

ISPITIVANJE TRIBINSKE KONSTRUKCIJE SPORTSKE HALE U PLJEVLJIMA PROBNIM OPTEREĆENJEM

docent dr. Nebojša Đuranović, dipl. građ.ing.
Građevinski fakultet, Pogorica, Crna Gora

Rezime

Konstrukcija objekta je projektovana i izvedena od armiranog betona, livenog na licu mjesta. Noseći sistem tribina čine armiranobetonski zidovi debljine 15 cm, postavljeni na međusobnom rastojanju 5 m, sa pravcem pružanja upravno na borilište. Preko ovih zidova i (na pojedinim mjestima) stubova, formirani su više rasponski kontinualni gredni nosači sjedišta. U zaleđu tribina, nalazi se galerijski dio, koji čini sistem greda i monolitna ploča debljine 12 cm. Ispitivanjem su analizirani slučajevi statičkog i dinamičkog opterećenja, pri čemu su upoređivane analitičke i izmjerene vrijednosti dilatacija pritiska u betonu, ugiba, rotacija presjeka, kao i parametri ponašanja pod dinamičkim opterećenjem (ljudskom navalom) - frekvencije oscilovanja pod slobodnim i prinudnim vibracijama, i dinamički koeficijent.

Ključne riječi

dinamičko i statičko opterećenje, ljudska navala

Abstract

The main structure has been designed and manufactured from cast-in reinforced concrete. The supporting structure was made of RC walls 15 cm thick, placed at 5m centrally spaced - perpendicular to the arena itself. Across this RC walls and (at same places) columns, multispans concrete beams - spectator seats area - was formed. At the back of the spectator area is a gallery made of beam and cast-in slab, 12 cm thick. Structural examination concentrated on static and dynamic loading, for which analytically generated and experimentally measured values of compressive strain in concrete, deflection, rotation and dynamic parameters were compared

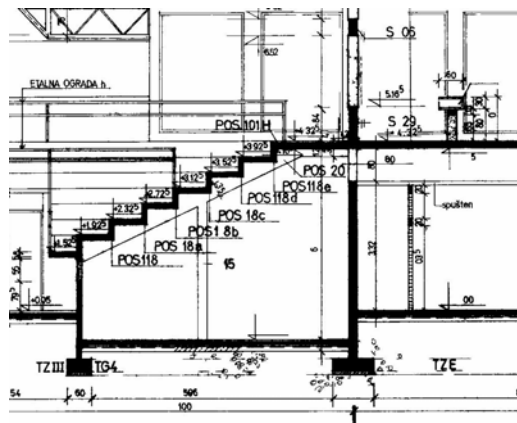
Keywords

dynamic and static loading, live load

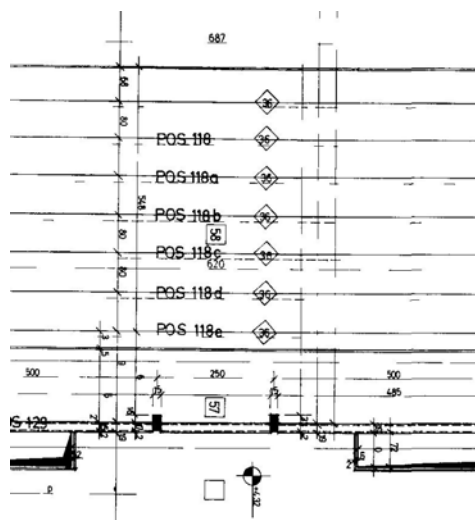
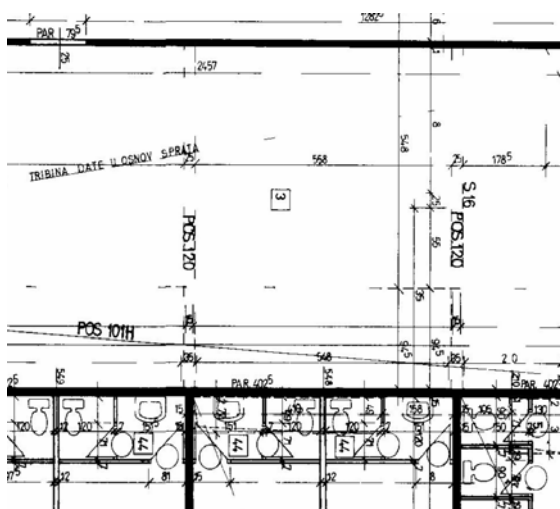
1. OSNOVNI PODACI

Ispitivanjem je bilo potrebno utvrditi ponašanje objekta u realnim uslovima, naponsko - deformacione karakteristike konstrukcije i donijeti eksplicitne zaključke o zadovoljavanju propisanih kriterijuma za ovu vrstu objekata, [1].

