



Получена: 10.02.2017 г.

Приета: 21.04.2017 г.

ОРГАНИЗАЦИОННИ, ТЕХНОЛОГИЧНИ, КОНСТРУКТИВНИ РЕШЕНИЯ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ И УСИЛВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ СГЛОБЯЕМИ КОНСТРУКЦИИ

П. Христов¹, М. Петкова²

Ключови думи: възстановяване, усилване, сглобяеми стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

Във връзка с разработваната тема е реализирана експериментална част. Монтирани са механичните стендови приспособления, посредством които е реализирано натоварването върху образците. Готовите образци (4 бр.) са позиционирани и са монтирани датчици. Разработена е схема на натоварването и същото е реализирано поетапно до достигане на нормативна и изчислителна стойност на допустимото натоварване, след което образците са разтоварени. Измерени и записани са деформациите в характерни точки от сечението. Разработена е схема на усилване на три от образците, след което същите са отново поетапно натоварени до разрушение. Записаните деформации са анализирани, начертани са графики на натоварване и деформации.

1. Въведение

Изключителната обществена значимост на темите, свързани с усилването на съществуващи сгради и в частност съществуващи обществени сгради, породила идеята за научната разработка на тема „Организационни, технологични, конструктивни решения за възстановяване и усилване на стоманобетонни сглобяеми конструкции”.

¹ Петър Христов, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: pchristov_fce@uacg.bg

² Мария Петкова, инж., редовен докторант, кат. „Организация и икономика на строителството”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: petkova_fce@uacg.bg

Голяма част от разработваните в средата и края на XX в. сглобяеми системи за строителство са разработени отчасти на база експериментални изследвания, което затруднява в най-висока степен теоретичния анализ и съпоставимостта на тези системи с действащите към момента нормативни изисквания по отношение на носимоспособност, дълготрайност и устойчивост на строителните конструкции.

Експерименталните изследвания при такива системи са ключов елемент при изясняването на степента на обезпеченост на изискуемите параметри, съгласно съвременните нормативни документи.

Темата „Организационни, технологични, конструктивни решения за възстановяване и усилване на стоманобетонни сглобяеми конструкции” е разработена двуетапно, в рамките на две години.

В първия етап на научната разработка е извършена теоретична и практическа подготовка за експерименталното изследване. Конкретно бяха изпълнени следните задачи:

- Анализирани са елементната база и особеностите на строителната система СКС УС⁷³, по която са изградени множество сгради на учебни заведения в цялата страна.
- Анализирани са актуалната нормативна, методическа и теоретична база в страната и по света във връзка с приложението на външноапликираните FRP за усилване и възстановяване на сглобяеми предварително напрегнати елементи.
- Издирени са и са доставени в лабораторията към катедра „Масивни конструкции“ при УАСГ подходящи предварително напрегнати подови елементи от строителната система СКС УС⁷³ с дължина по-голяма от 600 cm, височина 25 cm и ширина 120 cm с еднаква (трета) марка по носеща способност.
- Разработени са технологични и конструктивни схеми за усилване на панелите за носеща способност и коравина с помощта на външно апликирани полимери, армирани с въглеродни и стъклени нишки.
- Разработена е методика и програма за изпитване на образците в усилено и неусилено състояние.
- Разработени са и са изготвени и доставени в лабораторията към катедра „Масивни конструкции“ при УАСГ механични стендови приспособления, позволяващи осъществяването на усилването на елементите и на тяхното изпитване.

Във връзка с изпълнението на втория етап на темата бяха изпълнени следните задачи:

- Доставените в първия етап в лабораторията към катедра „Масивни конструкции“ при УАСГ предварително напрегнати подови елементи от строителната система СКС УС⁷³ с дължина по-голяма от 600 cm, височина 25 cm и ширина 120 cm с еднаква (четвърта) марка по носеща способност са приведени към изискванията на разработената в първия етап методика за изпитване на образците. Дължината на елементите е коригирана посредством скъсяване до 480 cm. Използвани са диамантени дискове за рязане.

