

Nebojša Đuranović¹

ISPITIVANJE TRIBINA GRADSKOG STADIONA U PODGORICI PROBNIM OPTEREĆENJEM

Rezime:

Tribinski dio objekta koji je bio predmet ovog ispitivanja postavljen je sa suprotnih strana centralno postavljenog fudbalskog terena. Noseći dio konstrukcije predstavljaju ramovi koji se sastoje od 5 AB stubova i 5 rigli. Tribinska konstrukcija sjedišta se nalazi na dva nivoa – gornja i donja tribinska galerija. Ispitivanjem su bila obuhvaćena mjerenja i osmatranja pomjeranja, dilatacije u pritisnutom betonu, ugao rotacije presjeka, eventualni razvoj i veličinu vidnih prslina, eventualni lokalni defekti, oštećenja, dinamičke karakteristike i tome slično

Ključne riječi: stadion, probno opterećenje, tribina, statička i dinamička analiza

TESTING OF SPECTATOR GALERIES OF PODGORICA CITY STADIUM BY PROOF LOADING

Summary:

Spectator galleries that have been tested are positioned on the opposite sides of the centrally placed football pitch. Structural system of the building consists of RC frames that consist of 5 columns and 5 beams, each. Spectator seats are positioned on two levels – the lower and upper gallery. The proof load testing procedure consisted of experimental testing and then analysing results from measured movements, strains in compressed concrete, rotations, potential development of cracks, local defects, dynamic characteristics and similar.

Key words: stadium, proof load, galleries, static and dynamic analysis

¹ Dr, vanredni profesor, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

1 UVOD

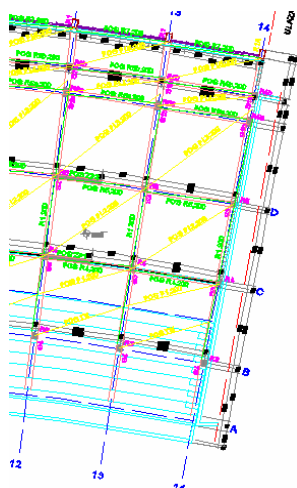
Objekat stadiona, slika 1, je lociran u Podgorici, u centralnom gradskom dijelu, ispod brda Gorica. Izgradnja objekta sjeverne tribine je otpočeta 1990 godine i sa nekoliko prekida i izmjena završena 2006. godine, kad i gradnja južne tribine. Ispitivanje probnim opterećenjem je obavljeno u periodu 19. do 21. jula 2006 godine.



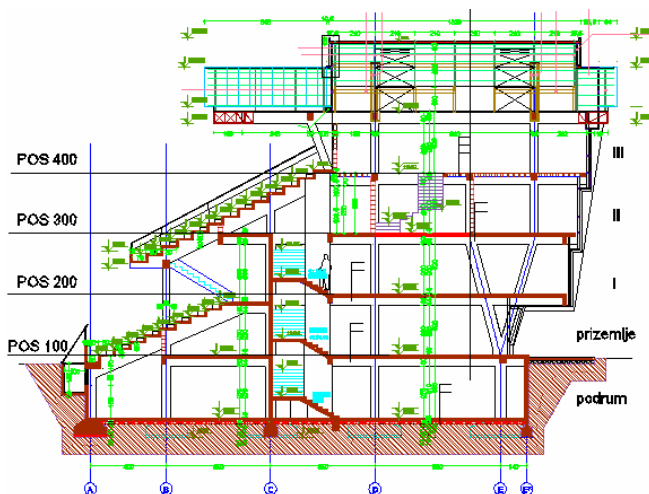
Slika 1 – Gradski stadionu Podgorici u fazi izgradnje

Svrha ispitivanja je bila donošenje ocjene o podobnosti konstrukcije za prihvatanje projektovanog opterećenja, a u skladu sa zahtjevom **PBAB 87** (član 278) [1] koji kaže da "AB konstrukcije tribina na sportskim građevinama i tribina u dvoranama treba ispitivati probnim opterećenjem". Ispitivanjem je trebalo utvrditi ponašanje objekta u realnim uslovima, napone i deformacije u konstrukciji i donijeti eksplicitne zaključke o zadovoljavanju propisanih kriterijuma za ovu vrstu objekata.

