrade

### **SREBRNI**

SIKA d.o.o., Novi Sad

### **BRONZANI**

"POTISJE KANJIŽA" AD, Kanjiža

*Mirjana Vukićević<sup>1</sup>, Dušan Najdanović<sup>2</sup>, Branko Milovanović<sup>3</sup>, Stevan Marošan<sup>4</sup>*

## **OCENA METODA ZA PRORAČUN SLEGANJA NA OSNOVU GEODETSKOG MONITORINGA NA IZVEDENOM OBJEKTU NA NOVOM BEOGRADU**

### ***Rezime:***

U radu je data ocena proračunskih metoda za procenu sleganja objekta na krutoj temeljnoj ploči na osnovu geodetskog osmatranja u periodu od 10 godina na jednom armiranobetonskom objektu na Novom Beogradu. S obzirom da su metode za proračun sleganja zasnovane, osim na teorijskoj mehanici i na empirijskim korelacijama sa parametrima deformabilnosti, ovakva merenja su dragocena jer pružaju mogućnost provere i unapređenja postojećih metoda i korelacija kao i uspostavljanje novih. Poređenje izmerenih i proračunskih sleganja na navedenom objektu je pokazalo da se dovoljno dobro mogu predvideti veličine sleganja na osnovu korelacija između parametara deformabilnosti i otpora konusa iz CPT opita.

***Ključne reči:*** sleganje, kruta temeljna ploča, CPT opit, geodetski monitoring

## **ASSESSMENT OF SETTLEMENT ANALYSIS METHODS BASED ON THE MONITORING OF BUILDING LOCATED IN NEW BELGRADE**

### **Summary:**

This paper provides an assessment of empirical correlations between soil deformation parameters and tip resistance of cone penetrometer test (CPT), by comparing calculated settlements of an object on the rigid foundation slab with in-situ measurements. Monitoring is conducted on a reinforced concrete building located in New Belgrade during the period of 10 years. Such measurements are valuable because they provide possibility to verify and improve existing methods and correlations as well as establishing new ones.

**Keywords:** settlement, rigid foundation slab, CPT test, in-situ measurements

---

<sup>1</sup> Doc. dr, dipl. građ.inž., Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

<sup>2</sup> Prof. dr, dipl. građ.inž., Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

<sup>3</sup> Doc. dr, dipl. geod.inž., Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

<sup>4</sup> Doc. dr, dipl. geod.inž., Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

## 1. UVOD

Geodetski monitoring poslovnog objekta na Novom Beogradu, koji je radio Građevinski fakultet u Beogradu, je započet 2005. godine kada su prethodna geodetska osmatranja pokazala da su izmerena sleganja objekta premašila proračunske veličine sleganja date u Geotehničkom elaboratu. Građevinski fakultet je imao zadatak da oceni tačnost prethodnog geodetskog osmatranja, da dâ proračunsku procenu sleganja i oceni izmerena sleganja sa stanovišta njihovog uticaja na stabilnost i funkcionalnost objekta. Geodetska merenja su vršena u periodu od 2005 – 2014. godine.

## 2. OSNOVNI PODACI O OBJEKTU

Ojekat je poslovni, lociran na Novom Beogradu u bloku 21, spratnosti Su+Pr+MeSp+3Sp+Pot. Objekat je u osnovi dimenzija 43.7 x 30.2 m, ukopan je oko 2 m u odnosu na kotu terena, a visine iznad terena oko 30 m. Konstrukcija objekta je armiranobetonska sa punim armiranobetonskim međuspratnim pločama debljine 22 cm i vertikalnim elementima: armiranobetonskim stubovima i zidovima debljine 20 cm i armiranobetonskim jezgrima na mestima vertikalnih komunikacija. Rasteri stubova su različiti i kreću se od 5 do 7 m. Fundiranje objekta izvršeno je na punoj armiranobetonskoj temeljnoj ploči debljine 40 cm, sa obrnutim kapitelima na mestu stubova zbog mogućeg probijanja stuba kroz ploču. Konstrukcija objekta je izvedena od betona MB 30, rebraste armature RA 400/500 MPa i mrežaste armature MA 500/560 MPa.