- Монтирани са изготвените и доставени в лабораторията към катедра Масивни конструкции при УАСГ в първи етап механични стендови приспособления, позволяващи осъществяването на натоварването и усилването на елементите и на тяхното изпитване.
- Готовите образци (4 бр.) са монтирани в проектно положение при стендовите приспособления.
- Монтирани са датчици на предварително определени, характерни места върху образците, предмет на изпитването.
- Разработена е схема на натоварване на неусилените елементи и същото е приложено върху монтираните образци.
- Извършено е поетапно натоварване на стъпки върху образците до достигане на нормативна и изчислителна стойност на допустимото натоварване след което образците са разтоварени поетапно (3 бр.). Измерени са и са записани деформациите в характерни точки от сечението.
- Извършено е поетапно натоварване на стъпки върху един от образците до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване. Измерени са и са записани деформациите в характерни точки от сечението.
- Записаните деформации са анализирани, начертани са графики на натоварване и деформации.
- Три от образците са усилен с помощта на външно апликирани CFRP при различна степен на усилване.
- Разработена е схема на усилване и схема на натоварване на усилените елементи и същото е приложено върху усилените образци (3 бр.).
- Извършено е поетапно натоварване на стъпки върху усилените образците до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване. Измерени са и са записани деформациите в характерни точни от сечението.
- Записаните деформации са анализирани, начертани са графики на натоварване и деформации.

2. Подготовка за изпълнение на експерименталната част

Доставените в първия етап в лабораторията към катедра „Масивни конструкции“ при УАСГ предварително напрегнати подови елементи от строителната система СКС УС’73 с дължина, по-голяма от 600 cm, височина 25 cm и ширина 120 cm с еднаква (четвърта) марка по носеща способност, са приведени към изискванията на разработената методиката за изпитване на образците. Дължината на елементите е коригирана посредством скъсяване до 480 cm. Използвани са диамантени дискове за рязане.

Монтирани са изготвените и доставени в лабораторията към катедра „Масивни конструкции“ при УАСГ в първи етап механични стендови приспособления, позволяващи осъществяването на натоварването и усилването на елементите и на тяхното изпитване. Изготвени са опорни системи за полагане на образците, така че да се осигурят действителните опорни условия, характерни за елементи от този тип.



Сн. 1. Позициониран подов панел при стендови и опорни приспособления

Готовите образци (4 бр.) са позиционирани в проектно положение при стендовите приспособления. Подготвени и положени са маркери, които да осигуряват безпогрешното отличаване на характерните сечения на отделните образци.

Монтирани са датчици на предварително определени, характерни места върху образците, предмет на изпитването.

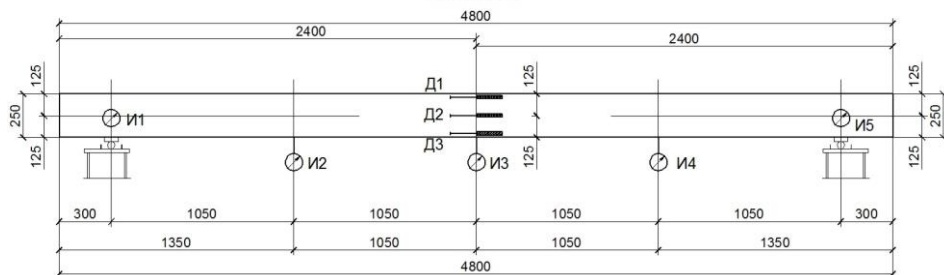
Датчиците /И1 до И10/ са 10 бр. от вида датчик с циферблатен индикатор, на фирма Mitutoyo, Япония, със следните технически параметри:

- обхват – 30 mm (1 mm);
- точност – $\pm 25 \mu\text{m}$;
- деления – 0,01 mm;
- изм. сила – 2,5 N или по-малка;
- градуиране – $\pm 0 - 100$.

Датчици /Д1 до Д6/ са 6 бр. индуктивни датчици за преместване на фирма НВМ с подвижно ядро и ход 10 mm.

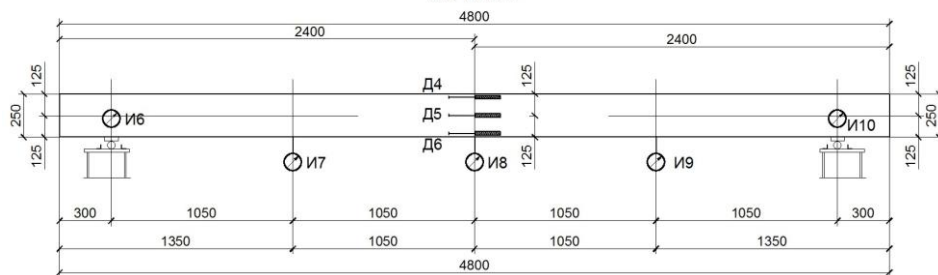
Датчик И11 е индуктивен датчик за преместване с ход 50 mm.