Konstrukcija objekta je projektovana i izvedena od armiranog betona, kao monolitna konstrukcija, livena na licu mjesta. Tribinski dio objekta projektovan je sa tri strane centralno postavljenog borilišta.



Slika 1. Slika dvorane i poprečni presjek na mjestu ispitivanja



Slika 2. Osnove objekta na mjestu ispitivanja

Konstrukcija tribina proračunata je za statičko, ravnomjerno raspoređeno opterećenje od 4.00 kN/m^2 , [2]. Na to opterećenje konstrukcija je i provjeravana.

Prije nanošenja opterećenja zahtijevanog po standardu, vršeno je posmatranje ponašanja konstrukcije pod ljudskom navalom. U tu svrhu mjerenja su vršena tokom rukometne utakmice, neposredno prije ispitivanja tegovima do punog nivoa eksploatacionog opterećenja. Tokom ovih mjerenja dvorana je bila ispunjena do posljednjeg mjesta - popunjeni su bili čak i prolazi, tj. prilazna stepeništa. Procijenjuje se da ovo opterećenje punog gledališta iznosi oko 1.20 kN/m^2 .

Duga, mjerodavna forma probnog opterećenja na konstrukciji bilo je ono nanošeno primjenom čeličnih tegova težine 20 kg, oblika blago zarubljene kupe,

dimenzija osnove 16cm. Ovo probno opterećenje nanošeno je u 4 koraka, praćena mjerenjima. U svakom koraku opterećenja na konstrukciju stavljano je po 5 tegova na 1 m², što daje 1.00 kN/m². Idući korak opterećenja nanošen je tek pošto je došlo do prestanka prirasta pomjeranja, tj. deformacija (stabilizacija stanja) u predhodnom koraku opterećenja. Nakon dostizanja maksimalnog probnog opterećenja od 4.00 KN/m² to opterećenje držano je na konstrukciji 11 h. U toku tog vremena izvršeno je jedno mjerenja posmatranih parametara odgovora i ono nije pokazalo nikakve promjene u odnosu na mjerenje izvršeno neposredno nakon nanošenja zadnjeg koraka opterećenja.

Poslije rasterećenja, tj. uklanjanja probnog opterećenja sa konstrukcije, mjerenja na konstrukciji vršeno je dok nije dostignut neki od kriterijuma o ispravnosti konstrukcije - po kriterijumu zadovoljenja zaostalih ugiba. Kako je taj kriterijum bio dostignut neposredno nakon uklanjanja opterećenja tegova, to je odmah nakon izvršenih čitanja ispitivanje bilo i okončano.

2. PRORAČUN KONTROLNIH PARAMETARA PONAŠANJA

Na početku treba dati jednu napomenu u vezi izvršenog proračuna ugiba od povremenog opterećenja, nanijetog na već ispucali presjeku, koji je predhodno bio izložen vremenskim deformacijama betona. Kako ugib u trenutku t od kombinacije dugotrajnog g i kratkotrajnog p opterećenja po propisima računamo kao: $u_{(g+p)}t = U_{(g+p)} t_0 + U_{(g)} t - U_{(g)} t_0$, to se ugib od povremenog opterećenja u trenutku vremena t može sračunati kao: $U_{(p)}t = (U_{(g+p)} t_0 + U_{(g)} t - U_{(g)} t_0) - U_{(g)} t = U_{(g+p)} t_0 - u_{(g)}t_0$, jer je ugib od g u trenutku t već ostvaren i ne možemo ga izmjeriti, već samo na ovaj način eliminisati iz razmatranja. Ugib proračunat na ovaj način je neznatno veći nego onaj koji se u realnosti ostvari.

