

REŠENJE FUNDIRANJA JUŽNE TRIBINE STADIONA FK "TSC" U BAČKOJ TOPOLI

Miloš Marjanović*, Danko Nikolić**, Mirjana Vukićević*, Dušan Nikolić**

* *Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, mimarjanovic@grf.bg.ac.rs*

** *Biro za konstrukcije "Konstruktor", Vukole Dabića 8, Užice*

REZIME

U radu je opisano rešenje fundiranja južne tribine stadiona FK "TSC" u Bačkoj Topoli. Razmatrana su varijantna rešenja plitkog fundiranja na temeljnim trakama i temeljnoj ploči, sa posebnim osvrtom na proračun sleganja temelja na deformabilnoj podlozi. Proračun sleganja je izvršen u iterativnom postupku, primenom sopstvenih računarskih programa i uz uzimanje u obzir interakcije tla i konstrukcije. Dobijeni rezultati proračuna su upoređeni sa rezultatima geodetskog osmatranja. Istaknuti su nedostaci Vinklerovog modela i date su preporuke za numeričku analizu sleganja plitkih temelja u inženjerskoj praksi.

KLJUČNE REČI: temeljna ploča, Vinklerov model, Tower 7, proračun sleganja, tribine

DESIGN OF FOUNDATIONS OF SOUTH STAND OF FK "TSC" STADIUM IN BAČKA TOPOLA

ABSTRACT

This paper describes the foundations solution of the south stand of the FC "TSC" stadium in Bačka Topola. Variant solutions (strip foundations and raft foundation) are considered, with special emphasis on the calculation of foundation settlements on a deformable base. The settlements calculation was performed in an iterative procedure, using own computer programs and considering the soil-structure interaction. The obtained results are compared with the results of geodetic monitoring of the structure. The shortcomings of the Winkler model are highlighted and recommendations for numerical analysis of the foundations' settlements in engineering practice are given.

KEY WORDS: raft foundation, Winkler model, Tower 7, settlements calculation, stands

UVOD

Novoizgrađeni stadion FK "TSC" u Bačkoj Topoli sastoji se iz 4 konstruktivne celine (zapadna, severna, istočna i južna tribina), sa pratećim prostorijama. Zapadna, severna i istočna tribina su niže spratnosti, dok je južna tribina više spratnosti (P+3), usled pripadajućeg hotelskog kompleksa. Sve tribine su pravougaone osnove i međusobno su dilatirane. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu uradio je stručna mišljenja (Građevinski fakultet 2019a, Građevinski fakultet 2019b) o geotehničkim uslovima fundiranja južne tribine stadiona, sa predlogom rešenja fundiranja, dok je firma "Konstruktor" iz Užica projektant konstrukcije stadiona (Konstruktor Užice, 2018).

Južna tribina stadiona je prostorna AB konstrukcija sa ramovima koju čine stubovi i grede u dva ortogonalna pravca, odnosno okvirni sistem ojačan AB zidovima ili stepenišnim i liftovskim jezgrima (Slika 1). Poprečni ramovi su na razmaku od 4.0 m (razmak se povećava kod prve i treće dilatacije), a u podužnom pravcu postoje tri rama. Objekat je podeljen dilatacijama na tri nezavisne konstruktivne celine. AB konstrukcija se izvodi klasičnim postupkom, livenjem na licu mesta, sa izuzetkom međuspratnih tavanica koje su polumontažnog tipa (OMNIA ploče) i prefabrikovanih tribinskih nosača sedišta. Pokrivanje konstrukcije je predviđeno drvenom lameliranom krovnom konstrukcijom.