СХЕМА НА РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА ИЗМЕРВАТЕЛНИТЕ УРЕДИ
СТРАНА А



Фиг. 1. Схема на разположение на измервателните уреди, страна А

СХЕМА НА РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА ИЗМЕРВАТЕЛНИТЕ УРЕДИ
СТРАНА Б



Фиг. 2. Схема на разположение на измервателните уреди, страна А

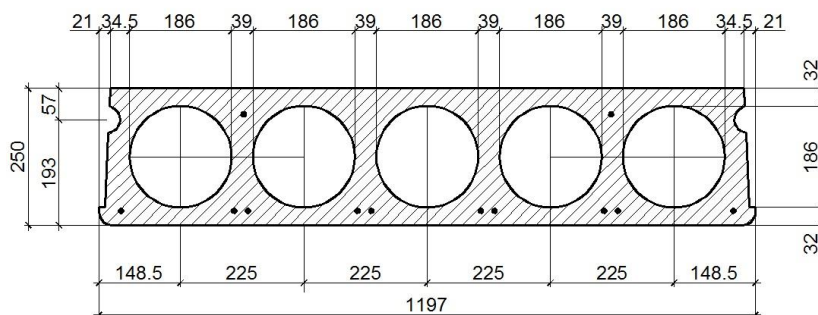


Сн. 2. Образец 1 в готовност за изпитване

3. Поетапно натоварване на стъпки, съгласно предварително разработена схема на натоварване, върху неусилените образци до достигане на нормативна и изчислителна стойност на допустимото натоварване, след което образците са разтоварени поетапно

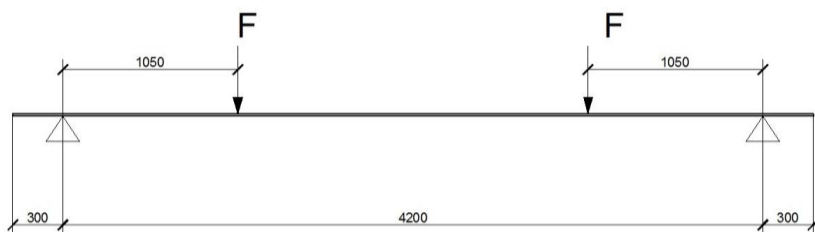
Образците, предмет на експерименталното изследване, са предварително напрегнати подови панели с цилиндрични кухини с размери 120 cm ширина, височина 25 cm и клас по носимоспособност – четири. Изпълнени са от предварително напрегнат бетон марка Б400 и са армирани със седемтелни снопове (пряди) от високоякостна стомана (ГОСТ 1380-68). Напрягането е осъществено на дълъг стенд при осигурена пукнатинуостойчивост II категория.

ППК - L(l) - 4
L=4800mm



Фиг. 3. Схема на подов панел ППК – L(l) - 4

СТАТИЧЕСКА СХЕМА



Фиг. 4. Статическа схема на подов панел ППК – L(l) - 4

Разработването на статическата схема и схемата на натоварване беше съобразено с действителното натоварване на подови елементи от този тип (равномерно разпределен товар), както и техническите възможности на лабораторията към катедра „Масивни конструкции“ при УАСГ (концентрирано натоварване в характерни точки). Извършени са изчислителни дейности по преобразуване на големината на концентрираните сили, така че да се апроксимират максималните огъващи моменти в средата на полето при две концентрирани сили и при равномерно разпределен товар, съгласно номограмите за носимоспособността на конкретния вид подов панел.

