

UDK : 624.012.45:624.042.2  
624.95:624.042.2

## DIJAGNOSTIKA STANJA AB SITNOREBRASTE MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE - STUDIJA SLUČAJA DEO 1 – STATIČKE ANALIZE

Slobodan Ranković<sup>1</sup>, Žarko Petrović<sup>2</sup>, Radovan Cvetković<sup>3</sup>, Todor Vacev<sup>4</sup>

**Rezime:** U radu je prikazana dijagnostika stanja armiranobetonske sitnorebraste međuspratne konstrukcije višedecenijske starosti, na primeru konstrukcije osnovne škole "Josif Kostić" u Leskovcu. Konstrukcija je ispitana na uticaje probnog opterećenja u skladu sa važećim standardom tokom koga je praćeno njeno ponašanje pod probnim opterećenjem. Vršena je analiza odgovora konstrukcije izložene dejstvu statičkog probnog opterećenja. Upoređene su merene sa računskim vrednostima globalnih deformacija (ugiba) pod statičkim opterećenjem i definisane lokalne deformacije (dilatacije) odnosno naponi u zategnutoj armaturi i pritisnutom betonskom delu preseka na osnovu dobijenih merenja "in situ". Ustanovljena je postojeća čvrstoća betona pri pritisku metodom sklerometrisanja. Dati su zaključci o trenutnom stanju konstrukcije, na osnovu kojih je moguće definisati adekvatne mere sanacije i ojačanja.

**Ključne reči:** Dijagnostika stanja, Ispitivanje, armiranobetonska konstrukcija, međuspratna sitnorebrasta konstrukcija, statičko probno opterećenje.

## STATE DIAGNOSTICS OF REINFORCEMENT CONCRETE FLOOR STRUCTURE - CASE STUDY PART 1 - STATIC ANALYSIS

**Summary:** In the paper is presented diagnostics of the condition of a reinforced concrete ribbed floor which is several decades old, taking as an example elementary school building "Josif Kostić" in Leskovac. The structure is examined under test load according to current standard, and its behaviour was recorded. An analysis of the structural response to static test load was conducted. Measured and calculated values of the global deformations (deflections) under static load were compared. Local deformations (dilatations), that is, stresses in the tensioned reinforcement and compressed concrete cross section, were defined based on the measurements "in situ". The existing compression strength of the concrete was determined using sclerometric method. Conclusions about the actual condition of the structure were given, which can be used for defining of the adequate measures of sanation and strengthening.

**Key words:** diagnostics, testing, concrete structure, reinforced concrete ribbed floor, static test load.

---

<sup>1</sup>Doc., dr inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

<sup>2</sup>Doc, dr inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

<sup>3</sup> Saradnik, dr inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

<sup>4</sup>Vanredni profesor, dr inž., Građevinsko-arhitektonski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, Niš

## 1 UVOD

Tokom radova na sanaciji i adaptaciji, kao i poboljšanju energetske efikasnosti objekta osnovne škole "Josif Kostić" u Leskovcu primećena su oštećenja na elementima međuspratne konstrukcije i pojava pojačanih vibracija. U pitanju je armiranobetonska sitnorebrasta međuspratna konstrukcija višedecenijske starosti na kojoj je projektom bila predviđena izmena elemenata podne i plafonske konstrukcije. Ukupna površina međuspratne konstrukcije iznosi približno 700 m<sup>2</sup>, a građevinski radovi su u toku.

Radi dijagnostikovanja stanja međuspratne konstrukcije, odnosno utvrđivanja njenih statičkih i dinamičkih karakteristika izvršeno je ispitivanje na uticaj probnog opterećenja u skladu sa važećim standardom SRPS U.M1.047. (1). Detaljan prikaz rezultata ispitivanja na uticaj statičkog i dinamičkog probnog opterećenja dat je u (2). Snimanje i obrada dobijenih podataka vršeno je primenom savremene merne opreme (SPIDER 8) i odgovarajućih softverskih paketa (CATMAN). Analiza je izvršena na osnovu dobijenih rezultata merenja globalnih i lokalnih deformacija izazvanih dejstvom probnog opterećenja, kao i merenih dinamičkih parametara, uz računске analize.

