

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА ДИНАМИЧКИХ УТИЦАЈА СПРЕГНУТЕ КОНСТРУКЦИЈЕ У ФАБРИЦИ “БАНИНИ А.Д.” У КИКИНДИ

Љубомир М. Влајић<sup>1</sup>

Илија М. Миличић<sup>2</sup>

Александар Д. Прокић<sup>3</sup>

УДК: 692.5:519.6

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.013

**Резиме:** У овом раду испитивано је понашање спрегнуте међуспратне конструкције сагласно принципима и специфичним захтевима датих у већем броју домаћих прописа и стандарда из области испитивања конструкција. Експерименталном анализом понашања међуспратне спрегнуте конструкције у фабрици “Банини а.д.” у Кикинди разматра се карактер, спроводи процена и одређује интензитет манипулативног оптерећења. На основу тако утврђеног оптерећења спроведена је провера стварног понашања међуспратне конструкције са гледишта динамичког одговора. Динамички одговор спрегнуте међуспратне конструкције “челик – бетон” обухвата утврђивање амплитуда померања и сопствених учестаности за осциловање само у вертикалном правцу као и одређивање стварних вредности динамичког коефицијента.

**Кључне речи:** Испитивање, међуспратна спрегнута конструкција, осцилације, динамички коефицијент

### 1. КРАТАК ОПИС КОНСТРУКЦИЈЕ ОБЈЕКТА

Међуспратна таваница је израђена од система спрегнутих носача, формираних од профила INP 400, и полу – монтажних плоча "ОМНИА" висине 15cm различитих типова. Главним пројектом [1] је предвиђено да се спрезање изврши за укупно стално и повремено оптерећење. Статички систем спрегнутих носача и подвлака је проста греда, а спрезање је извршено челичним можданицима уз предходно подупирање у половини распона носача. Спрегнута таваница је рачуната као носачи "Т" пресека са активном или садејствујућом ширином АБ плоче, као нпр.:

- Pos SN 1: ( L=8.50m, b=2.20m, тежиште идеалног пресека је у плочи)
- Pos SN 3: ( L=9.00m, b=2.00m, тежиште идеалног пресека је у плочи)
- Pos SN 2: ( L=10.0m, b=2.34m, тежиште идеалног пресека је у плочи)

<sup>1</sup> Проф. др Љубомир М. Влајић, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, 24000 Суботица, Србија (у пензији)

<sup>2</sup> Проф. др Илија М. Миличић, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, 24000 Суботица, Србија, е – mail: [milicic@gf.uns.ac.rs](mailto:milicic@gf.uns.ac.rs)

<sup>3</sup> Проф. др Александар Д. Прокић, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, 24000 Суботица, Србија, е-mail: [aprokic@eunet.rs](mailto:aprokic@eunet.rs)

АБ плоча је полу – монтажна, састављена од префабрикованих плоча типа "ОМНИА", и израђена од бетона МБ 30.

Рачунско статичко оптерећење за спрегнути носач је:

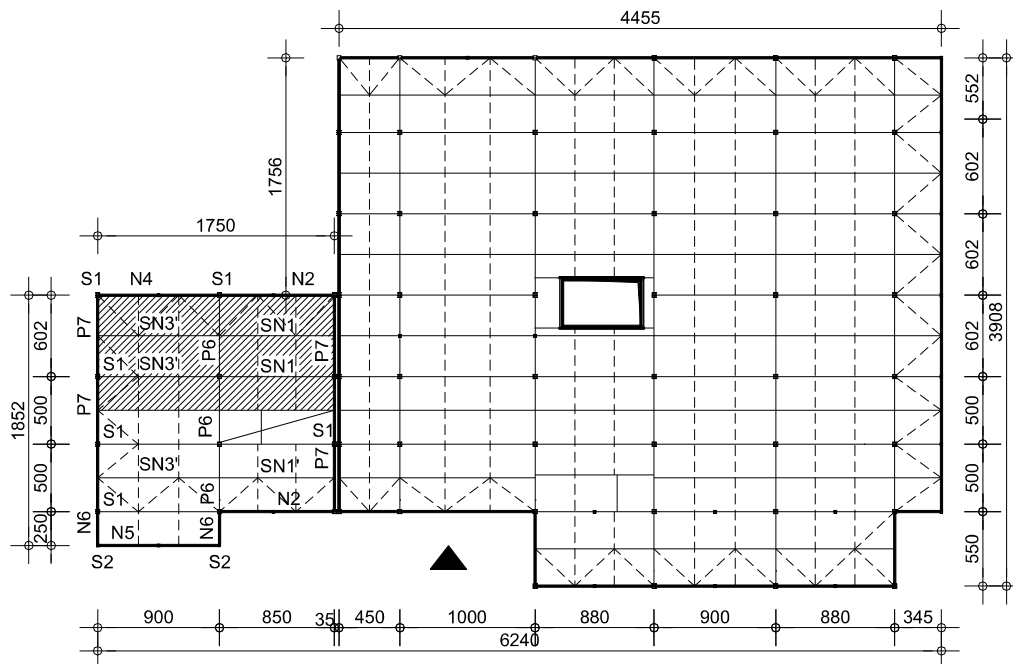
$$q_I + q_{II} = 3.95 + 10.50 = 14.50 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (1)$$