Objekat je po visini simetričan u poprečnom pravcu, dok se u podužnom pravcu po visini stepenasto povlači. Međutim, iako postoji geometrijska nesimetrija, na nižem delu se u suterenu objekta nalazi sklonište sa velikim dimenzijama gornje ploče i velikim debljinama zidova, pa se može smatrati da praktično postoji simetrija opterećenja temeljne ploče, što sugeriše relativno ravnomernu raspodelu opterećenja na tlo. Pored ovoga, bitno je naglasiti da i preostali suterenski deo sa armiranobetonskim unutrašnjim i obodnim zidovima u oba pravca daje dodatnu krutost objektu u ovom nivou.

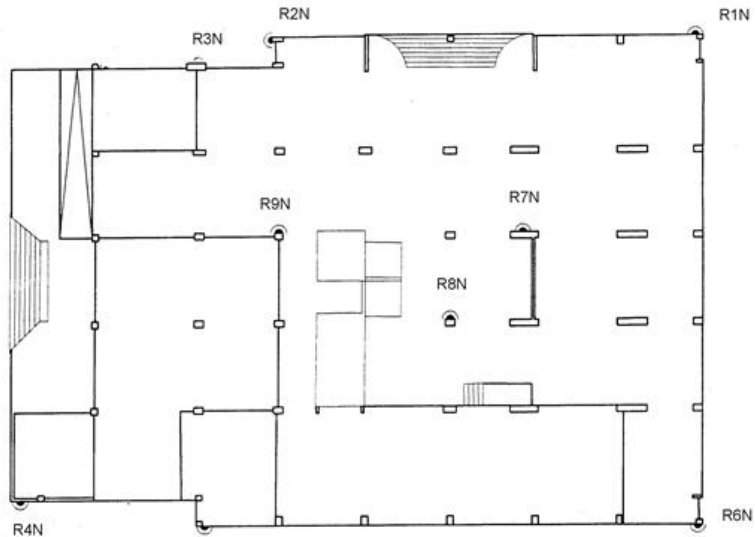
U trenutku započinjanja geodetskog osmatranja, oktobra 2005. godine, na objektu su postavljene cementne košuljice i početo je sa postavljanjem lakih pregradnih zidova, pa se može proceniti da je naneto oko 90 % ukupnog stalnog opterećenja.

Statički proračun konstrukcije je izvršen na prostornom statičkom modelu. Proračun je izvršen za stalno i korisno gravitaciono opterećenje, kao i za horizontalna opterećenja u dva nezavisna pravca od vetra i seizmičkih sila. U prostornom proračunskom modelu temeljna ploča je posmatrana kao ploča koja se oslanja na elastičnu podlogu.

## 3. GEODETSKI MONITORING

U sklopu monitoringa građevinske konstrukcije neizostavan je deo osmatranja ponašanja konstrukcije geodetskim metodama. Geodetskim metodama se određuju pomeranja konstrukcije u apsolutnom ili relativnom sistemu, dok se geotehničkim metodama određuju u relativnom koordinatnom sistemu [1]. Vektori pomeranja se mogu odrediti u vertikalnoj ravni,

dvodimenzionalnom ili trodimenzionalnom sistemu. Tačnost određivanja veličine pomeranja zavisi od zahtevane tolerancije, odnosno veličine pomeranja  $d$  između epoha merenja koja se mora "sigurno" otkriti (sa određenim nivom značajnosti  $\alpha=0.05$  ili  $0.01$  i moći testa  $1-\beta\geq 0,80$ ).



