



Получена: 09.01.2023 г.

Приета: 17.02.2023 г.

## ИНСТРУМЕНТАЛЕН МОНИТОРИНГ НА РЕАЛНА СТОМАНОБЕТОННА КОНСТРУКЦИЯ НА ЖИЛИЩНА СГРАДА ПО ВРЕМЕ НА ИЗПЪЛНЕНИЕ И СЛЕД ВЛИЗАНЕТО ѝ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ ЗА ПЕРИОД ОТ 10 ГОДИНИ

Е. Абдулахад<sup>1</sup>

*Ключови думи:* инструментален мониторинг, експлоатационна надеждност, напрегнато и деформирано състояние

### РЕЗЮМЕ

За осигуряване на експлоатационна надеждност на конструкцията, която е количествен статически показател, обединяващ комплекса от физико-механични и геометрични характеристики на обекта, е необходимо да се извършва периодичен мониторинг.

Познаването на реалното напрегнато и деформирано състояние на строителните конструкции е от първостепенна важност за определяне на остатъчната носимоспособност на отделните конструктивни елементи след влизането на сградата в експлоатация. Важен фактор е качеството на вложените материали и спазването на проектната документация.

Настоящата статия включва етапи за инструментален мониторинг на реална стоманобетонна конструкция в процеса на изпълнение и по време на експлоатационния ѝ „живот“. Обект на изследване са носещи конструктивни елементи – колона, две греди – проста и непрекъснатата, както и две полета от плочата – кръстосано армирано и еднопосочно армирано поле.

---

<sup>1</sup> Емад Абдулахад, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [georgosing@gmail.com](mailto:georgosing@gmail.com)

## 1. Обект на изследването

Обектът е жилищна сграда в жк „Левски – Зона В“, гр. София. Сградата се състои от сутерен, партер, четири типа и два подпокривни етажа. В конструктивно отношение сградата е стоманобетонна с гредови плочи, колони и вертикални носещи стени в двете направления. Сградата е проектирана съгласно нормативни документи, действащи за 2006 г. в България. Вж. фиг. 1.



Фиг. 1. Настоящ етап от изпълнението и завършена жилищна сграда

## 2. Цел

За осигуряване на надеждността на конструкцията, която е количествен статически показател, обединяващ комплекса от физико-механични и геометрични характеристики на обекта, е необходимо да се извършва инструментален мониторинг.

Един от показателите за надеждност на конструкцията е:

- Конструктивен коефициент, който се изразява като отношение между опитно установените и теоретично изчислените величини [4, 6].

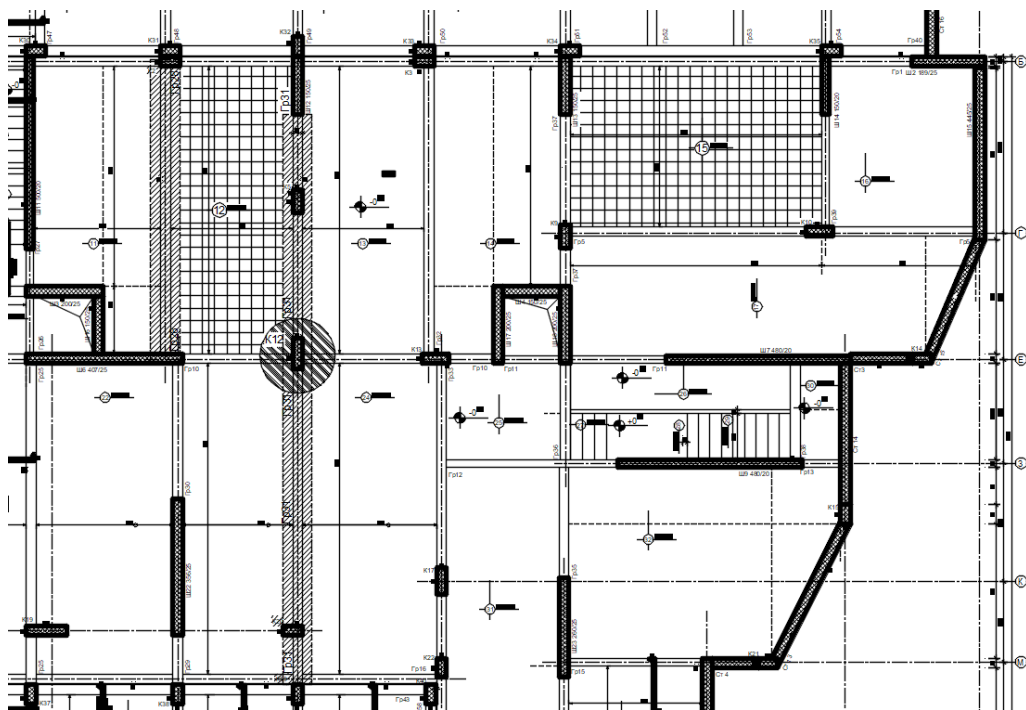
$$k_{kl} = \frac{\sigma_{xi,obs}}{\sigma_{xi,cal}} \leq 1. \quad (1)$$

- Окончателната оценка на състоянието на конструкциите изисква съпоставяне на всички измервани величини, както помежду им, така и с теоретично определените, а също и сравняването им с регламентираните според действащи норми и в този смисъл представлява не само индивидуална, но и комплексна задача.