dok је АВ плоча dimensionisana за гранична opterećenja:

$$q_u = 1.6 \cdot 4.65 = 7.44 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (2)$$

$$p_u = 1.8 \cdot 9.00 = 16.20 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (3)$$

Подвлаке су конструктивни елементи које на срединама распона примају реакције спрегнутих носача. Оне међусобно повезују суседне стубове и налазе се у вертикалној равни као и одговарајући решеткасти кровни носачи. Подвлаке су рачунате као спрегнути носачи "челик – бетон" Т – пресека, статичког система просте греде. Челични пресек је INP 400, ојачан је са доње стране ножице заваривањем подвезицама. У равни међуспратне конструкције налази се монтажни спрег постављен у циљу одржавања пројектоване геометрије међуспратне конструкције и бочне стабилности носача. Предвиђени монтажни спрегови и затеге дати су и у диспозицији (сл. 1). Дијагонале спрегова и затеге урађене су од профила NP L 45/45/4 или НОР L 50/50/5. Овај кратак опис конструкције објекта дат је само у обиму неопходном да се сагледа функција објекта, задатак, сврха и циљ испитивања под утицајем динамичког пробног оптерећења.



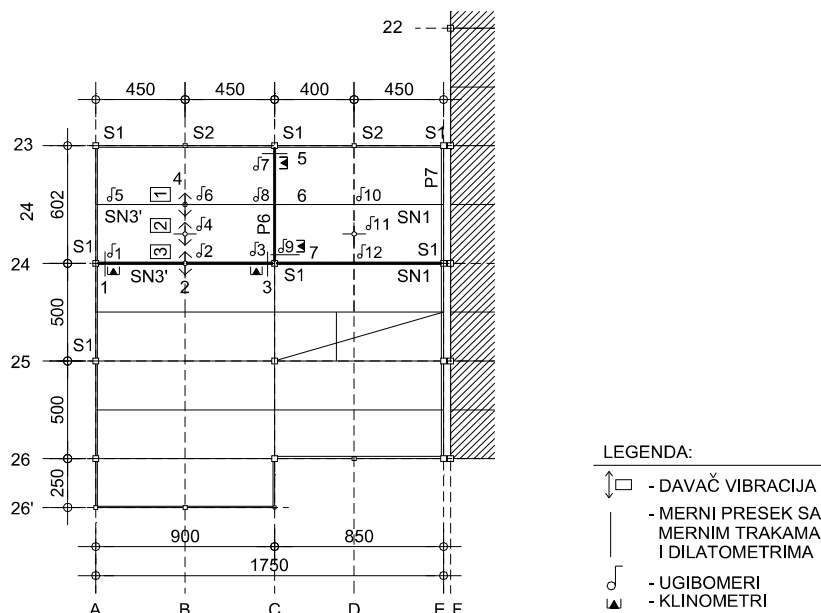
Слика 1 – Основа међуспратне конструкције регалног складишта

## 2. ПРЕДВИЂЕНА ТЕХНОЛОГИЈА СКЛАДИШТЕЊА ПРОИЗВОДА

За одлагања готових производа на палетама тежине 650kg, предвиђено је регално складиште у два нивоа, при чему се транспорт – манипулисање по међуспратној спрегнутој конструкцији одвија моторним виљушкарком тежине  $G=800\text{kg}$ . Према томе, неопходно је размотрити редослед – фазе и режим пуњења и пражњења складишног простора – регала, с обзиром на величине оптерећења која ће бити на међуспратној конструкцији као и транспортног средства – виљушкара. Том приликом ауторима Програма испитивања није достављена усвојена варијанта опреме нити диспозиција положаја регала као ни коридори за кретање виљушкара. Тада је Инвеститору предложено да се конструкција испита за статичко пробно оптерећење од  $10\text{kN/m}^2$ , а да се по коначном усвајању типа регала, распореда опреме и средства за транспорт **Извештајем** доставе децидни **Закључци** за безбедно коришћење таванице у експлоатацији.

## 3. ИСПИТИВАЊЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ПОД УТИЦАЈЕМ ДИНАМИЧКОГ ПРОБНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА

У овом раду спроведено испитивање [2] спада у краткотрајно, контролно испитивање, на лицу места. Испитивање је извршено октобра 2004 године, од стране стручног тима под руководством проф. др Љубомира М. Влајића. Основни циљ испитивања односи се на прописивање носивости и употребљивости спрегнуте међуспратне таванице за предвиђено новопројектовано динамичко оптерећење које може да изазове кретање виљушкара.



Слика 2 – Диспозиција мерних места и мерних пресека

У том смислу, неопходно је на лицу места за изведено стање конструкције, под дејством пробног оптерећења мерењима снимити прираст напона ( $\Delta\sigma$ ), деформација, угиба у карактеристичним мерним тачкама и пресецима спрегнутог носача. Потом, извршено је регистровање осцилација, амплитуде осциловања и сопствене учестаности међусpratне конструкције (сл. 2).

Под утицајем динамичког пробног оптерећења извршено је регистровање осцилација угиба у средини распона спрегнутог носача SN3', и АБ плоче. У том смислу одређене су амплитуде осциловања и сопствене учестаности конструкције које се појављују у складишном простору при манипулацији са палетама производа. Испитивање са накнадном анализом пружа увид у динамичке карактеристике система. Међутим, да би се на технички исправан начин испунио основни задатак и циљ испитивања неопходно је квалитетно и правилно регистровати, а потом и анализирати резултате мерења. На основу њих, потребно је израдити одговарајућу "Теоријско – експерименталну студију" и донети децидне **Закључке** о безбедном коришћењу објекта у фази експлоатације. У том смислу, да би се прикупиле базне подлоге, и стекао увид у понашање конструкције, неопходно је да се на лицу места "ин ситу", под утицајем пробног оптерећења прво статичког, а потом динамичког непосредним мерењима снимити стање напона и деформација у карактеристичним мерним местима и пресецима спрегнутог носача. Само после утврђеног реалног статичког система, који се ипак потпуно може дефинисати искључиво на основу непосредног испитивања вредности деформацијских величина, како би се стекао увид дали се конструкција понаша по замисли Пројектанта. Или другачије, динамички одзив мора да кореспондира са статичким понашањем. У фази припреме Програма испитивања симулирано је неколико варијанти могућег статичког система па је планирано да се динамичко испитивање спроведе на почетку испитивања, тј. на неоптерећеној међусpratној таваници. Мерења се састоји од регистровања амплитуда вибрација, односно њених сопствених учестаности, у средини распона спрегнутог носача SN3' и АБ плоче, у пресецима ММ1, ММ2 и ММ3, представљених у диспозицији мерних места. У овом раду, обрађује се само мерни пресек ММ1, при проласку виљушкар (сл. 3), оптерећен палетом тежине 10 kN/m<sup>2</sup>.



Слика 3 – Покретно оптерећење – виљушкар



Слика 4 – Мерна опрема

Инструменти, кориштени при овом испитивању су нискофреквентни мерачи убрзања, брзине и померања фирме Hottinger, B25, SMHV (14 Hz), и SMU 30A са аутоматским регистровањем података (сл. 4).

