

primljen: 12.01.2023.
korigovan: 31.01.2023.
prihvaćen: 01.03.2023.

pregledni rad

UDK : 624.012.45.042.8

DIJAGNOSTIKA STANJA AB SITNOREBRASTE MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE - STUDIJA SLUČAJA

DEO 2 – DINAMIČKE ANALIZE

Slobodan Ranković¹, Žarko Petrović², Radovan Cvetković³, Todor Vacev⁴

Rezime: U radu je prikazana dijagnostika dinamičkih karakteristika armiranobetonske sitnorebraste međuspratne konstrukcije višedecenijske starosti, na primeru konstrukcije osnovne škole "Josif Kostić" u Leskovcu. Izvršena je analiza odgovora konstrukcije izložene dejstvu dinamičkog probnog opterećenja. Na osnovu snimljenih signala odziva konstrukcije u pogledu dinamičkog ugiba i dilatacija u armaturi i betonu određeni su dinamički parametri (frekvencija i prigušenje) i izvršena njihova analiza. Rezultati dinamičke analize iskorišćeni su za ocenu stanja konstrukcije i predlog mera konstruktivne i reparaturne sanacije. Dati su zaključci o trenutnom stanju konstrukcije, na osnovu kojih je moguće definisati adekvatne mere sanacije i ojačanja.

Ključne reči: dijagnostika, ispitivanje, armiranobetonska konstrukcija, međuspratna sitnorebrasta konstrukcija, dinamičko probno opterećenje

DIAGNOSTICS OF RC RIBED FLOOR STRUCTURES - CASE STUDY

PART 2 – DYNAMIC ANALYSIS

Abstract: The paper presents diagnostics of the dynamic condition of a reinforced concrete ribbed floor which is several decades old, taking as an example elementary school building "Josif Kostić" in Leskovac. The analysis of the response of the structure exposed to the dynamic test load was carried out. Based on the recorded signals of the structure's response in terms of dynamic deflection and strain in the reinforcement and concrete, the dynamic parameters (frequency and damping) were determined and their analysis was presented. The results of the dynamic analysis were used to assess the condition of the structure and propose constructive and reparative rehabilitation. Conclusions are given on the current state of the structure, on the basis of which it is possible to define adequate rehabilitation and strengthening measures.

Key words: Diagnostics, Testing, Concrete Structure, Reinforced Concrete Ribbed Floor, Dynamic Test Load

¹ dr, docent, građevinsko-arhitektonski fakultet Niš, rankovics@gmail.com

² dr, van. prof, građevinsko-arhitektonski fakultet Niš, zarko.petrovic@gaf.ni.ac.rs

³ dr, docent, građevinsko-arhitektonski fakultet Niš, radovan.cvetkovic@gaf.ni.ac.rs

⁴ dr, red. prof, građevinsko-arhitektonski fakultet Niš, todor.vacev@gaf.ni.ac.rs

1 UVOD

Na objektu osnovne škole "Josif Kostić" u Leskovcu vršeni su radovi na adaptaciji i sanaciji uz poboljšanje energetske efikasnosti. Tokom radova na izmeni podne podloge i plafona primećena su oštećenja na elementima međuspratne konstrukcije i pojava pojačanih vibracija. Međuspratna konstrukcija je armiranobetonska sitnorebrasta, ukupne površine približno 700 m². Škola je spratnosti P+1 i prema dostupnim saznanjima izgrađena pedesetih godina prošlog veka. Nema podataka o eventualnim konstruktivnim intervencijama tokom eksploatacionog perioda.