Slika 1. Konstrukcija stadiona u fazi izgradnje

GEOTEHNIČKI PROFIL TERENA

Geotehnički profil terena formiran je na osnovu rezultata terenskih i laboratorijskih geotehničkih istraživanja (GeoEXPERT 2018, Zavod za ispitivanje materijala i konstrukcija Subotica, 2019). Teren na lokaciji objekta je pretežno ravničarski, sa kotom prirodnog terena od 93.4-94.7 mnm. Radi nivelacije prirodne depresije, na lokaciji je formiran nasip od peskovite gline. Nivo podzemne vode (NPV) je promenljiv i pod uticajem je reke Krivaje, o čemu nema sistematizovanih višegodišnjih merenja. Usvojeni računski NPV je na koti -1.30 m. Na razmatranoj lokaciji utvrđen je vrlo nehomogen geomehanički profil, pretežno izgrađen od peskovito-muljevite gline i prašine. Profil terena se sastoji od slojeva nasipa od šljake i peskovite gline, sa sitnim građevinskim otpadom;

gline niske do srednje plastičnosti, srednje plastičnog do mekog konzistentnog stanja; sitnog do srednjeg peska, prašinsto-glinovitog, srednje zbijenosti; prašine niske plastičnosti, mekog do srednje plastičnog konzistentnog stanja.

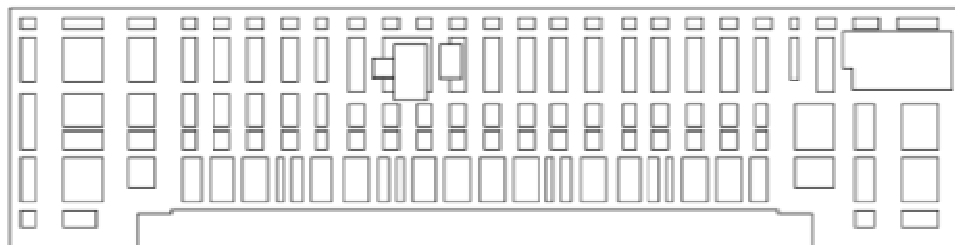
Prilikom izbora računskih parametara deformabilnosti, u obzir je uzet očekivani nivo početnih i ukupnih efektivnih vertikalnih napona na razmatranoj dubini sloja. Usvojeni računski parametri slojeva tla prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Usvojeni računski parametri slojeva tla

SLOJ	Nasip 0.0-1.4	Tampon 1.4-2.2	Glina 2.2-6.4	Pesak 6.4-12.0	Prašina 12.0-20.0
Zapreminska težina γ [kN/m ³]	18.5	22.0	19.5	19.5	19.5
Moduli stišljivosti M_v [kN/m ²]	4000	40000	4500	13900	8000
Indeks stišljivosti C_c	0.08	/	0.08	0.02	0.08
Indeks rekompresije C_r	0.02	/	0.02	0.005	0.02
Stepen prekonsolidacije OCR	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0
Početni koeficijent poroznosti e_0	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6

VARIJANTNA REŠENJA FUNDIRANJA

Varijantna rešenja fundiranja analizirana su uz uzimanje u obzir vrste, veličine i konstruktivnog sistema objekta, kao i geotehničkog profila terena na lokaciji. Razmatrana su rešenja fundiranja na ukrštenim temeljnim trakama, kao i fundiranje na temeljnoj ploči. Predložena dubina fundiranja je $D_f=1.50$ m. Ispod temeljne spojnice predviđena je izrada tamponskog sloja od tucanika, ukupne debljine 80 cm i zahtevanim modulom stišljivosti $M_{v,min}=40$ MPa.