*Slika 1. Osnova objekta sa skicom ugrađenih repera*

Kao i svi radovi koji se odnose na monitoring objekta i geodetski radovi moraju da se projektuju. Geodetski projekat podrazumeva da se uradi projekat kontrolne mreže. Kontrolna mreža se sastoji od osnovne mreže i tačaka na objektu. Tačke osnovne mreže služe da se sa njih opažaju tačke na objektu. One se stabilizuju izvan zone deformacija na stabilnom terenu. Minimalan broj tačaka je tri i poželjno je da su pravilno raspoređene oko objekta. Prilikom osmatranja objekat se diskretizuje konačnim brojem karakterističnih tačaka. Diskretizacija objekta je odgovoran zadatak, jer izabrane tačke moraju da reprezentuju ponašanje celog objekta. Izbor karakterističnih tačaka na objektu vrši projektant konstrukcije u saradnji sa geodetskim stručnjakom. Standardno odstupanje aritmetičke sredine merenih veličina u kontrolnoj mreži ne sme da bude veće od  $d/5$ , da bi se otkrila sva pomeranja veća od  $d$ . Pored kriterijuma preciznosti, kontrolna mreža treba da je homogeno-izotropna i da ima zadovoljavajuću pouzdanost (za 1D mrežu veću od 0.2, a za 2D mrežu veću od 0.4).

Posle izvršenih merenja u mreži za određenu epohu, neophodno je oceniti koordinate tačaka kontrolne mreže sa ocenom tačnosti, kao i dobiti sve kriterijume kvaliteta geodetske mreže (mere preciznost i pouzdanosti) za tekuću epohu primenom metode najmanjih kvadrata (MNK) i potrebno je odrediti vektor pomeranja sa ocenom tačnosti između tekuće i nulte epohe. Za određivanje vektora pomeranja postoje tzv. modeli kongruencije [2]. U okviru modela kongruencije postoji više metoda za utvrđivanje stabilnih tačaka (Pelcerova metoda, Karlsruhe, Delft, Robusna). Model kongruencije podrazumeva određenu proceduru za utvrđivanje stabilnih tačaka.

Poslednjih dvadeset godina u geodeziji se primenjuju dinamički modeli, koji podrazumevaju primenu identifikacije sistema[3]. Identifikacija sistema podrazumeva dobijanje modela ponašanja na osnovu merenja i uspostavljanje matematičke veze između uzroka (ulaznih signala) i izlaznih signala (pomeraja). Ovako dobijeni modeli su najpouzdaniji za predikciju ponašanja konstrukcije tokom vremena i pod dejstvom različitih uticaja.

Za navedeni objekat na Novom Beogradu projektant konstrukcije je definisao veličinu pomeranja koja se „sigurno“ mora otkriti između dve epohe od  $d = 2$  mm. Takođe je odredio mesta za devet repera na objektu koji reprezentuju ponašanje objekta (slika br 1). Osnovna mreža se sastoji od pet repera osnovne mreže, od kojih su tri izvan zone deformacija izazvanih samim objektom. Projektnim rešenjem je definisana: metoda merenja (precizni geometrijski nivelman), plan opažanja, tačnost aritmetičke sredine merenja visinskih razlika na stanicama od 0.4 mm, kriterijumi za praćenje i kontrolu merenja i lokalna mera unutrašnje pouzdanosti koja mora da je veća od 0.2.

Do sada je izvršeno 25 epoha opažanja. U toku izgradnje, epohe su trebale da se izvode na svakih mesec dana, što nije realizovano. Nakon početka eksploatacije su urađene dve epohe merenja u razmaku od mesec dana, pa dve epohe na tri meseca i nakon toga na godinu dana. Ostvarena tačnost merenja visinskih razlika po stanicama u epohama je od 0,15 mm do 0,30 mm, što zadovoljava zahteve iz projekta, dok je standardno odstupanje visina tačaka kontrolne mreže u intervalu od 0,2 mm do 0,4 mm. Utvrđivanje stabilnih tačaka je rađeno primenom Pelcerove metode. Sve vreme opažanja reperi izvan zone deformacija su ostali stabilni (tri repera) i oni su definisali datum mreže. Vektori pomeranja repera R7, R8 i R9 (čija su pomeranja praćena od početka) su u funkciji vremena prikazani na slici br 3.