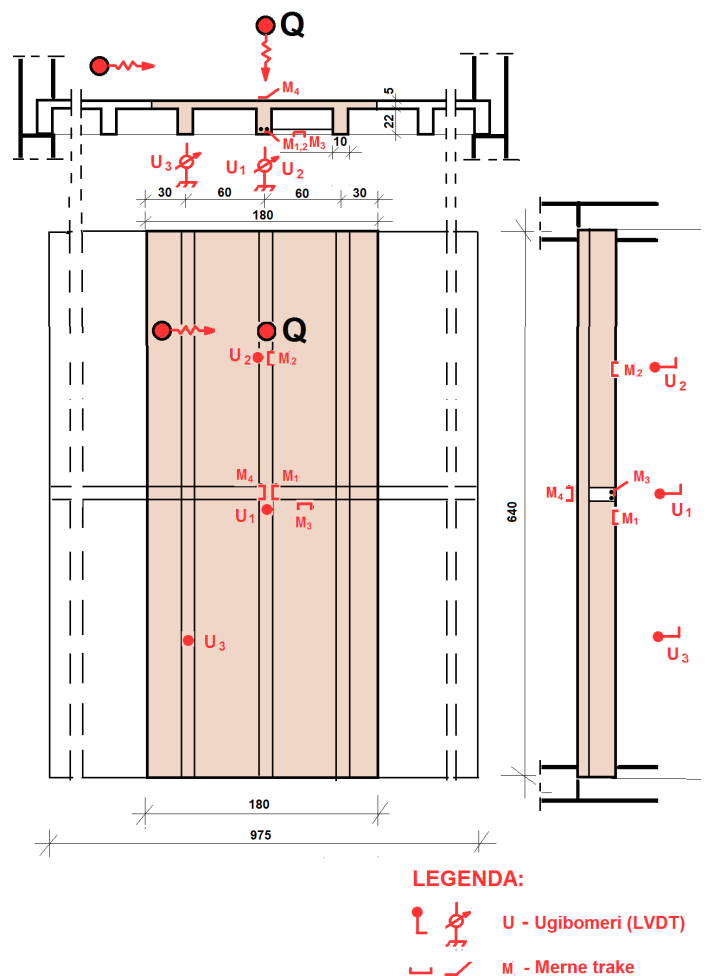
Radi dijagnostikovanja stanja međuspratne konstrukcije, odnosno utvrđivanja njenih statičkih i dinamičkih karakteristika izvršeno je ispitivanje na uticaj probnog opterećenja u skladu sa važećim standardom SRPS U.M1.047. [1]. Detaljan prikaz rezultata ispitivanja na uticaj statičkog i dinamičkog probnog opterećenja dat je u [2]. Statičke analize prikazane su u [3]. Snimanje i obrada dobijenih podataka dinamičkog odziva konstrukcije vršeno je primenom savremene merne opreme (SPIDER 8) i odgovarajućih softverskih paketa (CATMAN). Analiza dinamičkih karakteristika konstrukcije izvršena je na osnovu dobijenih zapisa rezultata merenja globalnih i lokalnih deformacija u funkciji vremena. Određeni su dinamički parametri i urađene 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 [2] 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, nakon čega su se dinamičke karakteristike dodatno pogoršale zbog promena u masi i krutosti konstrukcije koje direktno utiču na promenu sopstvene frekvencije.



Slika 1 - Osnova i presek sitnorebraste međuspratne konstrukcije pod probnim dinamičkim opterećenjem i raspored instrumenata

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 sagledavanja dinamičkih karakteristika konstrukcije, izazvana je dinamička pobuda kretanjem jedne osobe po podu (ploči) međuspratne konstrukciji i dejstvom udarnog opterećenja koje je simulirano skokom više osoba (tri čoveka) u polovini raspona konstrukcije.

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 (foto 1). Uočeno je i vibriranje međuspratne konstrukcije pri kretanju, 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) [3] i dinamičkog opterećenja, a u ovom radu dat je prikaz dinamičkih uticaja.

3.4 KORIŠĆENA OPREMA

Oprema koja je korišćena prilagođena je praćenju globalnih (opštih) i lokalnih deformacija i naprezanja u karakterističnim presecima u kojima se očekuju maksimalni uticaji. Raspored instrumenata, položaj opterećenja i geometrijske karakteristike dati su na slici 1.

Globalne deformacije (ugibi), praćene su elektronskim meračima pomeranja (LVDT-merač puta) W50 sa hodom od ± 50 mm (foto 2). Dilatacije u armaturi i betonu prećene su elektrooptpornim tenzometrima (mernim trakama) firme Hottinger LY 41 sa podatkom 1×10^{-6} i bazom od 6 mm (foto 2) odnosno sa bazom od 50 mm na betonskoj ploči u zoni pritiska. Davači su vezani za mernu stanicu primenom višekanalnih merno-akvizicijskih sistema SPIDER8 proizvodnje HBM (Hottinger Baldwin

Mestehnik) i povezani sa personalnim računarom (foto 3). Obrada podataka izvršena je originalnim HBM softverskim paketom CATMAN.