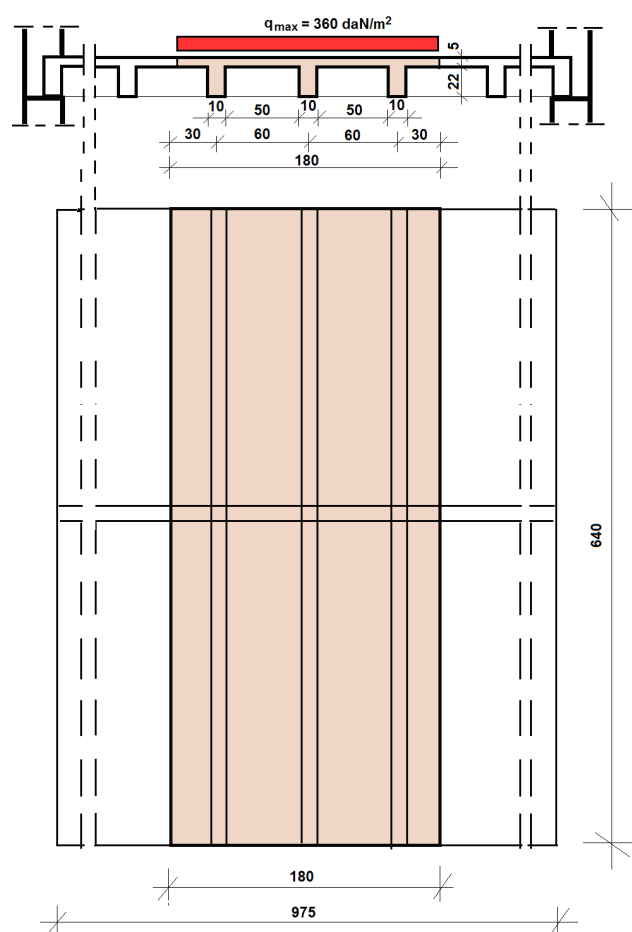
## 2 KRATAK OPIS KONSTRUKCIJE

S obzirom da nije bila dostupna dokumentacija o izgradnji objekta, tehničke karakteristike (dimenzije) određene su merenjem na licu mesta.

Predmetna konstrukcija je armiranobetonska, sitnorebrasta, livena na licu mesta. Statički raspon nosača (rebara) je 6,5 m. Razmak rebara iznosi 60 cm, širina im je 10 cm, a visina rebra 22 cm. Debljina ploče je 5 cm. U polovini raspona postoji poprečni nosač visine takođe 22 cm. Rebra su armirana sa GA 2Ø16 mm, uzengije Ø6 mm su na 25 cm, a u ploči je mreža Ø5/20 cm. Dimenzije prostorije u kojoj su sprovedena ispitivanja su 6,4 x 9,75 m, a nalazi

se na prvom spratu objekta u delu objekta prema ulici Učitelja Josifa. Detalji konstrukcije dati su u grafičkom prilogu.

Beton od koga je izrađena konstrukcija je slabog kvaliteta i mestimično je došlo do njegovog odvajanja i oštećenja, uz pojavu segrtegacije i lošu ugradnju, tako da je armatura mestimično ogoljena. Primećene su vibracije međuspratne konstrukcije u nivou između prizemlja i sprata koje izazivaju nelagodnost kod korisnika. Podna konstrukcija je uklonjena do nivoa betonske ploče.



Slika 1: Osnova i presek međuspratne konstrukcije pod probnim opterećenjem.

## 3. PROGRAM ISPITIVANJA

### 3.1 Odabir konstrukcije za ispitivanje

Za ispitivanje na uticaj probnog (zamenjujućeg) opterećenja odabrana je međuspratna konstrukcija koja je vizuelnim pregledom imala

najlošije karakteristike. Radi što realnijeg sagledavanja ponašanja konstrukcije u eksploataciji opterećenje je nanešeno iznad tri nosača (N6, N7, N8) u polju sitnorebraste međuspratne konstrukcije raspona 6,5 m i ukupne širine 1,80 metara (Slika 7).

### 3.2 Stanje konstrukcije pre ispitivanja

Makroskopskim pregledom ustanovljeno je da je površina betona na ploči i naročito nosačima (rebrima) delimično oštećena, uz pojavu segregacije, a da je na pojedinim delovima konstrukcije armatura potpuno ogoljena (Slika 3). Uočeno je i vibriranje međuspratne konstrukcije koje izaziva nelagodnost kod korisnika.

### 3.3 Tok eksperimenta

Ispitivanje na uticaj zamenjujućeg (probnog) opterećenja sprovedeno je u skladu sa propisima za ovu vrstu radova SRPS U. M1. 047. Merenja su sprovedena za uticaje usled statičkog opterećenja (po fazama) i dinamičkog opterećenja (što zbog ograničenog prostora nije prikazano u ovom radu).