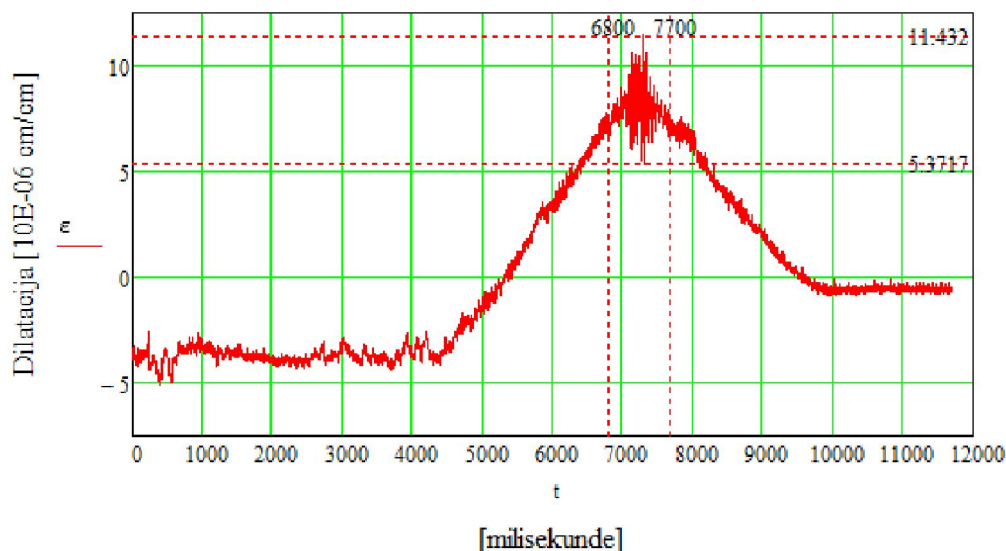
#### 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

Резултати динамичког испитивања садрже графичке приказе промена вертикалних померања и дилатација у пресеку ММ1 у јединици времена. Пошто спрегнути носач – конструкција, осцилује услед пролаза покретног оптерећења тада постоји принудна учестаност коју намеће побуда. Тако се јавља симултано и учестаност побуде која је у функцији промене положаја оптерећења и слободна учестаност која зависи само од карактеристика спрегнутог носача. На сл. 5, приказана је мерена промена дилатација, а на сл. 7 вертикална померања – угиба, спрегнутог носача SN3' под условима да нема амортизације осцилација.

Са дијаграма регистрованих величина датих на сл. 5 и сл. 7, одређују се динамичке карактеристике спрегнутог носача на два начина:

- анализом дилатација,
- анализом вертикалних померања.

##### 4.1. АНАЛИЗА НА ОСНОВУ РЕГИСТРОВаниХ ДИЛАТАЦИЈА



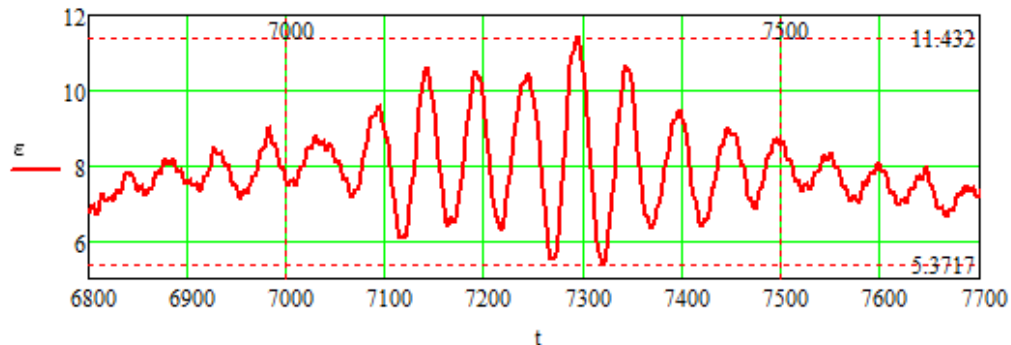
Слика 5 – Регистрована промена дилатација на мерном месту ММ1

Према сл. 5, јавља се смањење (амортизација) осцилација, и на основу тога одређује се коефицијент амортизације према изразу (4):

$$K_d = \frac{1}{T_d} \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} \quad (4)$$

где је:

- $K_d$  – коефицијент амортизације на основу мерених дилатација
- $T_d$  – период осциловања
- $A_n, A_{n+1}$  – две узастопне амплитуде осциловања



Слика 6 – Увећани део дијаграма са слике 5.