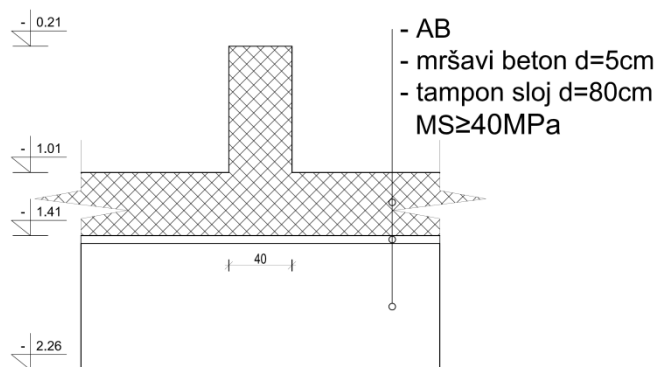


Slika 2. Dispozicija temeljnih traka

Razmatrane širine temeljnih traka usvojene su iz uslova dozvoljene nosivosti tla ($q_a \sim 235$ kPa) i iznose $B=2.5-4.0$ m. Dobijene vrednosti prognoznih sleganja temeljnih traka su veće od 100 mm, za bruto kontaktno opterećenje od 120 kPa. Ove vrednosti sleganja nisu u dozvoljenim granicama, kao ni u skladu sa preporukama u literaturi (Skempton & MacDonald 1956), pa je ovo varijantno rešenje odbačeno. Dispozicija temeljnih traka prikazana je na Slici 2.

Za varijantu fundiranja na temeljnoj ploči uslov dozvoljene nosivosti tla nije od interesa. Dimenzije temeljne ploče diktirane su konstruktivnim sistemom objekta i arhitektonskim rešenjem i iznose $B/L=23.5 \times 111.0$ m. S obzirom na veliki broj osloničkih tačaka, dodatna

krutost temeljne konstrukcije obezbeđena je sistemom ukrštenih greda iznad ploče (Slika 3). Usvojena debljina temeljne ploče je 40 cm, dok su dimenzije ukrštenih greda iznad ploče $b/d=40 \times 80$ cm.



Slika 3. Temeljna ploča sa temeljnom gredom - poprečni presek

Kao vodeći kriterijum za projektovanje temeljne ploče usvojeno je sleganje temelja. Stoga je poseban osvrt dat na proračun sleganja temeljne konstrukcije na deformabilnoj podlozi. Razmatrana su stalna opterećenja usled sopstvene težine konstrukcije, podova, plafona i instalacija, kao i povremena opterećenja usled snega i korisnog opterećenja prostorija. Uticaj povremenih kratkotrajnih opterećenja vetrom ili seizmikom nije razmatran.

NUMERIČKI MODEL

Kao osnovni numerički model korišćen je MKE model konstrukcije u programu Tower 7, koji omogućava modeliranje tla primenom "površinskih oslonaca". Ovi oslonci predstavljaju sistem međusobno nezavisnih (Vinklerovih) elastičnih opruga, sa koeficijentom krutosti k . Ono što je osnovni nedostatak Vinklerovog modela je zanemarivanje uticaja susednih opterećenja na pomeranje (sleganje) opruge, tj. dijagonalna matrica fleksibilnosti, čime se se zanemaruje priroda tla kao kontinuuma. Na tačnost analize se svakako može uticati pravilnim izborom koeficijenta krutosti k i Vinklerov model se može smatrati dovoljno tačnim za rutinske proračune.

Međutim, pored navedenih nedostataka u pogledu formulacije Vinklerovog modela, ono što je uobičajena inženjerska praksa je usvajanje jedinstvenog (konstantnog) koeficijenta krutosti Vinklerovih opruga k ispod temeljne konstrukcije, prema izrazu (1).

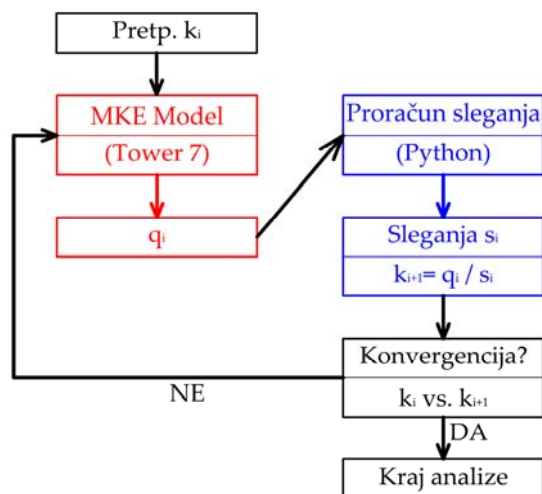
$$k = \frac{q}{s} \text{ [kN/m}^3\text{]} \quad (1)$$