### 3.4 Ispitivanje na uticaj zamenjujućeg statičkog opterećenja

Kao probno (zamenjujuće) statičko opterećenje, koje treba da simulira stvarne uticaje i omogući merenje naprezanja i deformacija u konstruktivnim elementima, korišćene su vreće sa glet masom (lepkom) pojedinačne težine 25 kg (Slika 8). Opterećenje je zadržano na konstrukciji 16 sati nakon čega je izvršeno rasterećenje uz očitavanje zaostalih vrednosti na instrumentima u narednih 4 sata tokom rasterećenja. Ukupno nanešeno opterećenje iznosilo je 4050 kg (Slika 8).

### 3.5 Korišćena oprema

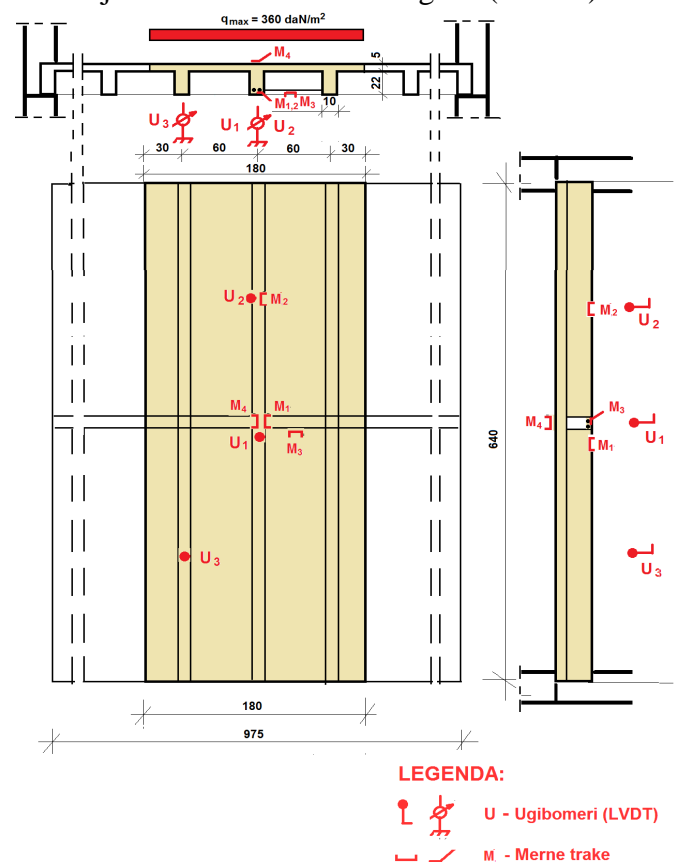
Raspored mernih instrumenata izvršen je u skladu sa principom opasaivanja preseka instrumentima. Korišćena je oprema za praćenje globalnih (opštih) i lokalnih deformacija i

naprezanja u karakterističnim presecima u kojima se očekuju maksimalni uticaji.

Globalne deformacije (ugibi), praćene su elektronskim meračima pomeranja (LVDT-merač puta) W50 sa hodom od  $\pm 50$  mm (Slika 3) i ugibomerom sa žicom sa podatkom 1/100 mm (Slika 5). Dilatacije u armaturi i betonu prećene su elektrootpornim tenzometrima (mernim trakama) firme Hottinger LY 41 sa bazom od 6 mm (foto 3) odnosno sa bazom od 50 mm na betonskoj ploči u zoni pritiska (Slika 4). Davači su vezani za mernu stanicu primenom višekanalnih merno-akvizicijskih sistema SPIDER8 i povezani sa personalnim računarom (foto 6). Obrada podataka izvršena je originalnim HBM softverskim paketom CATMAN.

### 3.6 Faze opterećenja

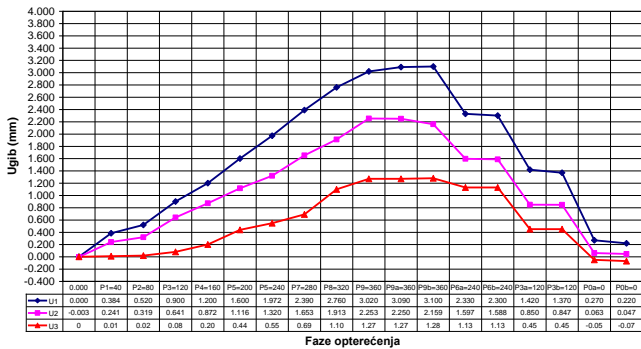
Opterećenje je nanošeno u devet faza (P1 – P9) ravnomerno sa korakom od  $40 \text{ kg/m}^2$ , od krajeva prema sredini statičkog raspona konstrukcije do maksimalnih  $360 \text{ kg/m}^2$  (Slika 8).