Konstrukcija objekta je projektovana i izvedena od armiranog betona MB30, kao monolitna konstrukcija, livena na licu mjesta. Tribinski dio objekta koji je bio predmet ovog ispitivanja postavljen je sa suprotnih strana centralno postavljenog fudbalskog terena. Noseći dio konstrukcije predstavljaju ramovi koji se sastoje od 5 stubova i 5 rigli. Tribinska konstrukcija sjedišta se nalazi na dva nivoa – gornja i donja tribinska galerija. Donju galeriju čini 8 redova sjedišta i promenada – koja omogućava komunikaciju u zaleđu tribine, kao i komunikaciju sa gornjom galerijom. Gornja galerija ima 12 redova sjedišta a komunikacija joj je omogućena samo direktno iz pravca ulaznih stepeništa. U zaleđu najgornjeg reda sjedišta nalazi se zid koji onemogućava prolaz gledalaca u preostali dio objekta. I sjevernu i južnu tribinu čini po 14 ovakvih ramova, koji se konveksno skupljaju prema igralištu, slike 2 i 3.



Slika 2 – Dio POS 200 na mjestu ispitivanja



Slika 3 - Poprečni presjek na mjestu ispitivanja

Za potrebe ovog ispitivanja, objektat nije modeliran u cjelini, već su glavni elementi objekta - ramovi izdvajani i zatim opterećenja prenošena direktno na njih - kao ravanski, a ne kao prostorni sistem.

Elementi konstrukcije su ispitani i za situaciju koncentracije projektnog opterećenja na pojedinom dijelu konstrukcije. Probnim opterećenjem su ispitani sledeći karkateristični konstruktivni elementi: na "južnoj" tribini - treći ram, posmatrano od sjeverne strane, i na "sjevernoj" tribini – drugi ram posmatrano od sjeverne strane. I kod jedne i kod druge tribine ispitivanjem su obuhvaćeni i stubovi u osama 3 i 4.

Poštujući zahtjeve [2] ispitivanjem su bila obuhvaćena mjerenja i osmatranja sledećih parametara: **Tribinska greda rama – gornja i donja galerija:** pomjeranja (vertikalni ugibi) u sredini raspona, dilatacije u pritisnutom betonu: u sredini raspona - gornja zona i u osloncu - donja zona, ugao rotacije presjeka u osloncu, razvoj i veličinu prslina, eventualne lokalne defekte, oštećenja i tome slično; **Stub POS S3, ispod grede rama – gornja galerija i Stub POS S4, ispod grede rama – gornja i donja galerija** dilatacije u pritisnutom betonu na sve četiri strane stuba, eventualne lokalne defekte, oštećenja i tome slično.

Mjerenje dilatacija u betonu izvođena su mehaničkim komparaterima tačnosti 1/1000 mm na postavljenim bazama $l = 200$ mm, i mehaničkim deformetrom, tačnosti 1/100 mm, na postavljenim deformetarskim bazama $l = 100$ mm. Vertikalni ugibi od povremenog opterećenja mjeren je predhodno opisanim mehaničkim ugibomjerima kao i električnim ugibomjerima tipa Hottinger. Tokom mjerenja ugibomjeri su bili pričvršćeni za nepokretnu bazu – drvenu, tj. metalnu skelu. Promjena ugla nagiba tangente na elastičnu liniju (rotacija presjeka) mjerena je mehaničkim klinometrom. Prinudne vibracije konstrukcije snimane su pomoću mjerača vibracija marke "Hottinger", koji je

kompiuterski vođen elektronskim sistemom za akviziciju mjernih veličina. Snimanje prslina i oštećenja izvršeno je pomoću mikroskopa sa koeficijentom uvećanja 50. Vidljive prsline obilježene su vodonepropusnim markerom i fotografisane digitalnom kamerom u rezoluciji 100.

Tribinsku konstrukciju sjedišta, obrnutog L profila, nije bilo potrebno ispitivati posebno, jer je prethodno već bila ispitana. Kao posledica ovoga, odlučeno je da se probnim opterećenjem direktno opterećuju glavni noseći elementi konstrukcije ramovi – i to po jedan na južnoj i jedan na sjevernoj tribini.

Opterećenje na konstrukciju nanošeno je primjenom dostupnih čeličnih tegova težine 500 kg i 20 kg - obadva u obliku blago zarubljene kupe, dimenzija osnove 40cm tj. 16 cm. Pored ovih, korišćeni su tegove težine 20 kg dimenzija 23 x 11.5 x 14 cm – oblika prizme. Probno opterećenje je nanošeno u 4 identična koraka. U svakom koraku opterećenja na konstrukciju rama stavljano je po 500 kg tegova na svaku stepenicu tribine dužine 80 cm, što daje 6.25 kN/m rigle rama. Idući korak opterećenja nanošen tek pošto je došlo do prestanka prirasta pomjeranja, tj. deformacija (stabilizacija stanja) u predhodnom koraku. Smatrano je da je došlo do prestanka prirasta pomjeranja i deformacije ako je prirast pomjeranja i deformacije u periodu od 5 min bio manji od 15 % prethodnog prirasta za isti vremenski period, ili manji od greške mernog instrumenta.