Основната цел на изследването е да се следят относителните деформации в армировката и бетона, на отделни елементи в реална конструкцията по време на нейното изграждане и след влизането ѝ в експлоатация.

Обследването се извършва на етапи и обхваща следните конструктивни елементи. Вж. фиг. 2.

- Колона K12 – определяне на относителните деформации в армировката и бетона.
- Две греди – проста (гр. 28) и непрекъсната (гр. 31) – определяне на относителните деформации в армировката.
- Две полета – кръстосано армирано поле 15 и еднопосочно армирано поле 12.



Фиг. 2. Местоположение на елементите

### 3. Характеристики на вложените материали

При бетонирането на фундаментната плоча и изпълнението на плоча на кота -0,03 m са взети кубчета, които изпитахме на преса след отлежаването им в реални климатични условия. Вж. табл. 1

В лабораторни условия бяха доказани техническите характеристики на вложената армировка. Данните са изложени в табличен вид. Пробите са изпитани от елементи при изпълнение до кота -0,03 m. Вж. табл. 2.

Таблица 1. Резултати от изпитване на бетонни кубчета с ръб 150 mm, [1]

№ на кубче	$F$ , kN	$A$ , cm <sup>2</sup>	$R_i$ , kN/cm <sup>2</sup>	$R_{28}$ , kN/cm <sup>2</sup>
1	730	225	3,24	2,36
2	820	225	3,64	2,65
3	740	225	3,29	2,39
4	850	225	3,78	2,75
5	890	225	3,96	2,88
6	850	225	3,78	2,75

$R_m = 2,63 \text{ kN/cm}^2$ ;  $R_{0,95} = 2,29 \text{ kN/cm}^2$ , [7].

От изложените резултати се вижда, че бетонът отговаря на проекния клас B20.

**Таблица 2. Резултати от изпитване на армировъчни пръти, [1]**

№	Напречно сечение			Товар при провлачане	$\sigma$ при провлачане, kN/cm <sup>2</sup>	Мах товар, kN	Якост на опън, kN/cm <sup>2</sup>	Отн. удълж., %
	Размер, cm	Площ, cm <sup>2</sup>	Дължина, cm					
т. 1	N16	2,01	160	-	-	134	66,66	10,8
т. 2	N16	2,01	160	-	-	135	67,16	15,6
т. 3	N16	2,01	160	112	55,72	129	64,18	18,75
т. 4	N16	2,01	160	112	55,72	138	68,66	10,4
т. 5	N16	2,01	160	-	-	135	67,16	18,75
т. 6	N16	2,01	160	-	-	137	68,16	11,25
т. 7	N18	2,54	180	136	53,54	167	65,75	11,6
т. 8	N18	2,54	180	136	53,15	167	65,75	16,6

От изложените резултати се вижда, че армировката е от клас AIII, [7].

**Таблица 3. Резултати от изпитване на бетонни кубчета с ръб 150 mm при изпълнение вертикални елементи до кота +14,42 m, [2]**

№ на кубче	F, kN	A, cm <sup>2</sup>	R <sub>i</sub> , kN/cm <sup>2</sup>	R <sub>28</sub> , kN/cm <sup>2</sup>
1	940	225	4,178	2,682
2	1000	225	4,444	2,853
3	860	225	3,822	2,454

$R_m = 2,663 \text{ kN/cm}^2$ ;  $R_{0,95} = 2,335 \text{ kN/cm}^2$ , [7].

От изложените резултати се вижда, че бетонът отговаря на проектния клас B20.

**Таблица 4. Резултати от безразрушителни изпитвания чрез големината на отскока с твърдомер на Schmidt през 2022 г.**

Обща характеристика на бетона					
Зона на изпитване	R <sub>m</sub> , МПа	s	R <sub>0,96</sub> , МПа	Клас на бетона	
				БДС EN 206-1/NA	БДС EN 206-1
т. 1	30,17	4,31	23,09	B20	C 16/20
т. 2	31,46	2,36	27,58	B25	C 20/25
т. 3	27,69	3,12	22,57	B20	C 16/20
т. 4	22,87	1,75	20,00	B20	C 16/20
т. 5	26,49	3,31	21,06	B20	C 16/20
т. 6	22,86	1,73	20,03	B20	C 16/20
т. 7	29,64	2,67	25,25	B25	C 20/25

Фирма доставчик на бетон: „ХИДРОБЕТОН“ ООД.

Фирма доставчик на стомана: „ВАЛАС“ ООД.

Арматурен двор: „СТОМАНА ИНДЪСТРИ“.