Логаритамски декремент је:

$$\lambda_d = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \ln e^{\delta_d \cdot T_d} = \delta_d \cdot T_d \quad (5)$$

односно, коефицијент релаксације представљен је реципрочном вредности коефицијента амортизације:

$$\delta_d = \frac{1}{K_d} \quad (6)$$

Табела 1. Резултати анализе на основу регистрованих дилатација

Број амплитуде дилатација	$T_d$	$K_d$	Логаритамски декремент	Коефицијент релаксација
	(s)	(-)	(-)	(-)
0	0.050	6.062	0.303	0.165
1	0.054	13.339	0.720	0.075
2	0.049	12.252	0.600	0.082
3	0.048	13.355	0.641	0.075

Диманички коефицијент спрегнутог носача је:

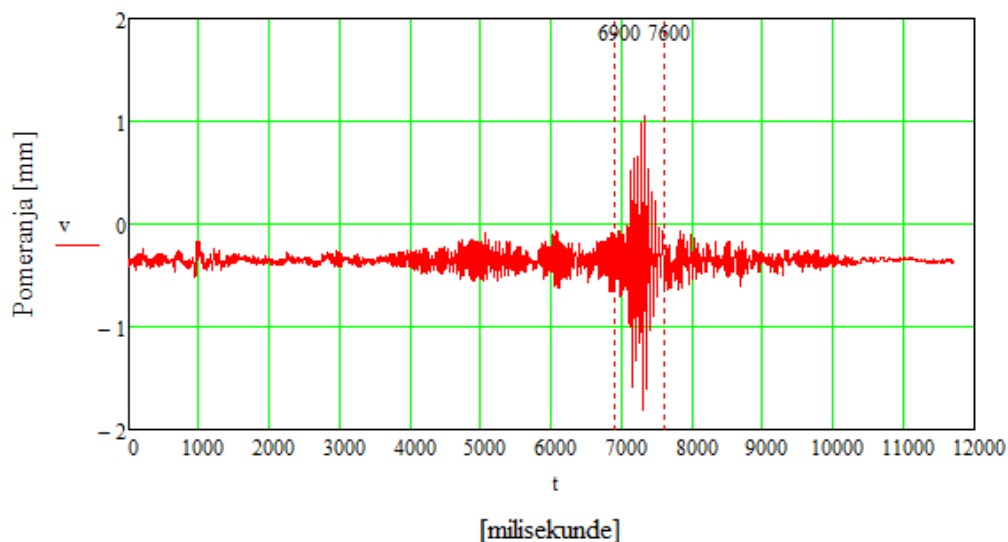
$$\varphi_{d,d} = \frac{\varepsilon_{din}}{\varepsilon_{st}} = \frac{11.432}{8.402} = 1.36 \quad (7)$$

Исто тако, сопствена учестаност осцилација у вертикалној равни износи:

$$f_d = \frac{1}{T_d} = \frac{1}{50 \cdot \frac{10}{1000}} = 2.0 \text{ Hz} \quad (8)$$

**Напомена:** При обради свих података коришћен је софтверски пакет MathCAD 15.

## 4.2. АНАЛИЗА НА ОСНОВУ РЕГИСТРОВАНИХ ВЕРТИКАЛНИХ ПОМЕРАЊА – УГИБА



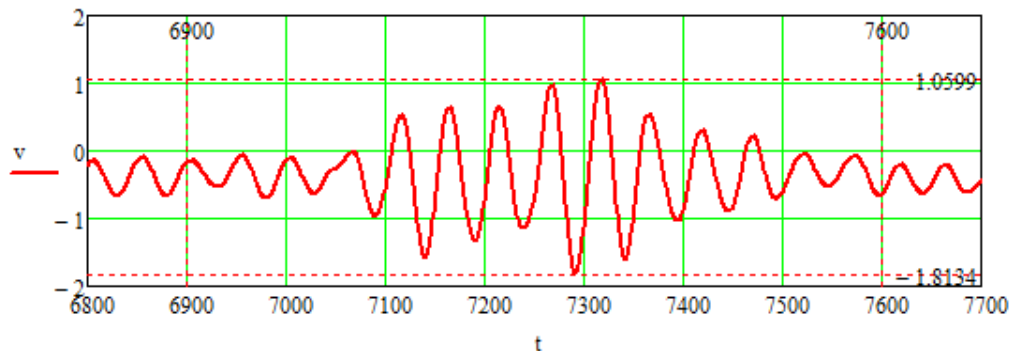
Слика 7 – Регистрована промена померања на мерном месту ММ1 уређајем В25

Аналогно предходном разматрању, постоји смањење амплитуда померања па се коефицијент амортизације срачунава према изразу (9):

$$K_p = \frac{1}{T_p} \ln \frac{R_n}{R_{n+1}} \quad (9)$$

где је:

- $K_p$  – коефицијент амортизације на основу мерених померања,
- $T_p$  – период осциловања,
- $R_n, R_{n+1}$  – две узастопне амплитуде осциловања.