Za uporedni proračun **tribinske grede** korišćen je analitički model koji je korišćen i u Glavnom projektu konstrukcije - obostrano uklještena greda. Deformacione vrijednosti u tabeli 1. određene su primjenom SAP-a. Dobijeni uticaji i deformacione karakteristike od povremenog opterećenja su: (*)sračunato za betonski neisprskali presjek.

Tabela 1. Računski ugib tribinske grede

Nivo opterećenja	Opterećenje	M _{osl.}	M _{polj}	Reakcija	Ugib u sredini raspona(*)
	kN/m ²	kNm	kNm	kN	mm
1	0.4	0.91	0.45	0.93	0.0297
2	0.8	1.81	0.91	1.87	0.0593
3	1.2	2.72	1.36	2.80	0.0890
4	1.6	3.62	1.81	3.73	0.1187
5	2.0	4.53	2.27	4.67	0.1484
6	2.4	5.43	2.72	5.60	0.1780
7	2.8	6.34	3.17	6.53	0.2077
8	3.2	7.25	3.62	7.46	0.2374
9	3.6	8.15	4.08	8.40	0.2670
10	4.0	9.06	4.53	9.33	0.2967

Dok je granični ugib po PBAB-u [3] za gredni nosač ovog raspona je: $u_{gr} = l/300 = 5830\text{mm}/300 = 19.43 \text{ mm}$, dotle je maksimalni ugib za uklještenu gredu, homogenog betonskog presjeka, od povremenog opterećenja, sračunat na osnovu gotovih izraza, i iznosi:

$$v_{elas} = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot EI} = \frac{3.2 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right] \cdot 5.83^4 [\text{m}^4]}{384 \cdot 3163 \cdot 10^4 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \cdot \frac{0.12 [\text{m}] \cdot 0.48^3 [\text{m}^3]}{12}} = 0.000275 \text{ m} = 0.275 \text{ mm}$$

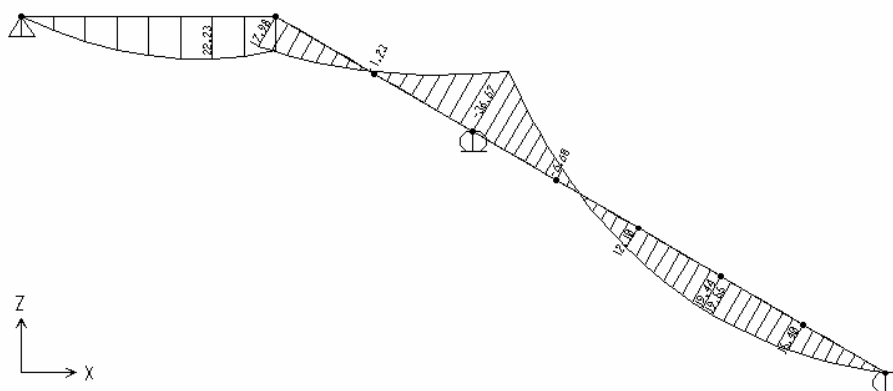
Ugib od povremenog opterećenja u trenutku vremena t izračunat je korišćenjem programa "Uu.exe". Pri proračunu su korišćene sledeće vrijednosti: MB 30, RA 400/500, $2R\phi 12$, $\varphi = 2.35$ i $\varepsilon_s = 0.3\text{‰}$. Sračunate vrijednosti ugiba iznosile: $u_{(g+p)t_0} = 0.528 \text{ mm}$; $u_{(g)t_0} = 0.245 \text{ mm}$; $U_{(p)}t = U_{(g+p)}t_0 - u_{(g)t_0} = 0.528 - 0.245 = 0.283 \text{ mm}$

U prostornom modelu formiranom u SAP-u uticaji od ukupnog probnog opterećenja su nad osloncima značajno manji ($M_{osl} = 4.07 \text{ kNm}$), ali su zato uticaji u polju veći za oko 20% od onih proračunatih korišćenjem modela uklještene grede. Ovo je iz razloga što se u stvarnoj konstrukciji, i u prostornom modelu SAP-a, ne ostvaruju pretpostavke o punom uklještenju oslonaca, koje su korišćene u Glavnom projektu konstrukcije.