#### 4. Методика на изследването

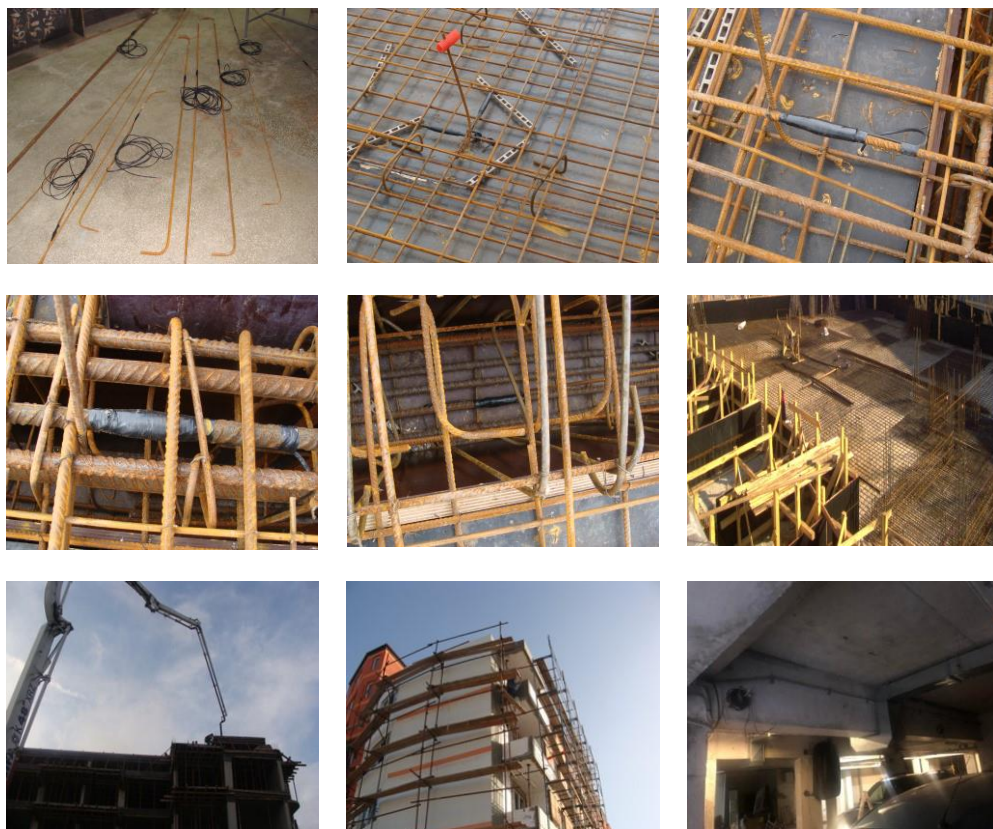
Използваните уреди за измерване на деформациите [5], респективно и постигането на поставените ни цели, са:

- Електросъпротивителни деформоприемници с паспортни данни:

$$l_0 = 200 \text{ mm}; R_0 = 120 \Omega; K_r = 2.$$

За определяне на относителните деформации. Предварително се залепват за армировъчните пръти, преди бетонирането, като се изолират с лак, болкит, PVC тръби и изолирбанд.

- Тензометричен Уитстонов мост – от типа TSA-4 – уред за определяне на относителните деформации в армировъчните пръти посредством поставените електросъпротивителни деформоприемници.
- Деформомерър Хугенбергер с база 254 mm – уред за определяне на относителните деформации в бетона.



**Фиг. 3. Залепване на деформоприемниците в лабораторни условия, монтаж на армировъчните пръти в гредите и полега от плочите и етапи от изпълнение на кота +19,36 m**

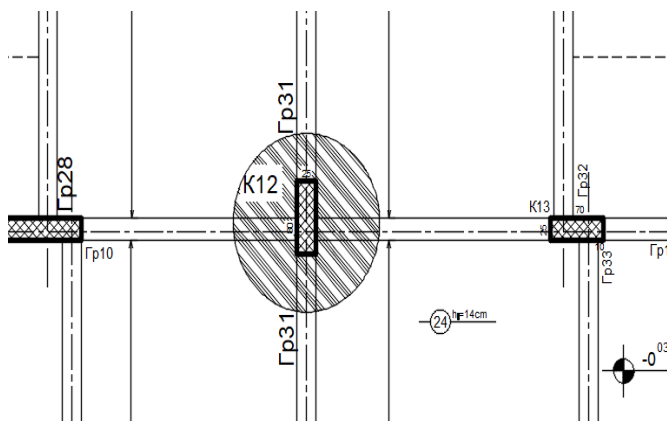
## 5. Схема с разположение на уредите

### 5.1. Колона 12

Уредите са разположени в първото етажно ниво на колоната (сутерен).

Електро-съпротивителните деформоприемници са поставени на четирите ъглови армировъчни пръта в колоната и са номерирани както следва Д1-Д4. Вж. фиг. 4.

Базите за измерване на относителните деформации в бетона са разположени в средната част на колоната както по височина, така и по широчина, вж. фиг. 5. Базите за измерването на напречните деформации ( $T_{k2}$ ) са поставени в зоната между две стремена [2].



Фиг. 4. Местоположение на измерителните уреди и надлъжна армировка в колоната

Важно е да се отбележи, че сечението на колоната се променя симетрично по височина, като размерът на първо етажно ниво е 80/25, във второ – 65/25, а от трето ниво до покрива напречното сечение е 50/25.



Фиг. 5. Поставени бази и взимане на нулеви отчети на относителните деформации в колони 12



## 6. Резултати от обследването

В процеса на изпълнение на стоманобетонната конструкция са взимани отчети за относителните деформации на съответните армировъчни пръти, вложени в колоната и относителните деформации на бетона.

Получените резултати и обработката им са представени в табличен вид.