Nakon dostizanja maksimalnog opterećenja od 4.00 kN/m², tribine tj. 6.20m x 4.0 kN/m² = 24.8 kN/m tribinske grede, tj. 24.8kN/m x 0.8 m = 19.84 kN/stepenici tribine to opterećenje držano je na konstrukciji min 10 h. U toku tog vremena izvršeno je nekoliko mjerenja posmatranih parametara odgovora.

Posle rasterećenja, tj. uklanjanja probnog opterećenja sa konstrukcije, mjerenja na konstrukciji vršeno dok nije dostigne neki od kriterijuma o ispravnosti konstrukcije - po kriterijumu zadovoljenja zaostalih ugiba.

2 PRORAČUN NAPONSKO – DEFORMACIONIH KARAKTERISTIKA I ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

Tribinska greda: Granični ugib po PBAB-u za najduži raspona ovog rama je $u_{gr} = l/300 = 5500\text{mm}/300 = 18.33 \text{ mm}$. Za uporedni proračun tribinskog rama korišćen je analitički model koji je jednostavniji od onog korišćenog u Glavnom projektu konstrukcije. Uticaji koji se dobijaju u ovakvom ravanskom sistemu, **tabele 1 i 2**, su veći od onih ostvarenih u prostornom modelu.

TABELA 1 – Trib. greda gornje galerije

Korak opterećenja	Opterećenje rigle rama	M _{polj}
	kN/m	kNm
1	5.0	82.4
2	10.0	164.7
3	15.0	247.1
4	20.0	329.4

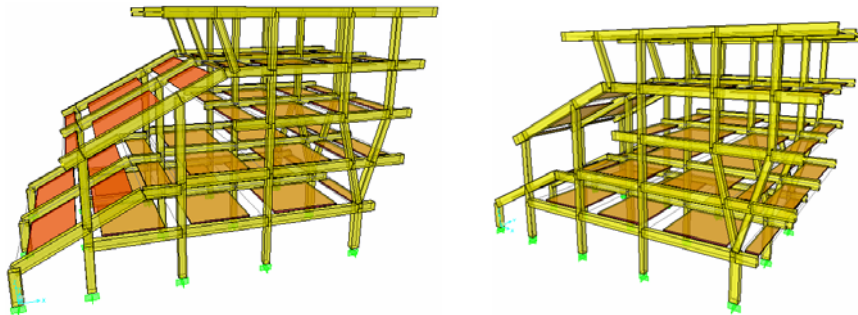
TABELA 2 - Tribin. greda donje galerije

Korak opterećenja	Opterećenje rigle rama	M _{osl.}
	kN/m	kNm
1	5.0	40.8
2	10.0	81.6
3	15.0	122.4
4	20.0	163.2

Veličine ugiba, sračunate iz ravanskog modela - za cio model, pri punom probnom opterećenju, su reda veličine do max. 4mm. One su sračunate korišćenjem veličina krutosti koje odgovaraju neisprskalom betonskom presjeku, tj. manje su od onih koje se dobijaju za isprskali betonski presjek. Rotacija u krajnjoj tački gornje tribinske grede (mjesto prelaska na horizontalni dio) sračunata u ravanskom SAP-ovom modelu iznosi 55.95". Mjerenje dilatacija u betonu tokom eksperimenta korišćeno je za tekuća upoređivanja sa dilatacijom u betonu prema proračunskom dijagramu $\sigma_b - \epsilon_b$.

Stub S4 – neposredno ispod nivoa donje galerije Usled nanijetog probnog opterećenja, iz ravanskog modela je utvrđeno da će vertikalna komponenta "pomjeranja" vrha stuba relativno u odnosu na donji i gornji čvor biti oko 0.3 mm što, na zahvaćenoj dužini od 1.17m odgovara srednjoj dilataciji od: $\epsilon = 0.3/1170 = 0.26 \text{ ‰}$. Ako se dilatacije sračunaju i na drugi način, iz sile u stubu, dobijaju se vrijednosti istog reda veličine: kako je uslijed nanijetog probnog opterećenja na prostornom model utvrđeno da će vertikalna reakcija u osloncu biti 1,618 kN, a kako su momenti i reakcije u drugom pravcu skor zanemarljivi, ovoj aksialnoj sili odgovaraju naponi od 8.09 MPa. Mjerenje dilatacija u betonu tokom eksperimenta korišćena su za tekuća upoređivanja sa dilatacijom u betonu prema proračunskom dijagramu $\sigma_b - \epsilon_b$ kao i za upoređenje sa sračunatom najvećom vrijednošću.

Proračun **dinamičko-vibracionih karakteristika** objekta izvršen je korišćenjem programskog paketa SAP 2000 NONLINEAR, slika 4. Sračunati period oscilovanja konstrukcije iznosi oko 0.8 sec.