Slika 2: Dispozicija eksperimentalne postavke.

### 4. REZULTATI STATIČKIH ISPITIVANJA

DIJAGRAM MERENIH UGIBA  
(Davači pomeranja - LVDT i ugibomer)

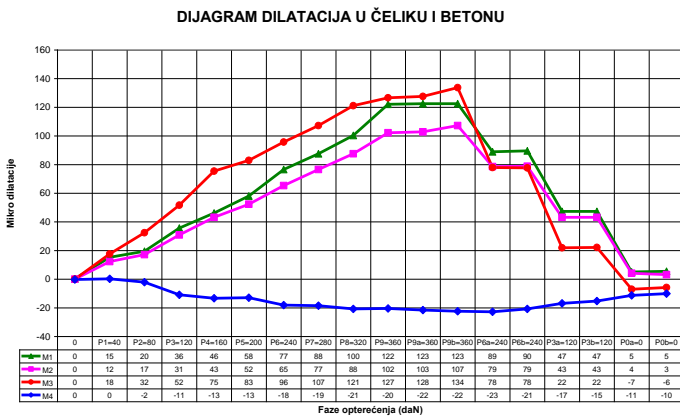


Slika 3: Dijagram merenih deformacija (ugiba).

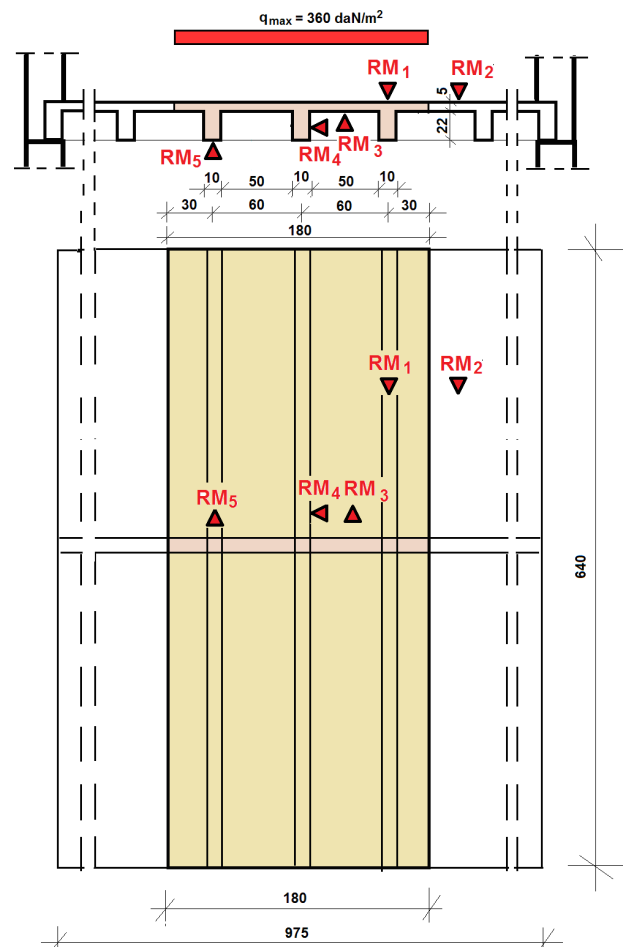
### 5. UTVRĐIVANJE MARKE BETONA SKLEROMETRISANJEM

#### 5.1 Podaci o ispitivanoj AB konstrukciji u zoni ispitivanja

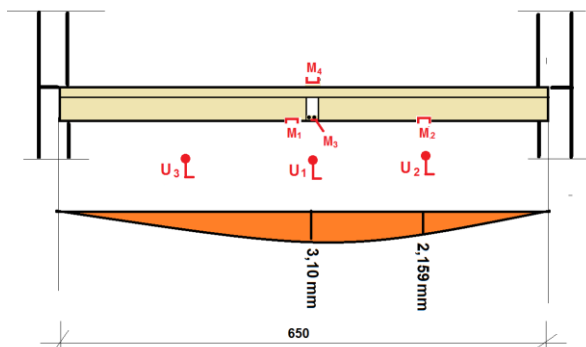
- Projektovana marka betona: Nepoznata
- Oplata: Drvena
- Starost betona: Veća od 40 godina
- Obrada mernih mesta: Brušenje abrazivom
- Vrsta odskočnog čekića: Proceq (Tip N-28); ser. br. 71150
- Datum ispitivanja: 24. 01. 2018. god.
- Pravac udara:  $\alpha=0^\circ$ ,  $\alpha=+90^\circ$  i  $\alpha=-90^\circ$