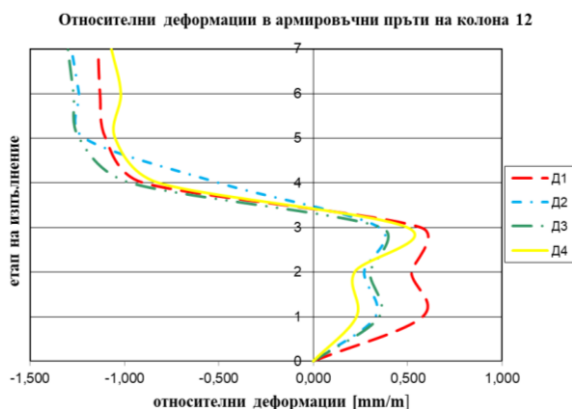
### 6.1. Колона 12

Измервания са направени за няколко от етапите на изпълнение на сградата, а именно: нулеви отчети се приемат след изпълнение на вертикални елементи до кота -0,03 m – колона 12. Вж. табл. 5, 6 и фиг. 8, 9.

**Таблица 5. Резултати от измерване на относителните деформации в армировката на колона 12**

№	Нулев отчет преди бетоноране	След бетоноране на колоната	$\epsilon_{s1}$	Изпълнена плоча – кота +6,11 m	$\epsilon_{s2}$	Изпълнена плоча – кота +8,88 m	$\epsilon_{s3}$
	$Z_0'$	$Z_0$	$(Z_0-Z_0')$	$Z_2$	$(Z_2-Z_0)$	$Z_3$	$(Z_3-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д1	17,240	16,940	-0,30	17,52	0,580	17,46	0,520
Д2	17,885	18,030	0,15	18,36	0,330	18,3	0,270
Д3	17,090	18,550	1,46	18,9	0,350	18,85	0,300
Д4	16,505	16,350	-0,15	16,58	0,230	16,57	0,220

№	Изпълнена плоча – кота +14,4 m	$\epsilon_{s4}$	Изпълнена плоча – кота +19,36 m	$\epsilon_{s5}$	При акт 15	$\epsilon_{s6}$	2013 – при акт за ползване	$\epsilon_{s7}$	2022	$\epsilon_{s8}$
	$Z_4$	$(Z_4-Z_0)$	$Z_5$	$(Z_5-Z_0)$	$Z_6$	$(Z_6-Z_0)$	$Z_7$	$(Z_7-Z_0)$	$Z_8$	$(Z_8-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д1	17,51	0,570	16,04	-0,900	15,84	-1,100	15,81	-1,130	15,8	-1,140
Д2	18,38	0,350	17,53	-0,500	16,82	-1,210	16,79	-1,240	16,75	-1,280
Д3	18,91	0,360	17,58	-0,970	17,31	-1,240	17,28	-1,270	17,25	-1,300
Д4	16,85	0,500	15,53	-0,820	15,3	-1,050	15,33	-1,020	15,28	-1,070

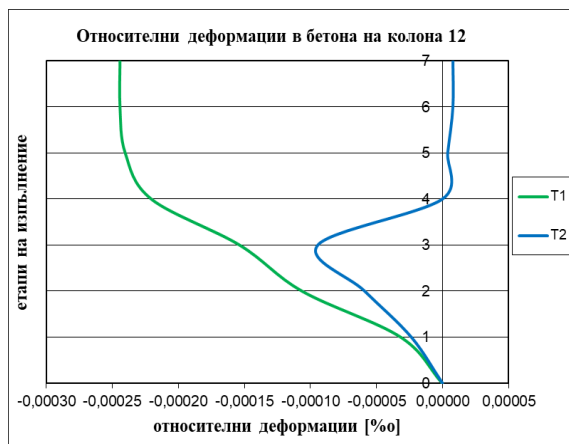


**Фиг. 8. Относителни деформации в армировъчните пръти на колона 12**

**Таблица 6. Резултати от измерване на относителните деформации в бетона на колона 12**

№	Нулев отчет	Изпълнена плоча – кота +6,11 m	$\Delta L$	$\epsilon_{s1}$	Изпълнена плоча – кота +8,88 m	$\Delta L$	$\epsilon_{s2}$	Изпълнена вер. до кота +14,4 m	$\Delta L$	$\epsilon_{s3}$
	Z <sub>0</sub>	Z <sub>1</sub>	mm	‰ *10 <sup>4</sup>	Z <sub>2</sub>	mm	‰ *10 <sup>4</sup>	Z <sub>3</sub>	mm	‰ *10 <sup>4</sup>
T1	0,474	0,466	-0,0080	-0,315	0,447	-0,0270	-1,063	0,435	-0,0390	-1,535
T2	0,464	0,458	-0,0060	-0,236	0,449	-0,0150	-0,591	0,440	-0,0240	-0,945

№	Изпълн. вер. до кота +19,36 m	$\Delta L$	$\epsilon_{s4}$	При акт 15	$\Delta L$	$\epsilon_{s5}$	2013 – акт за ползване	$\Delta L$	$\epsilon_{s6}$	2022	$\Delta L$	$\epsilon_{s7}$
	Z <sub>4</sub>	mm	‰ *10 <sup>4</sup>	Z <sub>5</sub>	mm	‰ *10 <sup>4</sup>	Z <sub>6</sub>	mm	‰ *10 <sup>4</sup>	Z <sub>7</sub>	mm	‰ *10 <sup>4</sup>
T1	0,418	0,056	-2,205	0,413	0,061	-2,402	0,412	0,062	-2,441	0,412	0,062	-2,441
T2	0,464	0,000	0,000	0,465	0,001	0,039	0,466	0,002	0,079	0,466	0,002	0,079