Получени са следните стойности на характеристичния и изчислителния товар вследствие на извършените изчисления:

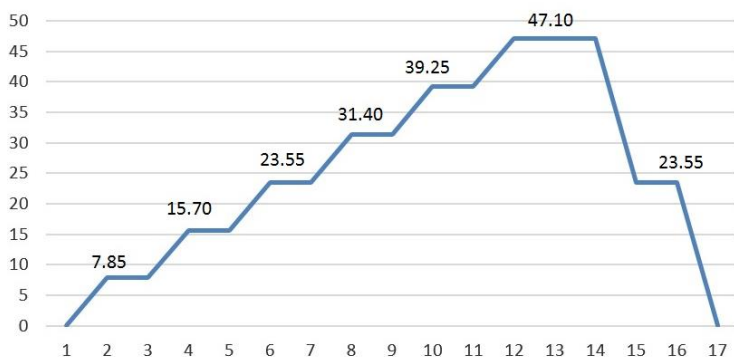
$$F_k = 47,10 \text{ kN};$$

$$F_d = 70,65 \text{ kN}.$$

Натоварването е осъществено на три етапа:

Етап I – до достигане на характеристичната стойност на допустимото натоварване. Осъществява се на шест стъпки през 7,85 kN на стъпка. Разтоварването се осъществява на две стъпки през 23,55 kN.

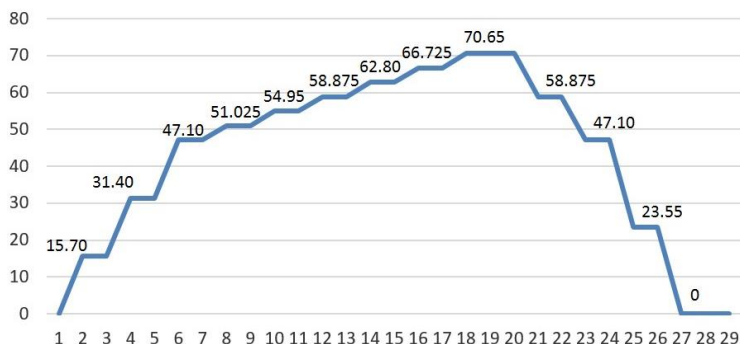
Схема на натоварване до F_k
етап I



Фиг. 5. Схема на натоварване на етап I до достигане на характеристична стойност на натоварването

Етап II – до достигане на изчислителна стойност на допустимото натоварване. Осъществяват се три стъпки през 15,70 kN на стъпка до достигане на характеристична стойност на натоварването, след което се осъществяват още шест стъпки през 3,925 kN до достигане на изчислителната стойност на натоварването. Разтоварването се осъществява на две стъпки през 11,775 kN до достигане на характеристичен товар и още две стъпки през 23,55 kN до пълно разтоварване.

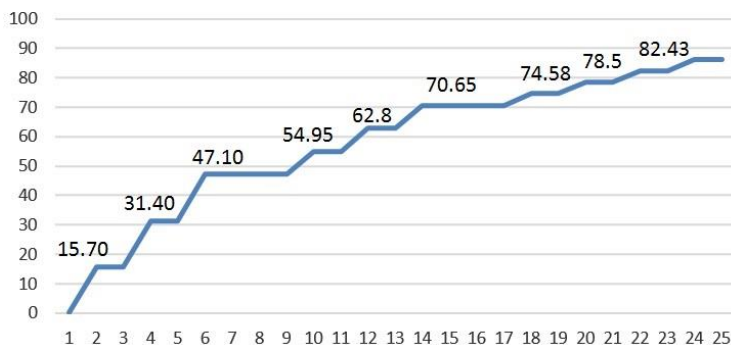
Схема на натоварване до F_d
етап II



Фиг. 6. Схема на натоварване на етап II до достигане на изчислителна стойност на натоварването

Етап III – до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване. Осъществяват се три стъпки през 15,70 kN на стъпка до достигане на характеристична стойност на натоварването, след което се осъществяват още три стъпки през 7,85 kN до достигане на изчислителната стойност на натоварването. Натоварването продължава до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване през стъпки от 3,925 kN.