Слика 8 – Увећани део дијаграма са слике 7.

Логаритамски декремент је:

$$\lambda_p = \ln \frac{R_n}{R_{n+1}} = \ln e^{\delta_p \cdot T_p} = \delta_p \cdot T_p \quad (10)$$

односно, коефицијент релаксације представљен је реципрочном вредности коефицијента амортизације:

$$\delta_p = \frac{1}{K_p} \quad (11)$$

Табела 2 – Резултати анализе на основу регистрованих померања – угиба

Број амплитуде померања	$T_p$	$K_p$	Логаритамски декремент	Коефицијент релаксација
	(s)	(-)	(-)	(-)
0	0.048	9.383	0.450	0.107
1	0.053	5.439	0.288	0.184
2	0.051	2.588	0.132	0.386
3	0.053	10.882	0.577	0.092
4	0.050	2.435	0.122	0.411

При томе је диманички коефицијент спрегнутог носача:

$$\varphi_{d,p} = \frac{v_{st} + R_{n,din}^{max}}{v_{st}} = \frac{52 + 1.437}{52} = 1.03 \quad (12)$$

где је:

- $v_{st}=52$  mm – податак мерења услед статичког дејства из [3].
- $R_{n,din}^{max}$  – максимална амплитуда померања услед пролаза виљушकारа

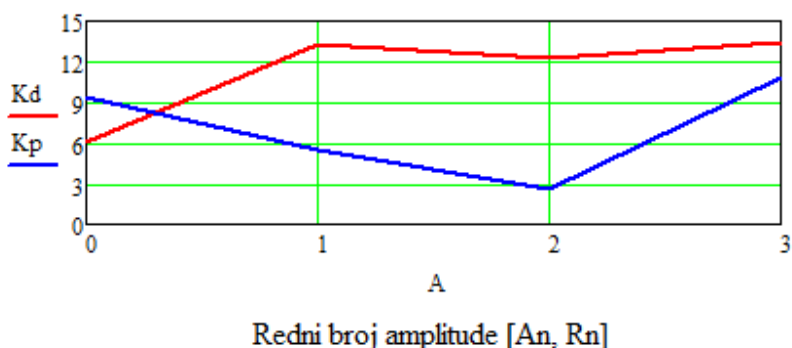
односно, сопствена учестаност осцилација померања у вертикалној равни:

$$f_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{51 \cdot \frac{10}{1000}} = 1.961 \approx 2.0 \text{ Hz} \quad (13)$$

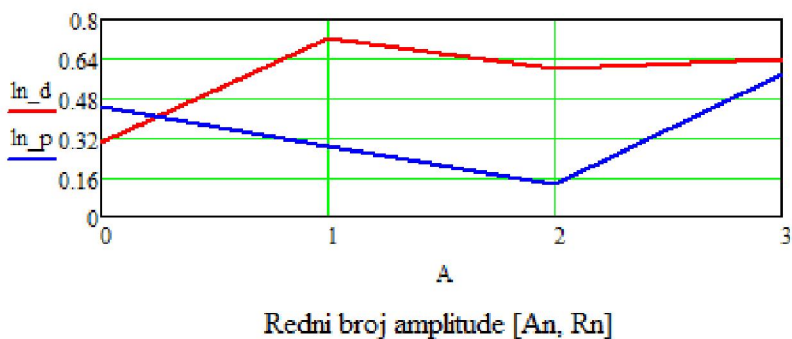
На сл. 9, сл. 10 стављене су у однос прве четири амплитуде по обадве анализе са вредностима коефицијената амортизације и логаритамског декремента. Логаритамским декрементом карактерише се постепено престајање осциловања спрегнутог носача. На тај начин време за које се амплитуда смањи (e) пута назива се време релаксације. Број тих осцилација за време релаксације показује да је логаритамски декремент једнак реципрочной вредности броја осцилација утврђених за време релаксације. На сл. 11, приказана је релаксација амплитуда осциловања спрегнутог носача у вертикалној равни, где се констатује да је успешнија спроведена анализа за случај анализе регистрованих дилатација.

Према томе, третирана међуспратна таваница има способност да у великој мери амортизује додатне новонастале утицаје услед дејства динамичке побуде при чему се разматране динамичке карактеристике испољавају значајно када је она неоптерећена, јер се тада успоставља интегрални осцилујући систем „објекат – оптерећење“.