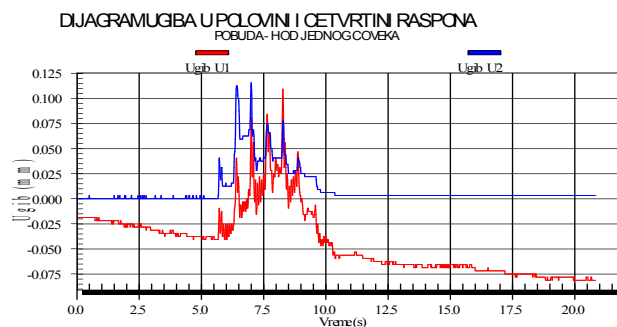
3.5 FAZE DINAMIČKOG OPTEREĆENJA

Za analizu dinamičkih karakteristika međuspratne konstrukcije iskorišćene su dve konstalacije opterećenja (dinamičke pobude): 1) Kretanje (hod) jedne osobe po površini ploče i 2) Udar (skok) tri osobe po površini ploče u polovini raspona.

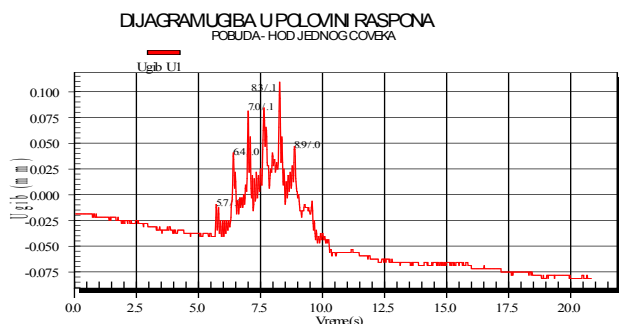
4 REZULTATI DINAMIČKIH ISPITIVANJA

Dinamičke karakteristike međuspratne konstrukcije određene su putem mernih senzora postavljenih u preseccima na polovini i četvrtini raspona. Na osnovu vertikalnih pomeranja (oscilacija) dinamičkom FFT (*Fast Fourier Transformation*) analizom vibracija određeni su svojstveni oblici, tj. sopstvena frekvencija oscilovanja za prvih nekoliko tonova i prigušenje. Kao pobuđujuće opterećenje korišćeno je kretanje ljudi i skok na sredini raspona ploče. U nastavku su dati karakteristični dijagrami zapisa snimljenih vibracija i analiza signala.

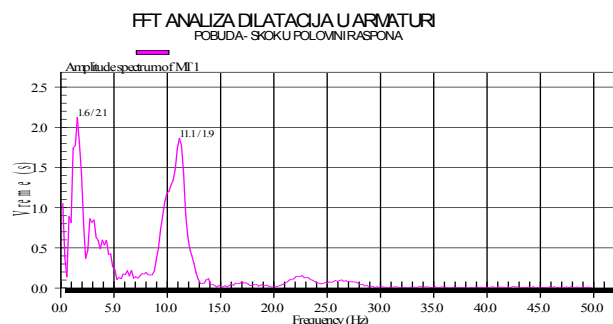
4.1 DIJAGRAMI DINAMIČKOG ODGOVORA KONSTRUKCIJE PRI PRELAZU (HODU)



Slika 2 - Dijagram ugiba u polovini i četvrtini raspona izazvan prelazom (hodom) jednog čoveka.



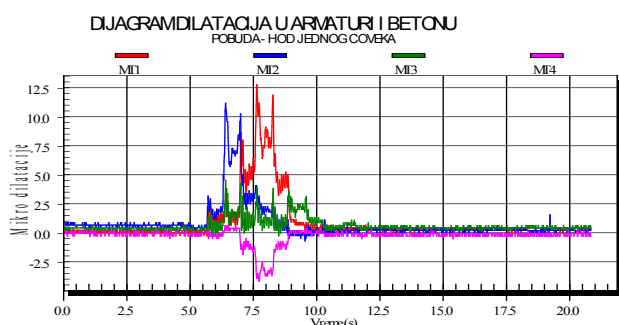
Slika 3 - Dijagram ugiba u polovini raspona izazvan prelazom (hodom) jednog čoveka.



Slika 6 - FFT analiza signala iz dilatacija.