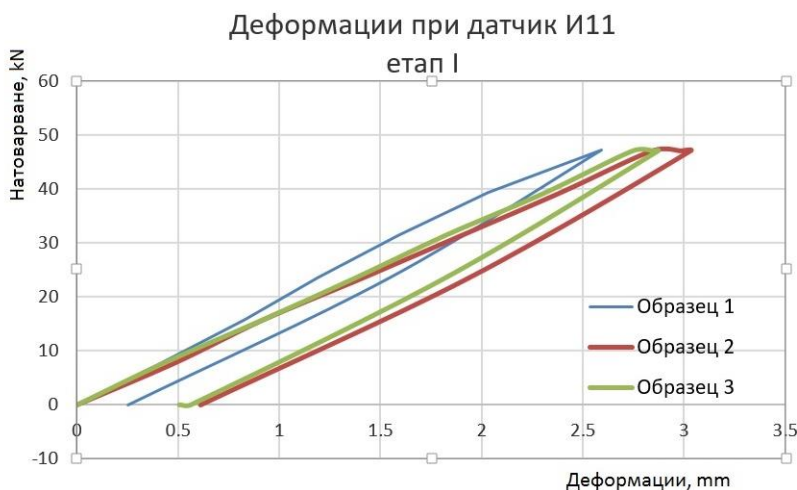
Схема на натоварване до Фразр.
етап III



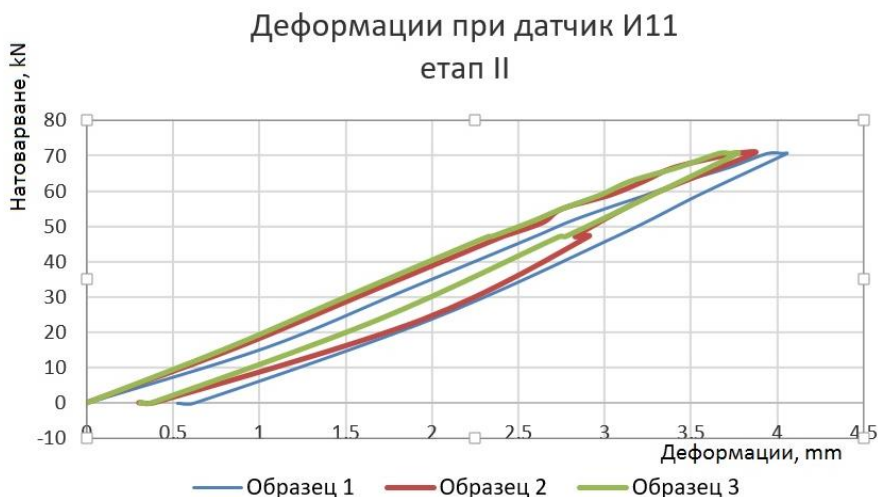
Фиг. 7. Схема на натоварване на етап III до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване

4. Анализ на измерените и записани деформации в характерни точки от сечението на неусилените образци. Начертване на графики

След реализирането на описаното в т. 3 натоварване са записани деформациите, отчетени от датчиците. Начертани са диаграми на деформациите при различните степени на натоварване.



Фиг. 8. Деформации при датчик И11, етап I



Фиг. 9. Деформации при датчик И11, етап II

5. Поетапно натоварване на стъпки, съгласно предварително разработена схема на натоварване, върху един от неусилените образци до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване

След натоварването на Образец 1, Образец 2 и Образец 3 в два етапа – Етап I и Етап II, съгласно описаната схема в т. 3 от настоящия доклад, бяха записани резултатите от изпитването и се пристъпи към изпитване на Образец 4.

Образец 4 беше изпитан в три етапа в следната последователност:

Етап I – до достигане на характеристичната стойност на допустимото натоварване. Осъществява се на шест стъпки през 7,85 kN на стъпка. Разтоварването се осъществява на две стъпки през 23,55 kN.

След пълното разтоварване и затихването на деформациите (изчакване от два периода от 15 мин след всеки се отчитаха и записваха деформациите) се пристъпи към реализиране на натоварването от следващия етап.

Етап II – до достигане на изчислителна стойност на допустимото натоварване. Осъществяват се три стъпки през 15,70 kN на стъпка до достигане на характеристична стойност на натоварването, след което се осъществяват още шест стъпки през 3,925 kN до достигане на изчислителната стойност на натоварването. Разтоварването се осъществява на две стъпки през 11,775 kN до достигане на характеристичен товар и още две стъпки през 23,55 kN до пълно разтоварване.

След пълното разтоварване и затихването на деформациите (изчакване от два периода от 15 мин след всеки се отчитаха и записваха деформациите) се пристъпи към реализиране на натоварването от следващия етап.

Етап III – до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване. Осъществяват се три стъпки през 15,70 kN на стъпка до достигане на характеристична стойност на натоварването, след което се осъществяват още три стъпки през 7,85 kN до достигане на изчислителната стойност на натоварването. Натоварването продължава до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване през стъпки от 3,925 kN.

Натоварването беше реализирано до достигане на сила от 275 kN във всяка от пресите. Записани са деформациите, описани и измерени са пукнатините.

При реализираното натоварване първите пукнатини се отвориха при сила от 157 kN.