### 3. OCENA PRORAČUNSKIH VREDNOSTI SLEGANJA OBJEKTA

#### 3.1. GEOTEHNIČKI PROFIL TERENA

Procena sleganja je rađena na osnovu geotehničkog profila terena datog u geotehničkom elaboratu, u kome su zastupljeni sledeći slojevi:

**Nasip** od refuliranog peska (**np**), ispod ovog objekta debljine oko 3,5 m. Pesak je sitnozrn, srednje zbijen. Geomehničke karakteristike sloja:

Parametri čvrstoće na smicanje:  $\varphi = 28-30^\circ$   $c = 0$  kN/m<sup>2</sup>  
Otpor konusa CPT  $q_c = 4000-6500$  kN/m<sup>2</sup>

**Gline sa organskim materijama** u nepravilnom smenjivanju sa peskom (**m-p**) pojavljuju se ispod refuliranog peska, debljine oko 4,0 m. Sa dubinom se povećava učešće peska. Geomehničke karakteristike sloja:

Parametri čvrstoće na smicanje:  $\varphi = 12-22^\circ$   $c = 10-30$  kN/m<sup>2</sup>  
Otpor konusa CPT:  $q_c = 1000-3500$  kN/m<sup>2</sup>

**Pesak sa proslojcima gline (p-m)** pojavljuje se na dubini od oko 8,0 m. Preovlađuje pesak, glina je manje zastupljena. Pesak je sitnozrn do srednjezrn, srednje zbijen, neujednačeno prašinast. Geomehničke karakteristike sloja:



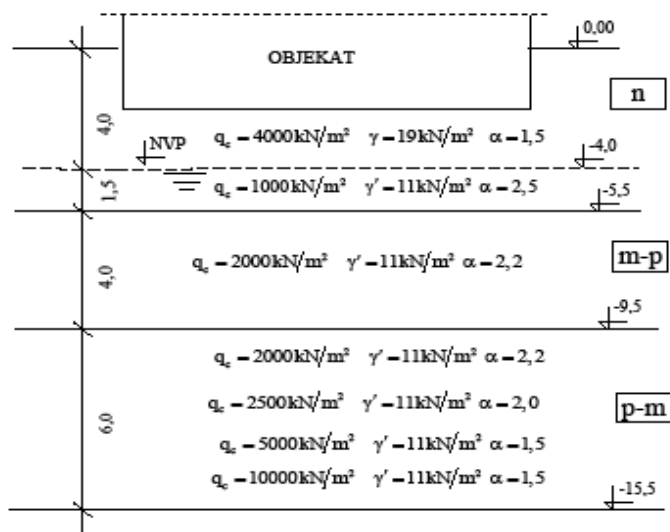
Parametri čvrstoće na smicanje:  $\varphi = 18^0$   $c = 10 \text{ kN/m}^2$   
 Otpor konusa CPT:  $q_c = 10000 \text{ kN/m}^2$

**Pesak (p)** pojavljuje se na dubini od 13-14 m. Pesak je sitnozrn do srednjzrn, dobro zbijen. Geomehaničke karakteristike sloja:

Parametri čvrstoće na smicanje:  $\varphi = 28^0$   $c = 0$   
 Otpor konusa CPT:  $q_c > 10000 \text{ kN/m}^2$

Geotehnički profil je karakterističan za Novi Beograd gde su se močvarni delovi nasipali refuliranim peskom tako da se u profilu pojavljuju proslojci organskih glina različitih debljina.