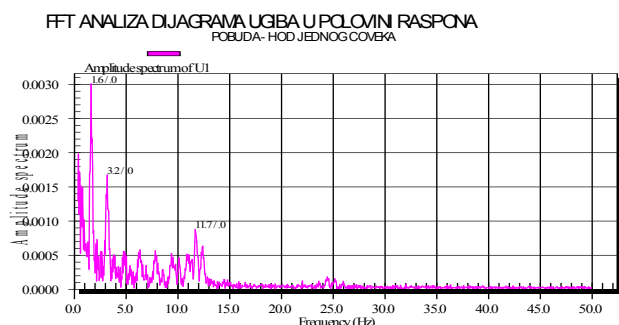
- Karakteristične frekvencije oscilovanja iz dijagrama dilatacija u armaturi – MT1

$$f=1.6 \text{ Hz i } f=11,1 \text{ Hz}$$



Slika 4 - Dijagram dilatacija u armaturi i betonu izazvan prelazom (hodom) jednog čoveka.

4.2 ANALIZA REZULTATA DINAMIČKOG ODGOVORA KONSTRUKCIJE PRI PRELAZU (HODU)

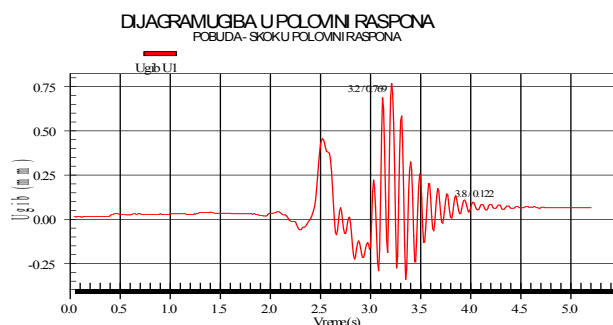


Slika 5 - FFT analiza signala iz ugiba.

- Karakteristične frekvencije oscilovanja iz dijagrama ugiba u polovini raspona – U1

$$f=1.6 \text{ Hz ; } f=3.2 \text{ Hz i } f=11,7 \text{ Hz}$$

4.3 DIJAGRAMI DINAMIČKOG ODGOVORA KONSTRUKCIJE PRI DEJSTVU UDARA (SKOK 3 OSOBE U POLOVINI RASPONA)



Slika 7 - Dijagram ugiba u polovini raspona izazvan udarnim dejstvom (skok).

- Prigušenje konstrukcije iz ugiba u polovini raspona – U1

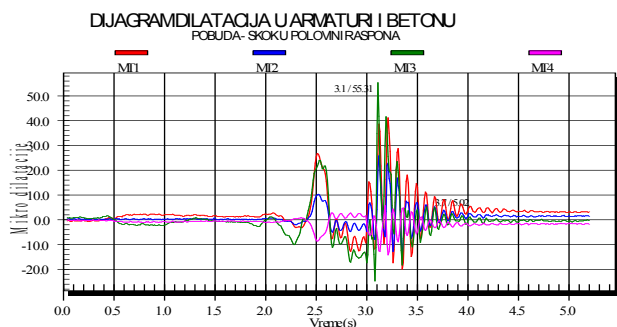
$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_0}{A_n} = \frac{1}{7} \cdot \ln \frac{0,769}{0,122} = 0,263$$



Slika 8 - Dijagram ugiba u četvrtini raspona izazvan udarnim dejstvom (skok).

- Prigušenje konstrukcije iz ugiba u četvrtini raspona – U2

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_0}{A_n} = \frac{1}{7} \cdot \ln \frac{0,559}{0,078} = 0,281$$

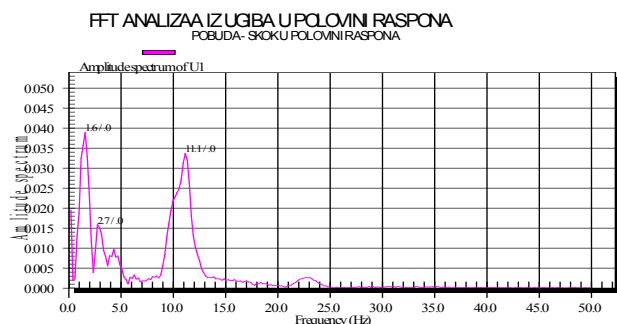


Slika 9 - Dijagram dilatacija u armaturi i betonu izazvan udarom (skok).