Сн. 3. Деформация на Образец 4 вследствие на приложеното натоварване

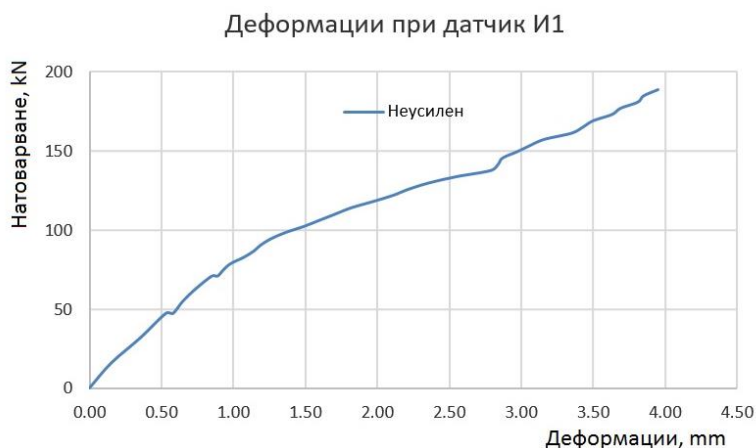


Сн. 4. Пукнатини при Образец 4 от приложеното натоварване

6. Анализ на измерените и записани деформации в характерни точки от сечението на разрушения неусилен образец. Начертаване на графики

След реализирането на описаното в т. 5 от настоящия доклад натоварване са записани деформациите, отчетени от датчиците. Начертани са диаграми на деформациите при различните степени на натоварване. Тук представяме деформациите при един датчик (от общо четири) при опора – И1 и един датчик в средата на полето – И11, където се реализира очаквано най-голямо провисване.

При реализираното натоварване първите пукнатини се отвориха при сила от 157 kN.



Фиг. 10. Деформации при датчик И1



Фиг. 11. Деформации при датчик И11

От съображения за сигурност датчиците бяха разкачени при сила $F = 133,45$ kN, която отговаря на коефициент на сигурност при разрушение 1,89. Натоварването беше реализирано до $F_{\text{разр}} = 275$ kN, което отговаря на коефициент на разрушение 3,89.

При тази сила се реализираха деформации (провисване) в средата на полето от порядъка на 60 mm.

След пълното разтоварване всички пукнатини, които се бяха отворили, се затвориха напълно.

7. Усилване на три броя образци, съгласно предварително разработена схема посредством системата на ISOMAT MEGAWRAP-200

Посредством системата на ISOMAT MEGAWRAP – 200 са усилены Образец 1, Образец 2 и Образец 3. Тази система представлява еднопосочно изтъкан плат от непрекъснати карбонови нишки, които са комбинирани с епоксидна смола EPOMAX – LD за получаване на синтетичен материал, който се използва за статично укрепване и усиление на строителни носещи елементи под формата на външно залепена армировка.

Техническите характеристики на усиливащата система са дадени в следващата таблица.

Табл. 1. Технически характеристики на MEGAWRAP – 200

Параметър	Стойност	м.ед.
Тегло карбонови нишки	200	g/m ²
Общо тегло на нишките	224	g/m ²
Дебелина	11	mm
Ширина	600 (±10)	mm
Дължина	50 (±0,5)	m
Тежест на плата	6,72	kg
Строеж на плата		
0°	Carbon Panex – 35 (200 g/mm ²)	
90°	E-glas (9,6 g/mm ²)	
Свързваща армировка	Полиестер (6,4 g/mm ²)	
Свързваща пудра	(8 g/mm ²)	
Свойства на карбонови нишки (Panex – 35)		
Якост на опън f_{fib}	3800 MPa	
Еластичност E_{fib}	235 GPa	
Деформация при счупване ϵ_{fib}	1,50%	
Плътност	1,81 g/cm ³	

8. Поетапно натоварване на стъпки, съгласно предварително разработена схема на натоварване, върху усилените образци до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване

След усилянето на Образец 1, Образец 2 и Образец 3 се осъществи натоварването им посредством схемата за натоварване от Етап III – до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване. Осъществява се натоварване на три стъпки през 15,70 kN на