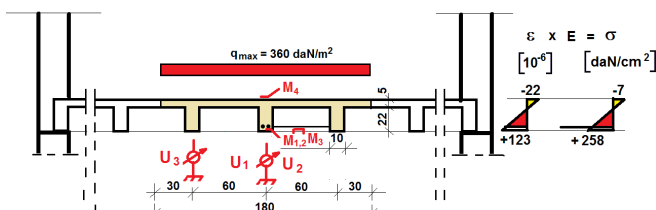
Slika 4: Dijagram merenih dilatacija.



Slika 6: Položaj radnih mesta (RM) pri ispitivanju marke betona sklerometrisanjem



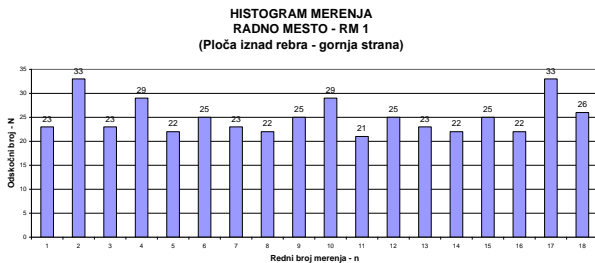
Slika 5: Prikaz merenih ugiba.



Slika 5: Dijagrami merenih dilatacija i napona u armaturi i betonu

## 5.2 Histogrami merenja odskočnog broja odskočnim čekićem (sklerometrom)

RADNO MESTO – RM1 (PLOČA IZNAD REBRA – GORNJA STRANA)



Srednja vrednost odskočnog broja:  $N_{sr} = 25,06$

Standardna devijacija:  $\sigma = \pm 3,67$

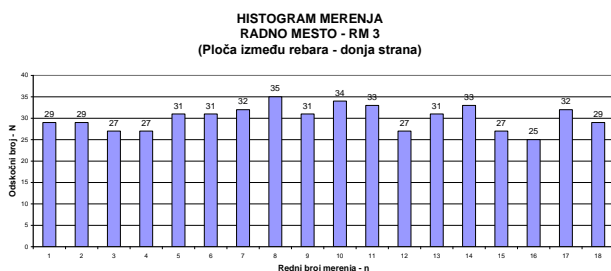
Merodavna vrednost odskočnog broja:

$$N = N_{sr} - \sigma = 21,4$$

Očitana vrednost čvrstoće na pritisak za

$$N = 21,4 \text{ i } \alpha = -90^\circ \Rightarrow f_b = 18 \text{ MPa}$$

RADNO MESTO – RM3 (PLOČA SA DONJE STRANE – IZMEĐU NOSAČA)



Srednja vrednost odskočnog broja:  $N_{sr} = 30,17$

Standardna devijacija:  $\sigma = \pm 2,81$

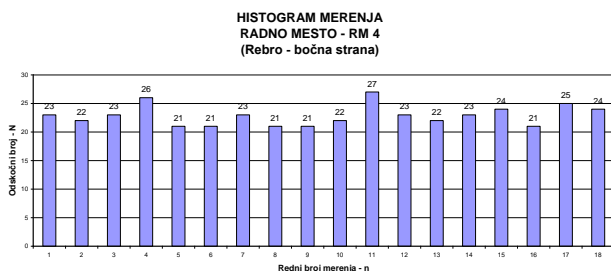
Merodavna vrednost odskočnog broja:

$$N = N_{sr} - \sigma = 27,4$$

Očitana vrednost čvrstoće na pritisak za

$$N = 27,5 \text{ i } \alpha = +90^\circ \Rightarrow f_b = 16 \text{ MPa}$$

RADNO MESTO – RM4 (NOSAČ - REBRO SA BOČNE STRANE)