**Фиг. 9. Относителни деформации в бетона на колона 12**

От получените резултати за относителните деформации се вижда, че в средната зона на сечението на колоната на кота +14,42 m се наблюдават натискови деформации, а в крайните армировъчни пръти опънни такива, които са от малък порядък. Това се дължи на факта, че в сутерена стоманобетонната колона увеличава размера на напречното си сечение симетрично с 15 cm – с по 7,5 cm от двете страни. Четирите ъглови пръта, на които са поставени деформоприемници, попадат извън зоната на директно предаване на натоварването от горните етажи (прътите се намират в двата крайни участъка на увеличеното с по 7,5 cm напречно сечение). Тъй като на следващото етажно ниво колоната има намалено напречно сечение с размер  $h_c = 65$  cm, натоварването от горните етажи се предава върху колоната в сутерена в средната зона, където се получават натискови деформации, а в крайните участъци (извън зоната на директно натоварване) се наблюдават опънни деформации.

От таблица 3, в която са дадени деформациите в надлъжната армировка, се вижда, че развитието на надлъжните деформации в четирите ъглови пръти е неравномерно. В началото се получава нарастване на деформациите по един от прътите, след това задържане чрез по-бавни темпове на нарастване в този прът, докато деформациите в

другите пръти на колоната през това време растат по-бързо. Неравномерното развитие на надлъжните деформации в армировката е свързано с неравномерното развитие на надлъжните деформации на бетона по четирите страни, което е установено дори при стоманобетонни колони, натоварени на условен центричен натиск [3]. Този факт може да се обясни с нееднородността на бетона при стоманобетонните елементи и малката стойност на вертикален товар.

При изпълнението на плочата на кота +19,36 m измерените относителни деформации в армировката са натискови, относителните надлъжни деформации в бетона за T1 продължават да се развиват в натиск, а относителните напречни деформации в T2 се нулират.

При изпълнението на сградата (тухлени зидове, замазки и др.), се наблюдава нарастване на относителните натискови деформации в армировката, относителните деформации в бетона в надлъжно направление нарастват, а в напречно направление преминават в опън.

- Получените максимални относителни натискови деформации от измерване на бетона са:  $\varepsilon_{ci} = -0,0002441$  ‰.

Напрежения в бетона съгласно БДС.[8]

$$\sigma_{ci} = \varepsilon_{ci} \cdot E_c \cdot \left( 1 - \frac{\varepsilon_{ci}}{2 \cdot \varepsilon_{cu}} \right), \quad (2)$$

$$\sigma_{ci} = 0,0002441 \cdot 275000 \cdot \left( 1 - \frac{0,0002441}{2 \cdot 2,2,16} \right) = 6,71 \text{ MPa.}$$

Максималното напрежение в армировката (таблица 5 – Д3), както следва:

$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s, \quad (3)$$

$$\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s = 0,0013 \cdot 200000 = 0,26 \text{ GPa.}$$

- Условното напрежение в бетона е по-малко от нормативната стойност  $R_b = 15 \text{ MPa}$  (B20) с 55 %.
- Полученото максимално напрежение в армировката е по-малко от нормативното (стомана клас АIII – 410 MPa) с 36 %.
- Получените стойности за конструктивен коефициент от форума (1) са:

$$\text{За бетон } k_{kl} = \frac{\sigma_{xi,obs}}{\sigma_{xi,cal}} = \frac{6,71}{11,5} = 0,58 \leq 1. \quad (4)$$

$$\text{За армировка } k_{kl} = \frac{\sigma_{xi,obs}}{\sigma_{xi,cal}} = \frac{260}{375} = 0,69 \leq 1. \quad (5)$$

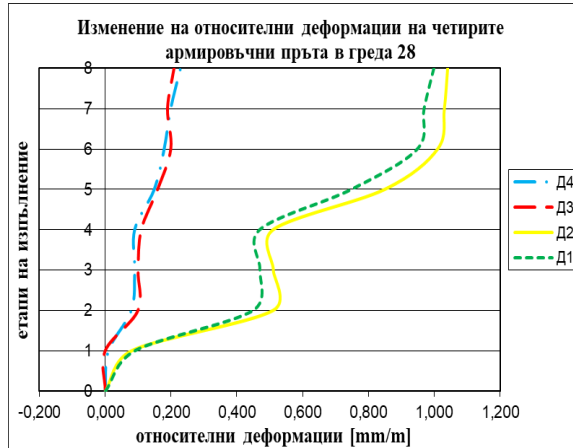
## 6.2. Греди

### 6.2.1. Греда 28

Получените относителни деформации в армировката на греда 28 започват да нарастват след декофриране и продължават да нарастват при изпълнение на тухлена

зидария и замазка. Между етап 2 и 4 се забелязва сравнително вертикален клон на диаграмата на относителните деформации, който се дължи изцяло на собственото тегло на плочата и гредите. Вж. фиг. 10.

Относителните деформации на армировката над опората при греда 28 са с около 80 % по-малки от армировката в полето. Вж. табл. 7.