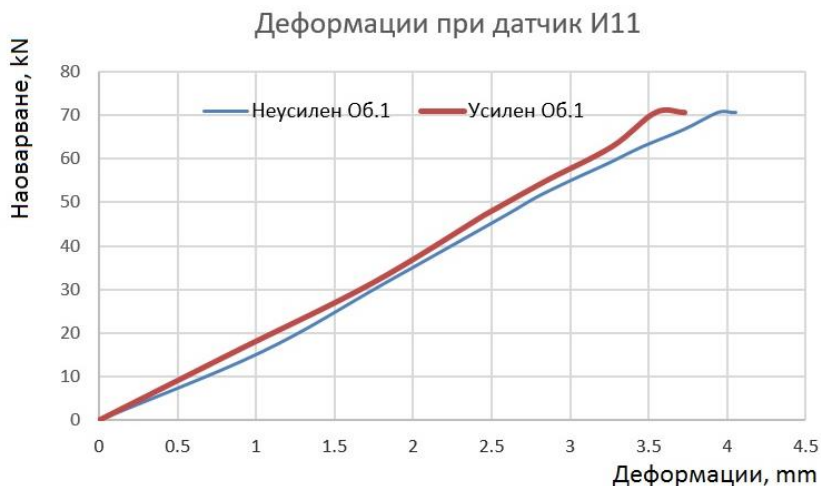
стъпка до достигане на характеристична стойност на натоварването (47,10 kN), след което се осъществява натоварване на още три стъпки през 7,85 kN до достигане на изчислителната стойност на натоварването (70,65 kN). Натоварването продължи до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване през стъпки от 3,925 kN.

Схема на натоварване до Фразр.
етап III



Фиг. 12. Схема на натоварване на етап III до достигане на гранична носимоспособност и разрушаване

Представените по-долу диаграми отразяват деформациите на усилените и неусилените Образци при различни товарни състояния в датчик И11 (в средата на полето).



Фиг. 13. Деформации при датчик И11, Образец 1



Фиг. 14. Деформации при датчик И11, Образец 3



Сн. 5. Деформации и пукнатини при натоварване на Образец 3



Сн. 6. Разрушение на Образец 3



Сн. 7. Наговарване на Образец 1



Сн. 8. Деформации и пукнатини при натоварване на Образец 1



Сн. 9. Разрушение страна А на Образец 1

9. Заключение

Експерименталната дейност е съществен коректив на всяка теоретична разработка.

Експерименталното изследване на носимоспособността и деформациите на предварително напрегнати подови панели с цилиндрични кухини е важна част от научната дисертация на тема: Организационни, технологични, конструктивни решения за възстановяване и усиление на стоманобетонни сглобяеми конструкции.

При експерименталното изследване бяха измерени количествени показатели на параметри (деформации, натоварване), които са ключови при изясняването на поведението на този тип съществуващи конструктивни елементи, усиление със съвременни системи и техники.

Посредством задълбочен анализ на експерименталните резултати, теоретичната и нормативна обосновка, както и компютърната симулация на поведението на моделите, са стъпките към изясняване на ефекта на някои съвременни усиляващи системи върху поведението и работата на съществуващи предварително напрегнати подови панели с цилиндрични кухини.

Благодарности

Благодарности на ЦНИП за финансовата подкрепа във връзка с изпълнение на договор № Д-79/2015.

Благодарности на екипа на лабораторията по Масивни конструкции към УАСГ за високия професионализъм и съдействието при осъществяване на експерименталната дейност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строително-конструктивна система СКС-УС'73. Албум 1.1 – Каталог.
2. БДС EN 1992-1-1:2004 Еврокод 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.
3. *Димов, Д.* Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове. УАСГ, София, 2010.

ORGANIZATIONAL, TECHNOLOGICAL, AND STRUCTURAL SOLUTIONS IN STRENGTHENING PRECAST REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

P. Hristov¹, M. Petkova²

Keywords: strengthening, reconstruction, precast reinforced concrete structures

ABSTRACT

In accordance with the development of the scientific research, some experimental tests are provided. Steel loading frames are installed and pre-designed loading cases are executed. Sensors are attached to specific points on the samples. Deformations at specific points are measured and analysed.

Three of the samples are strengthened and then loaded by steps up to ultimate load-bearing capacity and destruction. Deformations at specific points are measured and analysed.

Load-deformation charts are shown.

¹ Petar Hristov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., e-mail: pchristov_fce@uacg.bg

² Mariya Petkova, Eng. PhD student, Dept. “Construction Management and Economics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., e-mail: petkova_fce@uacg.bg