Srednja vrednost odskočnog broja:  $N_{sr} = 22,89$

Standardna devijacija:  $\sigma = \pm 1,78$

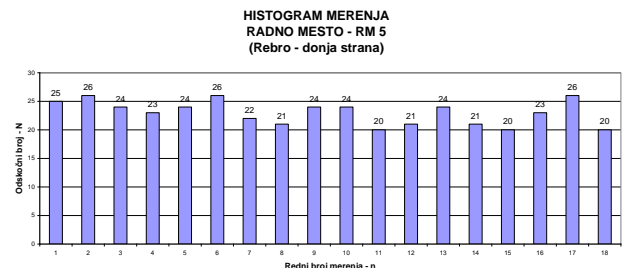
Merodavna vrednost odskočnog broja:

$$N = N_{sr} - \sigma = 21,1$$

Očitana vrednost čvrstoće na pritisak za

$$N = 21,1 \text{ i } \alpha = 0^\circ \Rightarrow f_b = 14 \text{ MPa}$$

○ RADNO MESTO – RM 5 (NOSAČ - REBRO SA DONJE STRANE)



Srednja vrednost odskočnog broja:  $N_{sr} = 23,00$

Standardna devijacija:  $\sigma = \pm 2,11$

Merodavna vrednost odskočnog broja:

$$N = N_{sr} - \sigma = 20,89$$

Očitana vrednost čvrstoće na pritisak za

$$N = 20,89 \text{ i } \alpha = +90^\circ \Rightarrow f_b = 12 \text{ MPa}$$

## 5.3 Zaključak o sprovedenom ispitivanju marke betona

Na osnovu merenja odskočnog broja odskočnim čekićem i obrade rezultata uz korišćenje kalibracionih kriva, može se konstatovati da ostvarena pritisna čvrstoća betona ispitivane armiranobetske sitnorebraste međuspratne konstrukcije ima disperziju rezultata i nisku marku betona.

Ispitivana vrednost pritisne čvrstoće AB međuspratne konstrukcije iznosila je:

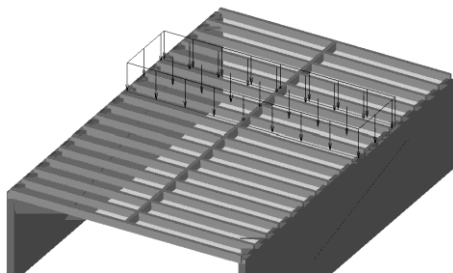
$$f_b = 12 \text{ do } 18 \text{ MPa}$$

Tačnost rezultata je u granicama tačnosti metode, a za detaljniju analizu neophodno je kernovanje betona.

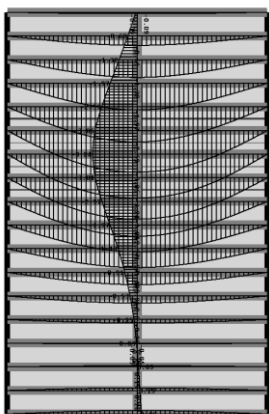
U proračunima je kao merodavna uzeta čvrstoća na pritisak koja odgovara MB 15 MPa.

## 6. RAČUNSKE VELIČINE

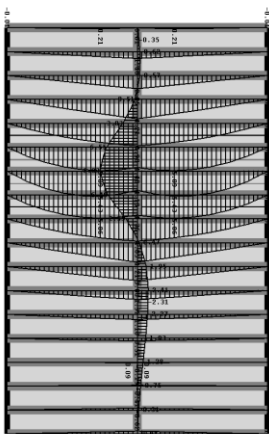
Kontrolni statički proračun, za aplicirano probno opterećenje sproveden je primenom programa Tower primenom površinskih i grednih elemenata. Prikazani su rezultati dobijenih ugiba i momenata savijanja u dva ortogonalna pravca.



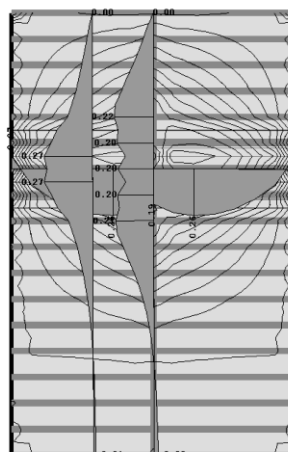
Slika 7: Izometrijski prikaz računskog modela.