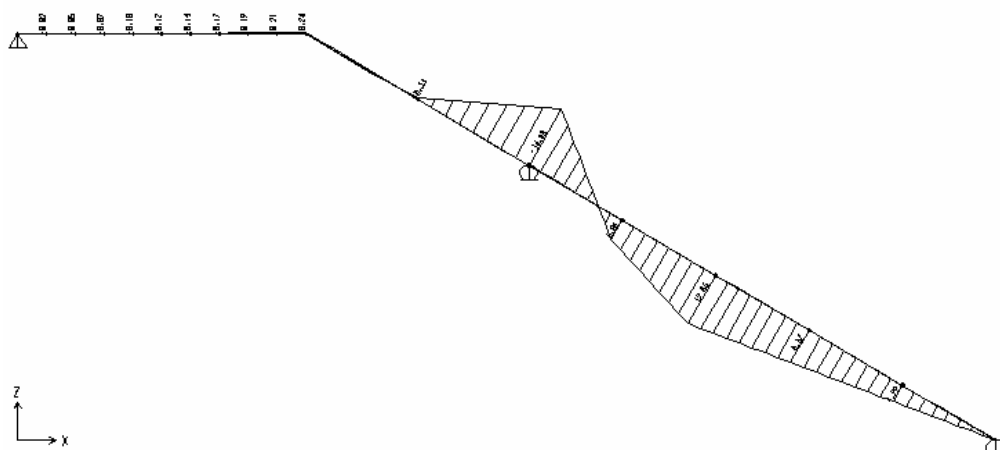
Veličine ugiba sračunate iz prostornog modela za sredinu tribinske grede, pri punom probnom opterećenju, su oko 0.52 mm, i one uključuju pomjeranja stepenaste grede koja na sebi nosi tribinske grede. Njena pomjeranja za ovaj slučaj su oko 0.18 mm, što će reći da je relativno pomjeranje tribinske grede oko 0.33 mm.

Rotacija u osloncu (u odnosu na stepenastu gredu) sračunata u prostornom SAP-ovom modelu iznosi $1.529 \times 10^{-4} \text{ rad}$, tj. $1.529 \times 10^{-4} \times \frac{360}{2\pi} = 0.00876^\circ$, tj. $0.00876 \times 3600 = 31.54''$.

Za proračun **kose stepenaste grede** korišćen je analitički model koji je korišćen i u glavnom projektu - AB kosa koljenasta kontinualna greda. Proračun za projektno opterećenje je izvršen u SAP-u - dijagram momenata je prikazan na slici 3, a uticaji sračunati za probno opterećenje koje je korišćeno tokom ispitivanja su prikazani na slici 4.



Slika 3. Uticaji za projektno pokretno opterećenje



Slika 4. Uticaji M_{sav} za probno opterećenje, prema modelu proračuna iz Glavnog projekta

Kako se vidi sa dijagrama M_{sav} vrijednosti najvećeg uticaja za probno opterećenje, u sredini "donjeg" polja su za oko 33% manje nego projektne, ali su one na mjestu ispod drugog reda tribina, počev od stuba prema dolje, gotovo identične, a tu je i vršeno mjerenje.

Granični ugib po PBAB-u za gredni nosač ovog raspona je: $u_{gr} = l/300 = 3795 \text{ mm}/300 = 12.65 \text{ mm}$.

Vrijednost ugiba sračunata za isprskali idealizovani (unijet uticaj armature) i vremenom modifikovani betonski presjek kod tribinskog nosača je približna vrijednostima određenim iz SAP-a, pa će se za ostale elemente koji se ispituju koristiti vrijednosti ugiba sračunate za homogeni betonski presjek, primjenom ovog softvera. Znači, deformacione vrijednosti u tabeli 2, sračunate za položaj probnog opterećenja, primjenom SAP-a.

TABELA 2. - Ugibi kose "stepenaste" grede

Korak opterećenja	Opterećenje na tribinama kN/m^2	Ugib na mjestu ispod druge tribinske grede, gledano od stuba prema terenu (sračunat za betonski neisprskali presjek) mm
1	0.4	0.0426
2	0.8	0.0851
4	1.6	0.1703
5	2.0	0.2129
7	2.8	0.2980
8	3.2	0.3406
10	4.0	0.4257

Veličina ugiba u posmatranoj tački, sračunata iz prostornog modela SAP-a, pri punom probnom opterećenju na tribinskim gredama je oko 0.16 mm, a prisutna je i komponenta pomjeranja u drugom pravcu - zbog ugiba tribinskog nosača.