**Фиг. 10. Изменение на относителните деформации на четирите армировъчни пръта в греда 28**

**Таблица 7. Резултати от измерване на относителните деформации в армировката на греда 28**

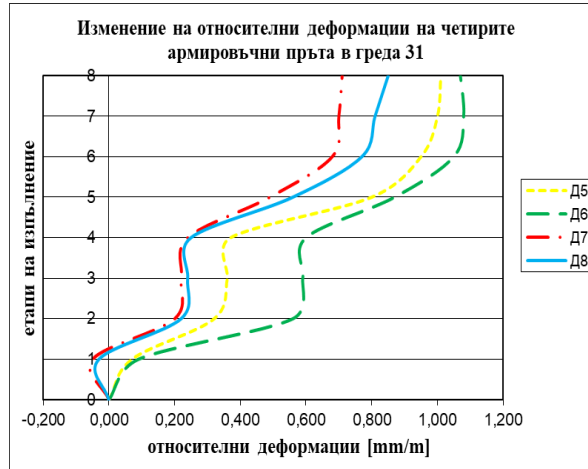
Гр. № 28	Нулев отчет	След бетонирание на греда на kota -0,03	$\epsilon_{s1}$	Изпълнена плоча + kota +6,11 m и декофриране на kota	$\epsilon_{s2}$	Изпълнена плоча – kota +8,88 m	$\epsilon_{s3}$
	$Z_0$ mm/m	$Z_1$ mm/m	$(Z_1-Z_0)$ mm/m	$Z_2$ mm/m	$(Z_2-Z_0)$ mm/m	$Z_3$ mm/m	$(Z_3-Z_0)$ mm/m
Д1	19,260	19,350	0,09	19,710	0,45	19,73	0,47
Д2	19,710	19,790	0,08	20,220	0,51	20,22	0,51
Д3	18,220	18,220	0,00	18,320	0,10	18,32	0,1
Д4	19,160	19,170	0,01	19,240	0,08	19,25	0,09

Гр. № 28	Изпълнена плоча – kota +14,4 m	$\epsilon_{s4}$	Изпълнена kota +19,36 m и изп. на тухлен зид	$\epsilon_{s5}$	Акт 15 и изп. на замазки	$\epsilon_{s6}$	2013 – при акт за ползване	$\epsilon_{s7}$	2022	$\epsilon_{s8}$
	$Z_4$ mm/m	$(Z_4-Z_0)$ mm/m	$Z_5$ mm/m	$(Z_5-Z_0)$ mm/m	$Z_6$ mm/m	$(Z_6-Z_0)$ mm/m	$Z_7$ mm/m	$(Z_7-Z_0)$ mm/m	$Z_8$ mm/m	$(Z_8-Z_0)$ mm/m
Д1	19,73	0,470	20,01	0,750	20,21	0,950	20,23	0,970	20,26	1,000
Д2	20,22	0,510	20,56	0,850	20,72	1,010	20,74	1,030	20,75	1,040
Д3	18,33	0,110	18,38	0,160	18,42	0,200	18,41	0,190	18,43	0,210
Д4	19,25	0,090	19,31	0,150	19,34	0,180	19,36	0,200	19,39	0,230

### 6.2.2. Грета 31

Получените относителни деформации в армировката на грета 31 започват да нарастват след декофриране и продължават да нарастват при изпълнение на тухлена зидария и замазка. Между етап 2 и 4 се забелязва сравнително вертикален клон на диаграмата на относителните деформации, който се дължи изцяло на собственото тегло на плочата и гредите. Вж. фиг. 11.

Относителните деформации при опората на непрекъсната грета 31 са с около  $15 \div 20\%$  по-малки от тези на армировката в полето. Вж. табл. 8.



Фиг. 11. Изменение на относителните деформации на четирите армировъчни пръта в грета 31

Таблица 8. Резултати от измерване на относителните деформации в армировката на грета 31

Гр. № 31	Нулев отчет	След бетонирание на грета на кота -0,03	$\epsilon_{s1}$	Изпълнена плоча +кота +6,11 m и декофриране на кота	$\epsilon_{s2}$	Изпълнена плоча – кота +8,88 m	$\epsilon_{s3}$
	$Z_0$	$Z_1$	$(Z_1-Z_0)$	$Z_2$	$(Z_2-Z_0)$	$Z_3$	$(Z_3-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д5	19,260	19,350	0,09	19,710	0,45	19,73	0,47
Д6	19,710	19,790	0,08	20,220	0,51	20,22	0,51
Д7	18,220	18,220	0,00	18,320	0,10	18,32	0,1
Д8	19,160	19,170	0,01	19,240	0,08	19,25	0,09

Гр. № 31	Изпълнена плоча – кота +14,4 m	$\epsilon_{s4}$	Изпълнена кота +19,36 m и изп. на тухлен зид	$\epsilon_{s5}$	Акт 15 и изп. на замазки	$\epsilon_{s6}$	2013 – при акт за ползване	$\epsilon_{s7}$	2022	$\epsilon_{s8}$
	$Z_4$	$(Z_4-Z_0)$	$Z_5$	$(Z_5-Z_0)$	$Z_6$	$(Z_6-Z_0)$	$Z_7$	$(Z_7-Z_0)$	$Z_8$	$(Z_8-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д5	19,73	0,470	20,01	0,750	20,21	0,950	20,23	0,970	20,26	1,000
Д6	20,22	0,510	20,56	0,850	20,72	1,010	20,74	1,030	20,75	1,040
Д7	18,33	0,110	18,38	0,160	18,42	0,200	18,41	0,190	18,43	0,210
Д8	19,25	0,090	19,31	0,150	19,34	0,180	19,36	0,200	19,39	0,230