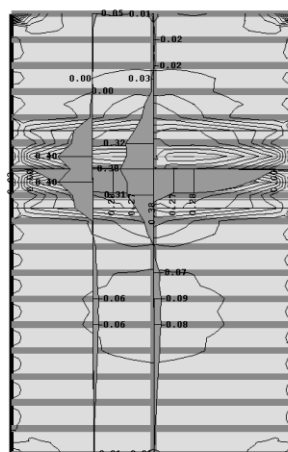
Slika 8: Uticaji u gredi:  $Y_p$  (mm) ( $Y_{max} = 3,24$  mm)



Slika 9 Uticaji u gredi: Momenti savijanja  $M_z$  (kNm)



Slika 10: Uticaji u ploči: Momenti  $M_x$  (kNm/m).



Slika 11: Uticaji u ploči: Momenti  $M_y$  (kNm/m)

## 7. ANALIZA REZULTATA

Analiza rezultata izvršena je poređenjem računskih i merenih veličina globalnih deformacija (ugiba) i poređenjem lokalnih deformacija (dilatacija – napona) sa dozvoljenim vrednostima za konkretan materijal (beton i armaturni čelik).

### Globalne deformacije – Ugibi

- Izmerene vrednosti maksimalnog ugiba pod probnim opterećenjem  $q_{max}=360$  daN/m<sup>2</sup>.  
 $y_{p,max}= 3,10$  mm

- Računske vrednosti maksimalnih ugiba usled sopstvene težine:

$$y_{g,max} = 4,07 \text{ mm}$$

- Odnos maksimalne deformacije u statičkog raspona:

$$\frac{y_{p,max} + y_{g,max}}{L} = \frac{3,10 + 4,07}{6500} = \frac{1}{906} < \frac{1}{300}$$

- Maksimalni računski ugib od probnog opterećenja  $q_{max}=360 \text{ daN/m}^2$ .

$$y_{p,rač} = 3,24 \text{ mm}$$

- Odnos računskog i merenog ugiba za probno opterećenje:

$$\frac{y_{p,rač}}{y_{p,mer}} = \frac{3,26}{3,10} = 1,05 > 1,0$$

- Zaostale vrednosti ugiba po rasterećenju:

$$y_{zaost} = 0,222 \text{ mm}$$

- Odnos zaostalog i maksimalnog ugiba:

$$\frac{y_{p,zaost}}{y_{p,max}} = \frac{0,222}{3,10} \cdot 100 = 7\% < 25\%$$

### Lokalne deformacije – Dilatacije (Naponi)

- Maksimalno merene dilatacije (naponi) u armaturi dobijene su u poprečnom nosaču (MT3), a približno iste i u podužnom nosaču - rebro (MT2):

$$\epsilon_{max} = +134 \cdot 10^{-6}; \sigma = \epsilon \cdot E = +281 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_{doz,č}$$

- Maksimalno merene dilatacije (naponi) u pritisnutom betonu (MT4):

$$\epsilon_{max} = -22 \cdot 10^{-6}; \sigma = \epsilon \cdot E = -7 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_{doz,B}$$

### 8. OCENA REZULTATA – ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih istražnih radova, kontrolnog statičkog proračuna i ispitivanja na uticaje od probnog statičkog i dinamičkog opterećenja međuspratne armiranobetonske sitno-rebraste konstrukcije objekta O.Š. "Josif Kostić" u Leskovcu iznose se sledeći zaključci:

1) Ispitivanjem na dejstvo probnog (zamenjujućeg) opterećenja maksimalne mase  $q_{max}=360 \text{ daN/m}^2$  izmeren je maksimalni ugib u sredini raspona od  $y_{p,max}=3,10 \text{ mm}$ . Zajedno sa računskim ugibom od sopstvene težine  $y_{g,max}=4,07 \text{ mm}$  to daje maksimalni ugib od  $y_{p,max} + y_{g,max}=7,17 \text{ mm}$ . S obzirom na statički raspon od  $L=650 \text{ cm}$ , dobijen je odnos  $y/L=1/906$ , što je daleko manje od dozvoljenih  $L/300$ .

2) Maksimalni računski ugib za naneto probno (zamenjujuće) opterećenje iznosi  $y_{p,rač}=3,24 \text{ mm}$ . Odnos računskog i merenog ugiba  $y_{p,rač}/y_{p,mer}=3,24/3,10=1,05 > 1,0$ , što znači da postoji potreban koeficijent sigurnosti pa i po ovom kriterijumu konstrukcija zadovoljava.