gde je q bruto kontaktno opterećenje u temeljnoj spojnici, a s je prosečno prognozno sleganje temelja. Poznato je da je bruto kontaktno opterećenje q često neravnomerno raspoređeno po temeljnoj spojnici (u slučaju npr. različite spratnosti delova objekta), kao i

da sleganje temeljne konstrukcije ne mora uvek biti ravnomerno. Ovo vodi ka zaključku da je za pravilnu primenu Vinklerovog modela neophodna tačnija procena i raspodela koeficijenta krutosti površinskih oslonaca u MKE modelu, tj. da se ovaj parametar, kao jedini ulazni podatak koji definiše ponašanje numeričkog modela u pogledu oslanjanja na tlo, ne može smatrati konstantnim.

U cilju realnije procene ponašanja temeljne ploče, numerički MKE model u programu Tower 7 je formiran sa "zonama" različite krutosti površinskog oslonca. Temeljna ploča je podeljena na ukupno 95 pravougaonih zona, za koje je u iterativnom postupku (Slika 4) određen koeficijent krutosti k . Za pretpostavljene početne vrednosti koeficijenta k su u MKE modelu određena bruto kontaktna opterećenja u temeljnoj spojnici (q_i). Zatim su za tako definisana bruto opterećenja određena sleganja (s_i) pravougaone površine, za realnu geometriju temeljne spojnice. Priraštaji vertikalnih napona u tlu određeni su prema metodi Steinbrenner-a, uz primenu principa superpozicije (Maksimović 2005), kako bi se u obzir uzela sleganja jednog dela temeljne konstrukcije usled prisustva susednih delova. Sleganja su računata integracijom vertikalnih napona po dubini. Iterativni proračun je vršen do nivoa tačnosti pri kome je razlika zadatih i dobijenih vrednosti krutosti posteljice i bruto kontaktnih opterećenja u numeričkom modelu u dve sukcesivne iteracije ispod 1%. Proračun sleganja je izvršen primenom sopstvenog računarskog programa u Python-u (www.python.org).

Dobijene konačne vrednosti koeficijenta krutosti k kreću se u granicama 730-2520 kN/m³, što ukazuje na pravilnu pretpostavku o nejednakoj raspodeli ovog parametra ispod temeljne ploče.

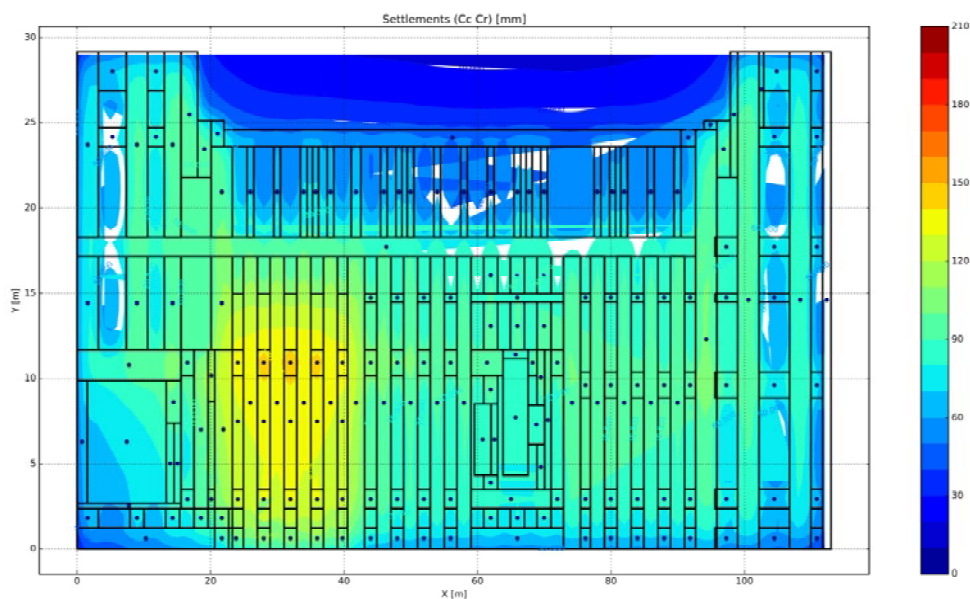


Slika 4. Iterativni postupak proračuna krutosti Vinklerovih opruga (i-iteracija)