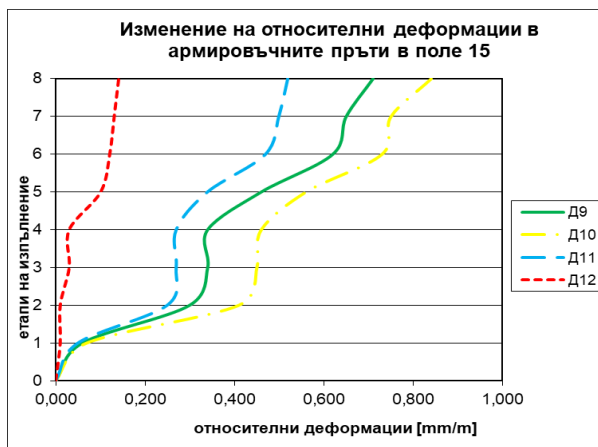
## 6.3. Плочи

### 6.3.1. Поле 15

Относителните деформации на носещата армировка на кръстосано армирано поле 15 и над опората, в зоната на запъване, също нарастват при декофриране и продължават да нарастват при изпълнението на тухлени зидове и замазки. Вж. фиг. 12.

По-големите стойности на относителните деформации на армировката са тези по късата страна на полето.

Конструктивната армировка в ставната опора на полето е по-малка с около 80 % от носещата армировка. Вж. табл. 9.



Фиг. 12. Изменение на относителните деформации на армировката на поле 15

Таблица 9. Резултати от измерване на относителните деформации в армировката на поле 15

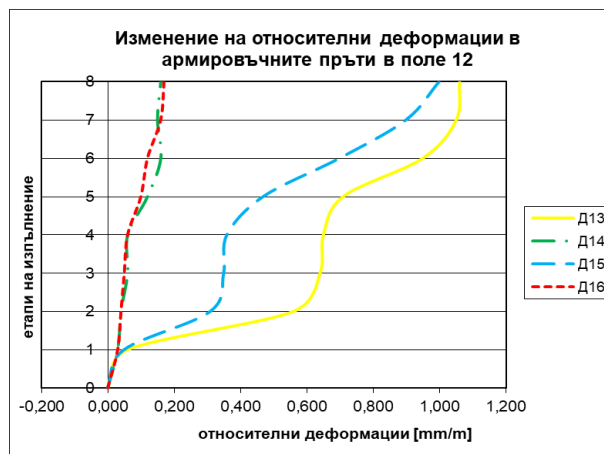
Поле 15	Нулев отчет	След бетониране на гредата на kota -0,03 m	$\epsilon_{s1}$	Изпълнена плоча + kota + 6,11 m и декофр. на kota -0,03 m	$\epsilon_{s2}$	Изпълнена плоча – kota +8,88 m	$\epsilon_{s3}$
	$Z_0$	$Z_1$	$(Z_1-Z_0)$	$Z_2$	$(Z_2-Z_0)$	$Z_3$	$(Z_3-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д9	19,500	19,560	0,06	19,800	0,30	19,84	0,34
Д10	17,060	17,130	0,07	17,470	0,41	17,51	0,45
Д11	18,030	18,080	0,05	18,280	0,25	18,3	0,27
Д12	20,400	20,410	0,01	20,410	0,01	20,43	0,03

Поле 15	Изпълнена плоча – kota +14,42 m	$\epsilon_{s4}$	Изп. kota +19,36 m и тухлен зид в/у гредата	$\epsilon_{s5}$	Акт 15 и изп. на замазки	$\epsilon_{s6}$	2013 – при акт за ползване	$\epsilon_{s7}$	2022	$\epsilon_{s8}$
	$Z_4$	$(Z_4-Z_0)$	$Z_5$	$(Z_5-Z_0)$	$Z_6$	$(Z_6-Z_0)$	$Z_7$	$(Z_7-Z_0)$	$Z_8$	$(Z_8-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д9	19,84	0,340	19,96	0,460	20,12	0,620	20,15	0,650	20,21	0,710
Д10	17,52	0,460	17,62	0,560	17,79	0,730	17,81	0,750	17,9	0,840
Д11	18,3	0,270	18,37	0,340	18,5	0,470	18,53	0,500	18,55	0,520
Д12	20,43	0,030	20,5	0,100	20,52	0,120	20,53	0,130	20,54	0,140

### 6.3.2. Поле 12

Относителните деформации на носещата армировка на еднопосочно армирано поле 12 и над опората, в зоната на запъване, също нарастват при декофриране и продължават да нарастват при изпълнението на тухлени зидове и замазки. Вж. фиг. 13.

Армировката в надлъжно направление над опората и в полето е по-малка с около 80 % от носещата армировка. Вж. табл. 10.