Konstatovan je nivo podzemne vode na dubini od 4.2 – 4.8 m, u zavisnosti od konfiguracije terena. Kota fundiranja je oko 2.0 m iznad nivoa podzemne vode.



Slika 2. Geotehnički model terena

### 3.2. PRORAČUNSKA SLEGANJA OBJEKTA

Procena sleganja je rađena zageotehnički model terenadat na slici2. Proračun je sproveden za karakterističnu Kany-jevu tačku integracijom vertikalnih deformacija za napone u tlu dobijene prema Steinbrenner-ovom rešenju za temeljnu ploču dimenzija 30x44m i kontaktno opterećenje od objekta  $p=100\text{kPa}$ .S obzirom da u geotehničkom profilu terena preovlađuju peskovi ili zaglinjeni peskovi, parametri deformabilnosti su dobijeni iz korelacija sa otporom konusa  $q_c$  iz CPT opita.Ima više predloga vezana osnovu empirijski dobijenih zavisnosti. U radu su korišćene sledeće metode i korelacije:

1. Metoda De Beer-a i Martens-a [4] u okviru koje se daje veza između otpora konusa i Terzaghi-jeve konstante C.

$$C = K \frac{q_c}{p_v}$$

$q_c$ -otpor konusa;  $p_v$ -vertikalni efektivni geostatički napon;  $\beta$ -konstanta.

Prema Terzaghi-jevom predlogu  $K=1,5$  dok je prema Mayerhof-u  $K=1,9$ .

2. Korelacija koju je dao Bogdanović [5] između modula deformacije i otpora konusa na osnovu paralelnih ispitivanja i merenja na izvedenim objektima na Novom Beogradu:

$$E_s = \alpha q_c$$

gde je  $\alpha = 3,0-2,5$  za  $q_c = 500-1000 \text{ kPa}$ , a zatim opada do  $\alpha = 1,5$  za  $q_c > 4000$ .

Proračunska sleganja prema navedenim korelacijama su poređena sa izmerenim sleganjima tri repera R7, R8 i R9 čija se sleganja prate od početka gradnje.

Za poređenje proračunskog vremenskog toka sleganja sa izmerenim, za proračunska sleganja je korišćena klasična Terzaghi-jeva teorija konsolidacije pretpostavljajući da je do sada (posle 10 god.) izvršeno 95% konsolidacije.

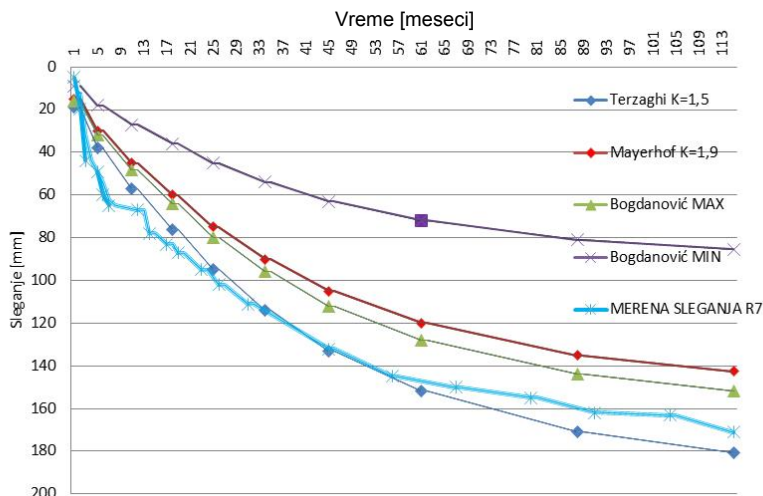
### 3.3. POREĐENJE PRORAČUNSKIH I IZMERENIH SLEGANJA

Rezultati geodetskih merenja sleganja objekta pokazuju da su sleganja repera ujednačena, što je rezultat krutosti podzemnog dela objekta, a što opravdava proračun sleganja za Kany-jevu karakterističnu tačku. Ukupna izmerena sleganja repera R7, R8 i R9 su od 17,1-17,4cm. Prognozna ukupna sleganja računata prema metodi De Beer&Martens-a (za  $K=1,5$  i  $K=1,9$ ) i prema Bogdanoviću sa minimalnim, odnosno maksimalnim koeficijentima  $\alpha$  su data u Tabeli 1.