REZULTATI PRORAČUNA I GEODETSKOG OSMATRANJA OBJEKTA

Rezultati proračuna sleganja temeljnih traka i temeljne ploče prikazani su na slikama 5 i 6. Za varijantu temeljne ploče prikazana su sleganja pod pretpostavkom konstantne raspodele

koeficijenta krutosti opruga (početna iteracija), kao i sleganja za finalne vrednosti koeficijenta krutosti opruga. Sa dijagrama se može uočiti da se neravnomernom raspodelom krutosti k postiže realniji odgovor temeljne ploče, koji se ogleda u ravnomernijim sleganjima, što je očekivano, imajući u vidu konstruktivni sistem objekta.

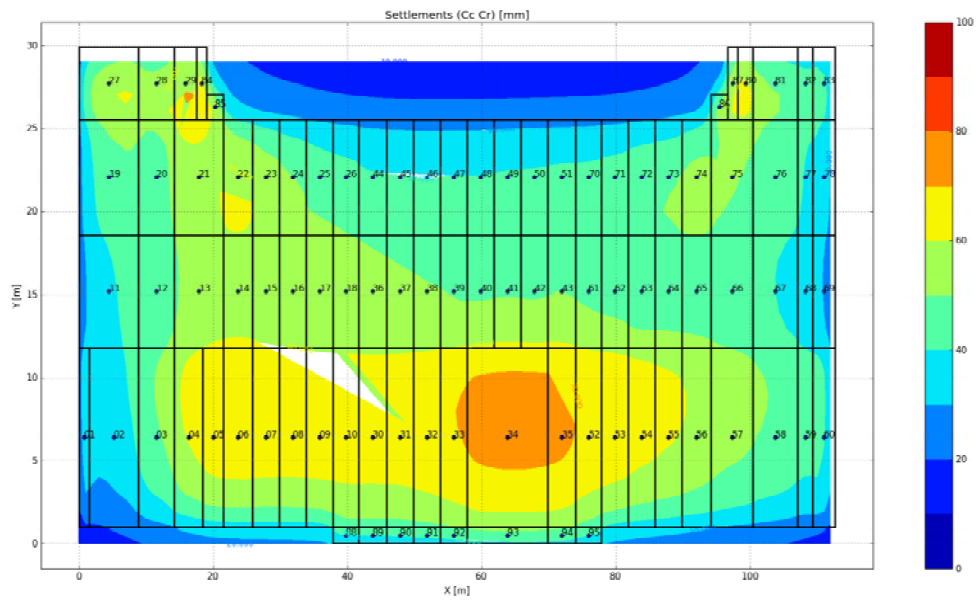


Slika 5. Dijagram sleganja temeljnih traka. Maksimalno sleganje je ~150 mm.

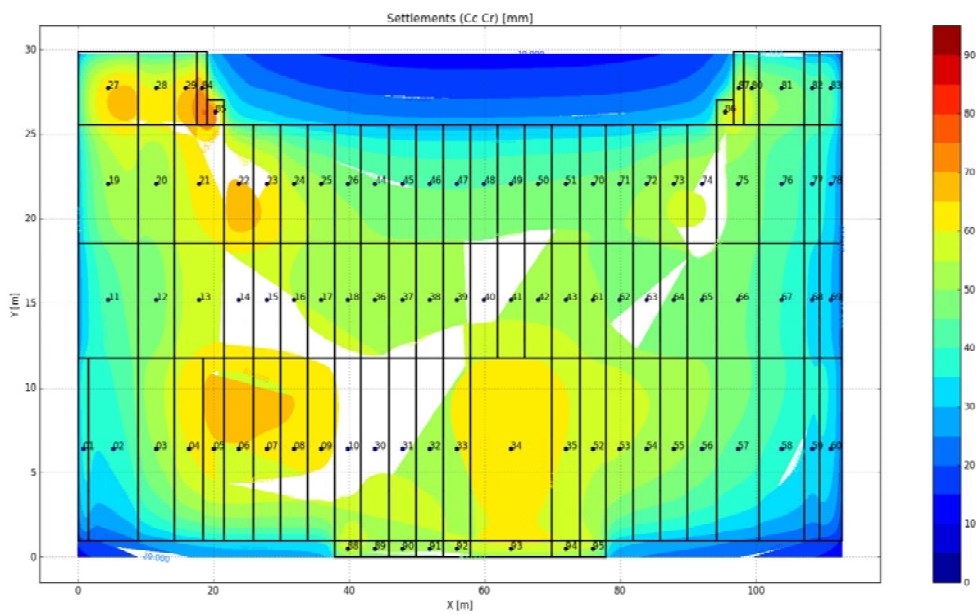
Geodetsko osmatranje tokom izgradnje objekta vršeno je u periodu januar 2020 - avgust 2021. (Geoplan Inženjering 2021). Rezultati geodetskog osmatranja južne tribine stadiona pokazuju maksimalne vrednosti sleganja u granicama 45-50 mm, što je u skladu sa prognoznim vrednostima sleganja temeljne ploče (45-75 mm, Slika 6).