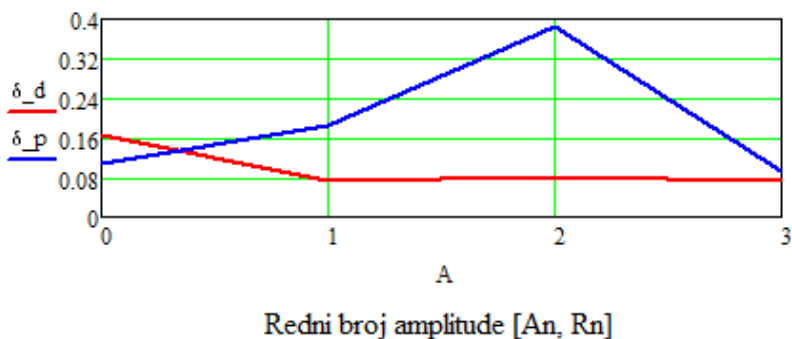




Слика 9 – Промена коефицијента амортизације осцилација добијених анализом амплитуда осциловања (дилатација–  $K_d$  и померања –  $K_p$ )



Слика 10 – Промена логаритамског декремента добијених анализом амплитуда осциловања (дилатација–  $\ln_d$  и померања–  $\ln_p$ )



Слика 11 – Промена коефицијента релаксације осцилација добијених анализом амплитуда осциловања (дилатација–  $\delta_d$  и померања–  $\delta_p$ )

## 5. ЗАКЉУЧАК

На основу приказане експерименталне анализе спрегнуте међуспратне таванице у овом раду, дата су одређена запажања и закључци:

- сопствена учестаност осцилација за осциловање у вертикалној равни спрегнутог носача међуспратне конструкције је  $f = 2.0$  Hz,
- максимална вредност динамичког коефицијента је у пресеку 1, на средини носача SN3' износи  $\max \varphi_{\text{mer}} = 1.36$ ,
- овде се посебно наглашава да је та вредност установљена када је конструкција потпуно неоптерећена и да при оптерећивању конструкције она рапидно опада,
- манипулација корисним оптерећењем могућа је виљушкарком чија тежина не прелази вредност  $P = 20$  KN.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пројектно – техничка документација (архитектонско – грађевински део) бр. тех. дн.: 1/2004, Биро за конструкције "Конструктор" из Ужица, **2004**.
- [2] Елаборат о испитивању спрегнуте међуспратне конструкције у дограђеном складишту фабрике колача "Банини" у Кикинди под утицајем статичког и динамичког пробног оптерећења, ТМТК – 002/04, Суботица, **2004**.
- [3] И.М. Миличић, Љ.М. Влајић: Експериментално – теоријска анализа спрегнуте таванице регалног складишта при статичком дејству у фабрици "Банини А.Д." у Кикинди, 12. Конгрес ЈДГК, Књига II, Врњачка Бања, стр. 25 – 40, **2006**.
- [4] Влајић, М.Љ, Прокић, А., Миличић, М.И.: Резултати експериментално–теоријске анализе спрегнуте таванице при статичком дејству, Изградња 61, број 8–9, Београд, стр. 285–292, **2007**.
- [5] Миличић, М.И., Влајић, М.Љ., Фолић, Ј.Р.: Нумеричко моделирање и симулација: Експериментално–теоријске анализе спрегнуте таванице при статичком дејству, Материјали и конструкције, vol. 51, бр. 3, стр. 51–60, **2008**.

## EXPERIMENTAL ANALYSIS OF DYNAMIC EFFECTS ON COMPOSITE STRUCTURES IN THE FACTORY "BANINI A.D." IN KIKINDA

**Summary:** *In this paper we tested the behavior of composite ceiling construction in accordance with the principles and specific requirements given in a number of national regulations and standards in the field of test construction. The experimental analysis of behavior mezzanine composite structures in the factory "Banini ad" in Kikinda consider the character, conduct assessments and determine the intensity of manipulative loaded. Based on the determination of the load carried by the verification of the actual behavior of the mezzanine structure from the viewpoint of dynamic response. Dynamic response of composite mezzanine structure "steel – concrete" includes determining the amplitudes and natural frequencies of the oscillations only in the vertical direction as well as the determination of the actual value of the dynamic coefficient.*

**Keywords:** *Testing, mezzanine composite of structures, oscillations, dynamic coefficient.*