**Tabela 1 Ukupna proračunska sleganja**

Metoda/korelacija	De Beer $K=1,5$	De Beer $K=1,9$	Bogdanović $S_{max}$	Bogdanović $S_{min}$
Sleganje [cm]	19	15	15,5	9

Vremenski tok izmerenih i proračunskih sleganja je dat je na dijagramu (slika3). Može se uočiti da metoda De Beer&Martens-a za  $K=1,5$  (Terzaghi-jev predlog) kao i Bogdanovićev predlog sa minimalnim koeficijentom  $\alpha$  daju najmanja odstupanja od izmerenih vrednosti sleganja.



Slika 3. Vremenski tok sleganja: proračunske i izmerene vrednosti

#### 4. KOMENTARI I ZAKLJUČCI

Geodetska osmatranja sleganja objekata u dužem vremenskom periodu daju dragocene podatke za ocenu proračunskih metoda za procenu sleganja, imajući u vidu da se zbog nehomogenosti i anizotropije tla vrlo često primenjuju empirijske korelacije između parametara dobijenih standardnim terenskim "in situ" opitima sa parametrima deformabilnosti.

Za lokaciju Novog Beograda gde u profilu terena preovlađuju peskovi, muljeviti peskovi i dublje šljunkovi, rezultati CPT opita (preko otpora konusa) daju najpouzdanije podatke za geostatičke proračune, pa i za sleganja preko korelacija sa parametrima deformabilnosti. Poređenjem proračunskog sleganja dobijenog preko rezultata CPT opita i izmerenih sleganja može se zaključiti, da kad u terenu postoji pripovršinski sloj muljevito peska ili peskovitog mulja, treba u korelacijama za takve slojeve koristiti predložene koeficijente koji daju minimalne parametre deformabilnosti (kao što su modul stišljivostil ili konstanta stišljivosti), odnosno maksimalnu deformaciju.

Kod fundiranja na temeljnoj ploči posebnu pažnju treba obratiti na procenu sleganja, kako totalnog tako i diferencijalnog, jer od toga zavisi primenljivost takvog načina fundiranja. Ukoliko postoji podzemna etaža kao u navedenom slučaju, armirano betonski zidovi povećavaju krutost temeljne konstrukcije pa su sleganja ujednačena i ne utiču na stabilnost i nosivost konstrukcije objekta. Međutim, ukoliko prelaze dozvoljene granice mogu uticati na funkcionalnost objekta jer mogu izazvati deformaciju ili pucanje priključaka vodovodnih, kanalizacionih i termo instalacija.

## LITERATURA

- [1] Milovanović, B.(2012): *Linearno i nelinearno modeliranje geodetski registrovanih deformacionih procesa konstrukcija*, Doktorska disertacija, Beograd, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
- [2] Mihailović K., Aleksić, I. (1994). *Deformaciona analiza geodetskih mreža*, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Institut za geodeziju
- [3] FIG Publication NO. 25: Ad-Hoc Committee of FIG Working Group 6.1 under the leadership of Welsch W., Heunecke O (2002), *Modeling and Terminology for the Analysis of Geodetic Monitoring Observations*
- [4] De Beer E.E. and Martens A. (1957), *Method of computation of an upper limit for the influence of the heterogeneity of sand layers on the settlement of bridges*, Proc. 4 th I.C.SMFE, Vol 1, 275-282
- [5] Maksimović M. (2005), *Mehanika tla*, Treće izdanje, Građevinska knjiga