Фиг. 13. Изменение на относителните деформации на армировката на поле 12

Таблица 10. Резултати от измерване на относителните деформации в армировката на поле 12

Поле 12	Нулев отчет	След бетониране на гредата на кота -0,03 m	$\epsilon_{s1}$	Изпълнена плоча + кота + 6,11 m и декофр. на кота -0,03 m	$\epsilon_{s2}$	Изпълнена плоча – кота +8,88 m	$\epsilon_{s3}$
	$Z_0$	$Z_1$	$(Z_1-Z_0)$	$Z_2$	$(Z_2-Z_0)$	$Z_3$	$(Z_3-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д13	17,810	17,870	0,06	18,370	0,56	18,45	0,64
Д14	16,610	16,640	0,03	16,650	0,04	16,67	0,06
Д15	18,000	18,050	0,05	18,310	0,31	18,35	0,35
Д16	19,700	19,730	0,03	19,740	0,04	19,75	0,05

Поле 12	Изпълнена плоча – кота +14,42 m	$\epsilon_{s4}$	Изп. кота +19,36 m и тухлен зид в/у гредата	$\epsilon_{s5}$	Акт 15 и изп. на замазки	$\epsilon_{s6}$	2013 – при акт за ползване	$\epsilon_{s7}$	2022	$\epsilon_{s8}$
	$Z_4$	$(Z_4-Z_0)$	$Z_5$	$(Z_5-Z_0)$	$Z_6$	$(Z_6-Z_0)$	$Z_7$	$(Z_7-Z_0)$	$Z_8$	$(Z_8-Z_0)$
	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m	mm/m
Д13	18,46	0,650	18,52	0,710	18,76	0,950	18,86	1,050	18,87	1,060
Д14	16,67	0,060	16,73	0,120	16,77	0,160	16,76	0,150	16,77	0,160
Д15	18,36	0,360	18,47	0,470	18,7	0,700	18,9	0,900	19,00	1,000
Д16	19,76	0,060	19,8	0,100	19,82	0,120	19,86	0,160	19,87	0,170

## 7. Заключение

Получените относителни деформации на изследваните конструктивни елементи потвърждават надеждната им експлоатация. Заложените коефициенти за натоварване, сигурност на материалите и условия на работа на бетона и армировката съгласно Българските норми за проектиране и наредби до 2006 г. са показател за осигуряване на носеща способност на конструкцията.

Получените относителни деформации на армировката на изследваните елементи потвърждават конструктивните изисквания съгласно Българските нормите за проектиране.

Получените относителни деформации на армировката над опората на греда 28 потвърждават действащите конструктивни изисквания на Еврокод [9] (25 % от носещата армировка).

Важен показател за анализ и оценка на изследваните елементи е конструктивният коефициент „к“ (отношение на получените опитни величини към изчислителните), който в конкретния случай за бетона е 0,58, а за армировката 0,69. Резултатът от този показател показва, че конструкцията има дълготрайна безаварийна надеждна експлоатация.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Abdulahad, E., Panichkov, D., Apostolova, A.* Izsledvane na napregnato i deformirano sastoyanie na realna stomanobetonna konstruksia na zhlishtna sgrada po vreme na izpalnenie i sled vlizaneto y v eksploatatsia. Yubileyna nauchna konferentsia s mezhdunarodno uchastie VSU'2008, Sofia.

2. *Abdulahad, E., Panichkov, D., Apostolova, A.* Stadii na razpredelenie na deformatsiite v stomanobetonna kolona v naturni uslovia, s относително висок protsent на armirane i promyana на naprechnoto sechenie по visochina. UASG – Sofia, 2009 g.

3. *Zaharieva, B.* Teoretichno i eksperimentalno izsledvane na stomanobetonni elementi ot visokoyakosten beton, natovareni na natisk i ogavane. Disertatsia, 1991, Sofia.

4. *Panichkov, D.* Obsledvane i izpitvane na stroitelni konstruksii i saorazhenia. UIK, 2001, Sofia.

5. *Panichkov, D.* Rakovodstvo po izpitvane na stroitelnite konstruksii i saorazhenia. Tehnika, 1988, Sofia.

6. *Dimov, D.* Obsledvane i izpitvane na stroitelni konstruksii i mostove. UIK, 2006, Sofia.

7. *Darakchiev, B., Nazarski, D. i kolektiv.* Rakovodstvo za uprazhnenia по stroitelni materialii. Tehnika, 1990, Sofia.

8. *Manoilov, L.* Stomanobeton. Tehnika, 1998, Sofia.

9. Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструктивни елементи.

# **INSTRUMENTAL MONITORING OF ACTUAL REINFORCED CONCRETE STRUCTURE OF A RESIDENTIAL BUILDING DURING ITS CONSTRUCTION AND ITS SERVICE LIFE FOR A 10-YEAR PERIOD**

**E. Abdulahad<sup>1</sup>**

*Keywords: instrumental monitoring, reliable serviceability, stressed and deformed state*

## **ABSTRACT**

In order to ensure reliable serviceability of the structure, which is a statistically quantitative indicator uniting the complex of physico-mechanical and geometric characteristics of the object, it is necessary to carry out periodic monitoring.

Knowing the actual stressed and deformed state of building structures is of primary importance for determining the residual load-bearing capacity of individual structural elements after the commissioning of a building. An important factor is the quality of the input materials and compliance with the project documentation.

This paper includes stages for instrumental monitoring of a real reinforced concrete structure in the process of construction and during its service “life”. The object of research is load-bearing structural elements – a column, two beams – simple and continuous, as well as two fields of the slab – cross-reinforced and one-way reinforced slab.

---

<sup>1</sup> Emad Abdulahad, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [georgosing@gmail.com](mailto:georgosing@gmail.com)