Slika 4 - Prostorni model iz SAP - a

Tribinska greda donje galerije: najveći ostvareni ugib tribinske grede južne tribine pod punim eksploatacionim opterećenjem od 4 kN/m² iznosi u tački U1 oko $u_{abs} = 0.17\text{mm}$, a u tački U2 oko 0.22 mm; najveći ostvareni ugib tribinske grede sjeverne tribine pod punim eksploatacionim opterećenjem od 4 kN/m² iznosi u tački U2 oko 0.30 mm, a nakon 10 sati pod opterećenjem on se praktično nije promijenio; neposredno nakon uklanjanja opterećenja izmjereni zaostali ugibi su praktično iznosili 0 mm; rotacije tribinske grede donje galerije na sjevernoj tribini, pod punim opterećenjem iznosile su oko 45.6'', nakon 10 sati pod punim opterećenjem su bile neznatno veće, a neposredno nakon uklanjanja opterećenja praktično su pale na nulu; konstatuju se

gotovo identični rezultati ponašanja tribinske grede donje galerije na južnoj i sjevernoj tribini; prije otpočinjanja ispitivanja južne tribine konstatovana je pukotina u donjem dijelu grede donje galerije - oko 1 m od oslonca u stubu S5, veličine 0.05 mm. Pukotina porastom opterećenja nije uvećavana, pa se zaključilo da se radi o nekonstruktivnom oštećenju; nisu mogle biti uočene nikakva dodatna oštećenja, čak ni prsline na tribinskoj gredi donje galerije, kako u polju tako ni nad osloncima, čak ni pri najvećem probnom opterećenju.

Tribinska greda gornje galerije: najveći ostvareni relativni ugib tribinske grede južne tribine pod punim eksploatacionim opterećenjem od 4 kN/m^2 iznosi u tački U3 oko $u_{\text{rel}} = 1.08 \text{ mm}$, i praktično nije promijenjen nakon 10 sati pod punim opterećenjem; najveći ostvareni relativni ugib tribinske grede sjeverne tribine pod punim eksploatacionim opterećenjem [3] od 4 kN/m^2 iznosi u tački U3 oko 0.36 mm, a u tački U4 0.03 mm, a nakon 10 sati pod opterećenjem on se praktično u obje tačke nije promijenio; rotacije tribinske grede gornje galerije na južnoj tribini, pod punim opterećenjem iznosile su oko 29.7, a nakon 10 sati pod punim opterećenjem su bile praktično identične; konstatuju se gotovo identični rezultati ponašanja tribinske grede gornje galerije na južnoj i sjevernoj tribini; nisu mogle biti uočene nikakva dodatna oštećenja, čak ni prsline na tribinskoj gredi donje galerije, kako u polju tako ni nad osloncima, čak ni pri najvećem probnom opterećenju. najveći ostvareni absolutni ugib kose tribinske grede, sračunat kada se izmjerenim relativnim ugibima $U_{3\text{rel}}$ dodaju pomjeranja oslonaca skele na kojoj su ugibomjeri bili pričvršćeni - u stvari pomjeranja donje galerije - iznose: $u_{3\text{abs}} = u_{2\text{abs}} + u_{3\text{rel}} = 0.22 + 1.08 = 1.3 \text{ mm}$

Mjerenja dilatacija na stubovima: najveća ostvarena dilatacija na stubovima iznosi 0.51 ‰, najveća prosječna ostvarena dilatacija u stubovima iznosi 0.14 ‰

Dinamička ispitivanja: Dinamičkim ispitivanjem pod ljudskom navalom ostvarenom tokom nanošenja tereta, udarom tega od 500 kg na tribinski nosač silom klatna sa udaljenosti od 0.5 m, i njegovim otpuštanjem sa visine od 0.4 m, dobijeni su rezultati koji ukazuju na veliko prigušenje u konstrukciji, tako da nije bilo moguće potvrditi računsku veličinu osnovnog perioda oscilovanja konstrukcije.

4 ZAKLJUČAK

Uporednom analizom izmjerenih i sračunatih vrijednosti deformacionih karakteristika, pri statičkim ispitivanjima za sve faze ispitivanja, može se zaključiti da se konstrukcije tribina ponašaju saglasno projektovanom računskom modelu. Pri tome najveći izmjereni ugibi manji su od proračunatih, najveći zaostali ugibi su manji od dozvoljenih i nisu registrovana nikakva dodatna oštećenja tj. prsline.

LITERATURA

- [1] *Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton*, PBAB 1987
- [2] *Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma*" JUS U.M1.047/1987
- [3] *Korisna opterećenja stambenih i javnih zgrada*, JUS U.C7.121/1988