Uslijed nanijetog probnog opterećenja, iz prostornog modela je utvrđeno da će vertikalna komponenta "pomjeranja" vrha **stuba ispod kose stepenaste grede** biti oko 0.186 mm što odgovara srednjoj dilataciji od: $\epsilon = 0.186/4080 = 0.46 \text{ ‰}$.

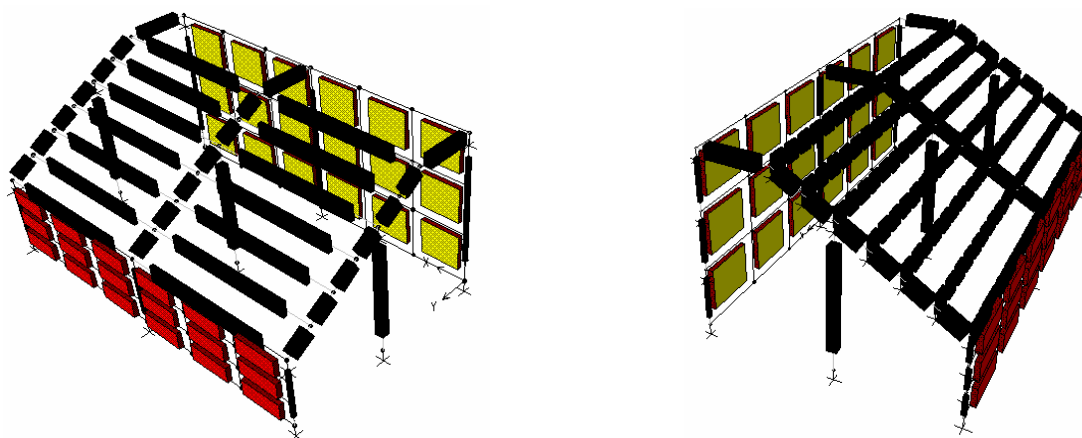
Ako se dilatacije sračunaju iz sile u stubu dobijaju se vrijednosti istog reda veličine. Kako je uslijed nanijetog probnog opterećenja na prostornom model utvrđeno da će vertikalna reakcija u osloncu biti 28.13 kN, a kako su momenti i reakcije u drugom pravcu skoro zanemarljivi, to ovoj aksialnoj sili odgovaraju naponi od:

$$\sigma = \frac{28.13}{25 \cdot 25} = 0.045 \text{ kN/cm}^2 = 0.45 \text{ MPa, tj. srednja dilatacija od:}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{0.045}{31.63 \cdot 10^2} = 0.142\text{‰}$$

Mjerenje dilatacija u betonu tokom eksperimenta korišćena su za tekuća upoređivanja sa dilatacijom u betonu prema proračunskom dijagramu $\sigma_b - \varepsilon_b$ kao i za upoređenje sa sračunatom najvećom vrijednošću dilatacija.

Iako glavnim projektom nije dat proračun dinamičko-vibracionih karakteristika konstrukcije, on je za potrebe ovog ispitivanja izvršen, a dobijene vrijednosti provjerene pod dinamičkom pobudom. Analitički model koji je korišćen prikazan je na slici 5.



Slika 5. Prostorni model iz SAP - a

Prilikom dinamičkog ispitivanja određivane su dinamičke karakteristike tribine - period oscilovanja, i upoređivani sa proračunskim, dobijenim iz SAP-a.

Sračunati period oscilovanja tribinske grede iznosi oko 0.8 sec, a period oscilovanja cijele tribine oko 0.12 sec. Ovo odgovara frekvencijama od 1.25 tj. 8.5 Hz

3. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA I ZAKLJUČAK

Tribinska greda: najveći ostvareni ugib u sredini tribinske grede pod ljudskom navalom - pune tribine iznosio je oko $u_{lj.nav.} = 0.17 \text{ mm}$; najveći ostvareni ukupni ugib tribinske grede pod punim eksploatacionim opterećenjem od 4 kN/m^2 iznosi oko $u_{abs} = 0.73 \text{ mm}$; nakon 11 sati pod punim eksploatacionim opterećenjem absolutni ugibi tribinske grede su povećani za oko 5.4%; neposredno nakon uklanjanja opterećenja izmjereni zaostali ugibi su iznosili oko $u_{abs.zaos.} = 0.05 \text{ mm}$, tj. oko 7 % od najvećih; najveće ostvarene dilatacije betona u gornjoj zoni tribinske grede - sredina raspona (pritisnuti beton) iznosile su oko 0.09 ‰, a nakon uklanjanja opterećenja potpuno su nestale, tj. nije bilo zaostalih dilatacija; rotacije tribinske grede u osloncu, pod punim opterećenjem iznosile su oko 2.63' a neposredno nakon uklanjanja su iznosile oko 0.19', tj. 8% od najvećih; nisu mogle biti uočene nikakva oštećenja čak ni prsline na tribinskoj gredi, kako u polju tako ni nad osloncima ni pri najvećim probnim opterećenjem; najveći izmjereni relativni ugib tribinske grede, sračunat kada se od

najvećeg absolutnog ugiba u_{abs} oduzmu veličine za koliko su pomjereni oslonci ove grede (kosa tribinska greda), kao i oslonac kose tribinske grede, iznose: $u_{abs} = u_{abs} - (u_{tr.gr.} + u_{stuba}) = 0.73 - (0.38 + 0.102) = 0.268 \text{ mm}$; nisu mogla biti uočena nikakva oštećenja, pa čak ni prsline na tribinskoj gredi, kako u polju tako ni nad osloncima, ni pri najvećem probnom opterećenju.

Kosa stepenasta greda greda: najveći ostvareni ugib u sredini kose stepenaste grede pod ljudskom navalom - pune tribine iznosio je oko $u_{lj.nav.} = 0.22 \text{ mm}$; najveći ostvareni ukupni ugib kose stepenaste grede pod punim eksploatacionim opterećenjem od 4 kN/m^2 iznosi oko $u_{abs} = 0.38 \text{ mm}$; nakon 11 sati pod punim eksploatacionim opterećenjem absolutni ugibi kose grede nisu dodatno povećani; neposredno nakon uklanjanja opterećenja izmjereni zaostali ugibi su iznosili oko $u_{abs.zaos.} = 0.2 \text{ mm}$, tj. oko 53% od najvećih ostvarenih; najveće ostvarene dilatacije betona u gornjoj zoni kose grede - sredina raspona (pritisnuti beton) bile su premale za kvalitetno mjerenje; najveći ostvareni relativni ugib kose grede, sračunat kada su od najvećeg absolutnog ugiba u_{abs} oduzmu veličine za koliko su pomjereni oslonci ove grede - stub iznose: $u_{abs} = u_{abs} - u_{stuba} = 0.38 - 0.102 = 0.278 \text{ mm}$; nisu mogla biti uočena nikakva oštećenja, pa čak ni prsline na kosoj gredi, kako u polju tako ni nad osloncima, ni pri najvećem probnom opterećenju.

Stub: najveća ostvarena vertikalna pomjeranja u vrhu stuba pod punim eksploatacionim opterećenjem od 4 kN/m^2 iznosi oko $u_{abs} = 0.102 \text{ mm}$; nakon 11 sati pod punim eksploatacionim opterećenjem ova pomjeranja nisu dodatno povećana; neposredno nakon uklanjanja opterećenja nisu postojali nikakva zaostala pomjeranja; najveće ostvarene dilatacije betona u stubu su bile premale za kvalitetno mjerenje; nisu mogla biti uočena nikakva oštećenja, ni pri najvećem probnom opterećenju; dinamičkim ispitivanjem pod ljudskom navalom dobijena je dominantna frekvencija oscilovanja od $f_1 = 19 \text{ Hz}$ tj. osnovni period oscilovanja od oko $t = 0.05 \text{ sec}$.

Rezultati ispitivanja **tribinske konstrukcije** probnim opterećenjem ukazuju da je ukupni odgovor tribina pri statičkom i dinamičkom probnom opterećenju bio u skladu sa projektovanim ponašanjem, i da se projektom predviđena opterećenja mogu pružiti sa propisanim koeficijentima sigurnosti;

LITERATURA

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