ZAKLJUČCI I PREPORUKE

U radu je opisano rešenje fundiranja južne tribine stadiona FK "TSC" u Bačkoj Topoli. Razmatrana su varijantna rešenja plitkog fundiranja na temeljnim trakama i temeljnoj ploči. Dat je poseban osvrt na proračun sleganja temeljne ploče primenom programa Tower 7 i sopstvenog računarskog programa, kroz iterativni postupak kojim se u obzir uzima interakcija tla i konstrukcije.



Slika 6a. Dijagram sleganja temeljne ploče - početna iteracija - konstantne vrednosti koeficijenta krutosti k



Slika 6b. Dijagram sleganja temeljne ploče - finalna iteracija

Na osnovu prikazane analize mogu se izvući sledeći zaključci:

- rešenje fundiranja na temeljnoj ploči je optimalno, što je potvrđeno i kroz prikazane rezultate geodetskog osmatranja.
- rešenje na temeljnoj ploči ima nekoliko prednosti: oslonačke tačke (kojih ima veliki broj) povezane su u svojoj ravni relativno krutom konstrukcijom, a i sa izvođačkog stanovišta je jednostavnije
- prikazani iterativni numerički postupak je adekvatan i daje realnu procenu ponašanja temeljne konstrukcije plitkih temelja u rutinskoj inženjerskoj praksi

S obzirom na implementaciju mogućnosti modeliranja tla poluprostorom u najnovijoj verziji Tower-a, kao preporuka za dalji rad može se istaknuti verifikacija softverskog paketa Tower pomoću rezultata analize prikazanih u ovom radu.

REFERENCES

- Dopuna stručnog mišljenja o geotehničkim uslovima fundiranja sa predlogom rešenja fundiranja južne tribine stadiona FK "TSC", ul. Maršala Tita, KP 5316, KO Bačka Topola, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2019a
- Elaborat o geotehničkim uslovima izgradnje br. EG-037/18, GeoEXPERT d.o.o., Subotica, 2018.
- Geomehanički elaborat br. EG-3484, Zavod za ispitivanje materijala i konstrukcija d.o.o., Subotica, 2019.
- Kontrola sleganja objekta stadiona FK "TSC", Geoplan Inženjering, Bačka Topola, 2021.
- Maksimović, M.: Mehanika tla, Građevinska knjiga, Beograd, 2005.
- Python, www.python.org
- Skempton A.W., MacDonald D.H.: Allowable settlement of buildings, Proceedings ICE 5 (3), pp. 727-768, 1956
- Statički proračun konstrukcije objekta stadiona FK "TSC" u Bačkoj Topoli, Konstruktor, Užice, 2018.
- Stručno mišljenje o geotehničkim uslovima fundiranja sa predlogom rešenja fundiranja južne tribine stadiona FK "TSC", ul. Maršala Tita, KP 5316, KO Bačka Topola, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2019b