- Prigušenje konstrukcije iz dilatacija u armaturi – MT3

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{A_0}{A_n} = \frac{1}{7} \cdot \ln \frac{55,31}{5,02} = 0,343$$

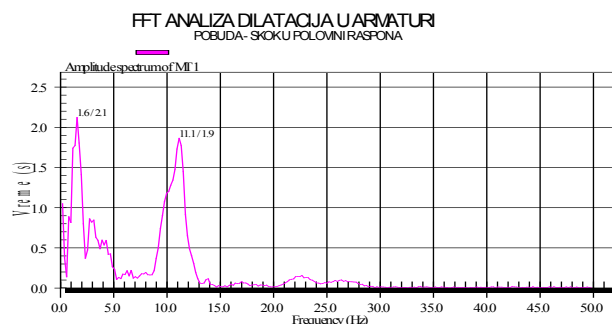
4.4 ANALIZA REZULTATA DINAMIČKOG ODGOVORA KONSTRUKCIJE PRI UDARNOM DEJSTVU (SKOK)



Slika 10 - FFT analiza signala iz ugiba.

- Karakteristične frekvencije oscilovanja iz dijagrama ugiba u polovini raspona – U1

$$f=1,6 \text{ Hz i } f=11,1 \text{ Hz}$$



Slika 11 - FFT analiza signala iz dilatacija.

- Karakteristične frekvencije oscilovanja iz dijagrama dilatacija u armaturi – MT1

$$f=1,6 \text{ Hz i } f=11,1 \text{ Hz}$$

5 OCENA REZULTATA – ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih istražnih radova, i ispitivanja na uticaje od probnog dinamičkog opterećenja međuspratne armiranobetonske sitnorebraste konstrukcije objekta O.Š. "Josif Kostić" u Leskovcu zaključuje se:

1) Uočena su delimična oštećenja betona njegovim odvajanjem i ogoljavanjem armature. Takođe, uočava se pojava segregacije zbog loše ugradnje u trenutku livenja betona. Ovo za posledicu ima smanjenje mase i naročito krutosti konstrukcije, što direktno utiče na njene dinamičke karakteristike, a naročito vrednost sopstvene frekvencije.

2) 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 novih prslina tokom probnog opterećenja nije došlo.

3) Izmereni dinamički parametri (sopstvena frekvencija i prigušenje) dobijani kretanjem ljudi (hod i skok) po konstrukciji pokazuju potrebu za konstruktivnim ojačanjem i to promenom krutosti konstrukcije. Merena frekvencija iznosi $f=11,1 \text{ Hz}$, a logaritamski dekrement $\delta=0,263 \div 0,343$.

4) S obzirom na potrebu promene podne obloge u učionicama u kojima je u upotrebi predmetna međuspratna konstrukcija (prvi sprat), približne površine 700 m², predloženo je njeno konstruktivno ojačanje radi povećanja krutosti i poboljšanja dinamičkih karakteristika, što bi bilo izvedeno sprežanjem sa novim slojem betonske ploče, uz reparaturnu sanaciju armature i oštećenog betona sa donje strane. U tom cilju investitoru je dat predlog mera mera sanacije, što nije predmet ovog rada.

6 FOTO DOKUMENTACIJA



Foto 1 – Karakterističan izgled konstrukcije (rebra i ploča) i karakteristična oštećenja (segregacija betona i ogoljenost armature nosača-rebara zbog oštećenja betona). Raspored mernih instrumenata u polovinio raspona (LVDT i merne trake).



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



Foto 3 – Merna stanica (akvizicijski sistem SPIDER 8 povezan na PC)

LITERATURA

- [1] SRPS U.M1.047, 1984: **Ispitivanje objekata visokogradnje probnim opterećenjem.**
- [2] **Ekspertiza stanja međuspratne konstrukcije objekta škole "Josif Kostić" u Leskovcu.** Centar za građevinarstvo i arhitekturu GAF Niš.
- [3] Ranković S., Petrović Ž., Cvetković R., Vacev T.: **Dijagnostika stanja AB sitnorebraste međuspratne konstrukcije – Studija slučaja (Deo 1 – statičke analize).** Nauka+praksa 20/2017 (str. 66-74).
- [4] Radojković M.: **Ispitivanje konstrukcija,** Građevinski fakultet, Beograd, 1979.