3) Maksimalni zaostali ugib  $y_{p,zaost}=0,222 \text{ mm}$ , a odnos  $y_{p,zaost}/y_{p,max}=(0,222/3,10) \cdot 100=7\% < 25\%$ , pa i po ovom kriterijumu za AB konstrukcije uslov je zadovoljen.

4) Merene dilatacije, odnosno naponi u zategnutoj armaturi i pritisnutoj zoni betona pokazuju vrednosti koje su manje od dozvoljenih, tako da i po ovom kriterijumu konstrukcija zadovoljava. Izmereni maksimalni napon od probnog opterećenja u zategnutoj armaturi je  $\sigma_{max}=+258 \text{ daN/cm}^2$ , a u pritisnutom betonu  $\sigma_{max}=-7 \text{ daN/cm}^2$ .

5) Vrednosti čvrstoće pri pritisku dobijene metodom sklerometrisanja pokazuju prosečnu marku betona od MB15 MPa. Ovo je nedovoljna marka za noseće konstrukcije i pokazuje slab kvalitet betona.

6) Uočena su delimična oštećenja betona njegovim odvajanjem i ogoljavanjem armature. Takođe, uočava se pojava segregacije zbog loše ugradnje u trenutku livenja betona.

7) Uprkos lošem kvalitetu betona, na osnovu merenih globalnih deformacija može se konstatovati zadovoljavajući kapacitet nosivosti konstrukcije.

8) Na pojedinim mestima došlo je do pojave prslina u ploči konstrukcije, ali one nisu konstruktivnog karaktera jer su raspoređene podužno, tako da ne predstavljaju opasnost po nosivost. Do pojave prslina tokom probnog opterećenja nije došlo.



9) Ogoljenost armature na glavnim nosačima (rebrima) je značajna, ali zbog zatvorenosti prostora i male agresivnosti sredine ne predstavlja veliku opasnost po upotrebljivost, odnosno trajnost konstrukcije. Projektom predviđenim spuštanjem plafonima rešice se vizuelni problem.

10) S obzirom na potrebu promene podne obloge u učionicama u kojima je u upotrebi predmetna međuspratna konstrukcija (prvi sprat), približne površine 700 m<sup>2</sup>, predlaže se njeno ojačanje radi povećanja krutosti i poboljšanja dinamičkih karakteristika. Ono bi bilo izvedeno sprežanjem sa novim slojem betonske ploče.

## 9. FOTO DOKUMENTACIJA



*Slika 1 – Priprema mernih mesta na međuspratnoj konstrukciji – donja strana*



*Slika 2 – Karakterističan izgled konstrukcije (rebra i ploča) i karakteristična oštećenja (segregacija betona i ogoljenost armature nosača-rebara zbog oštećenja betona)*



*Slika 3 – Položaj LVDT – ugibomera u L/2 (U1) i merne trake na armaturi (MT1)*



*Slika 4 – Položaj merne trake u pritisnutoj zoni betonske ploče (MT 4)*

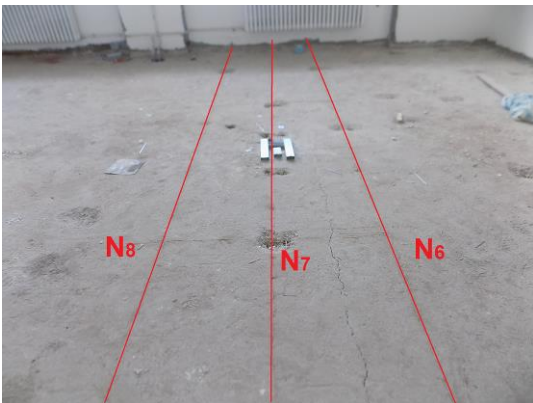


*Slika 5 – Ugibomer sat sa žicom (U3)*





Slika 6 – Merna stanica (akvizicijski sistem SPIDER 8 povezan na PC)



Slika 7 – Položaj izabranog polja za probno opterećenje prilikom ispitivanja međuspratne konstrukcije (ploče) iznad nosača N6, N7 i N8



Slika 8 – Deveti korak nanošenja probnog opterećenja ( $P_9=360 \text{ daN/m}^2$ )

## LITERATURA

- [1] SRPS U.M1.047, 1984: *Ispitivanje objekata visokogradnje probnim opterećenjem*.
- [2] Ekspertiza stanja međuspratne konstrukcije objekta škole "Josif Kostić" u Leskovcu. GAF Niš.
- [3] Radojković M.: *Ispitivanje konstrukcija*, Građevinski fakultet, Beograd, 1979.