



*Приета: 18.03.2016 г.  
Преработена: 11.04.2016 г.  
Одобрена: 22.04.2016 г.*

## УСИЛВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ ГРЕДОВИ ЕЛЕМЕНТИ С ВЪНШНА НАПРЕГНАТА АРМИРОВКА

С. Брозиг<sup>1</sup>

*Ключови думи: греди, бетон, обследване, усилване*

### РЕЗЮМЕ

Възстановяването и усилването на носещите стоманобетонни конструкции е проблем, чиято актуалност в днешно време нараства.

В проекта се предвиждат изследвания на възможностите за възстановяване и усилване на носещи стоманобетонни конструкции с помощта на външно предварително налягане.

За да се достигне този втори етап от изследванията, е необходимо да са налични елементи с поведение на греди, работили в действителна конструкция. Целта на първата част на експерименталната работа е да се разработят тези греди и след това да бъде проследено поведението им, за да се покаже дали те имитират правилно такива елементи, които са били в експлоатация около 15 години.

### 1. Въведение

Работата по изпитването се разделя на два етапа – първи етап, цикли натоварване и разтоварване на гредата с цел отслабване на сечението и пресъздаване на работата на елемент, подложен на действителни експлоатационни условия. Във втория етап елементите ще бъдат усилвани чрез външно наляганата армировка.

---

<sup>1</sup> Силвия Брозиг, доторант, кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: sbrozig@gmail.com

Изготвени са осем стоманобетонни греди. В първия етап те ще бъдат подложени на един и същи тип натоварване. На втория етап предстои те да бъдат усилены по четири различни схеми, като всеки два образца ще бъдат с еднаква схема на усиляването.

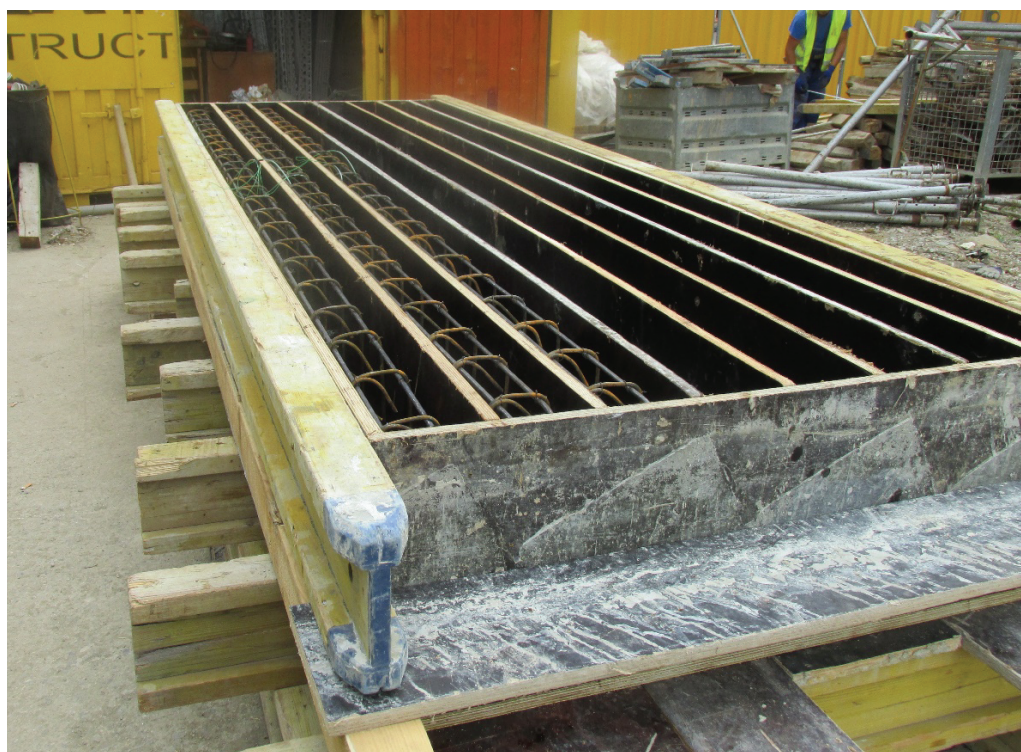
## 2. Стоманобетонни образци

За изследване на конструктивното поведение на предлаганите греди е подготвена експериментална програма, включваща осем броя опитни образци с дължина 3,5 m. Статическата схема, по която гредите ще се изпитват, е проста греда, на две опори, разположени на разстояние 0,25 m от двата ѝ края. По този начин светлият отвор остава 3 m.

Гредите са изпълнени от стоманобетон, като широчината на един елемент е 12,5 cm, а височината му 30 cm.

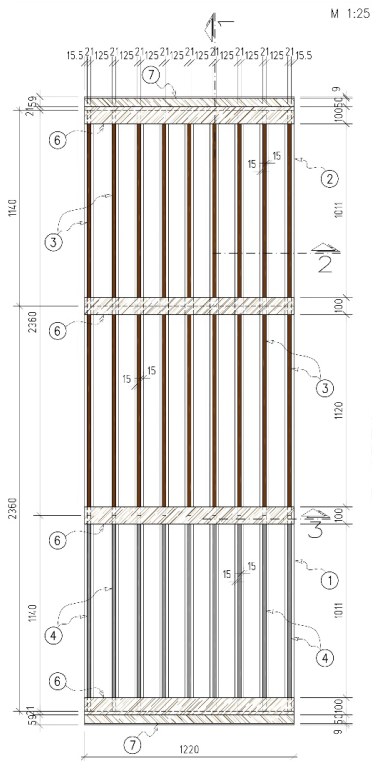
### 2.1. Кофражни форми

Преди изготвянето на самите греди са изработени кофражни форми, като за изработените 8 образца са използвани 6 броя дървени кофражни платна. Те са разграфени по посочената схема, с цел минимална загуба на материал. Всяко от платната е използвано по един път.



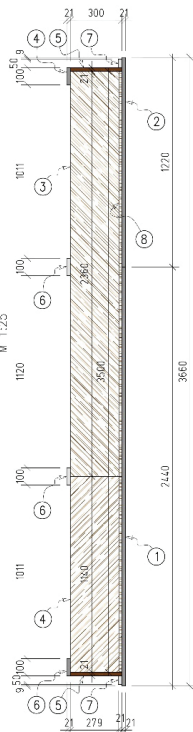
Фиг. 1. Кофражна форма за гредите

ПЛАН – КОФРАЖНА ФОРМА



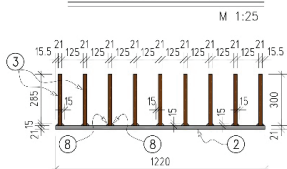
M 1:25

РАЗРЕЗ 1



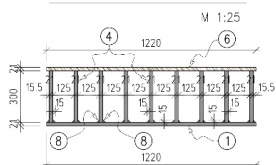
M 1:25

РАЗРЕЗ 2



M 1:25

РАЗРЕЗ 3



M 1:25

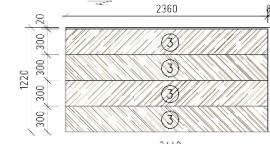
Лист-1



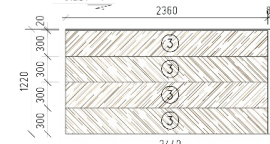
Лист-2



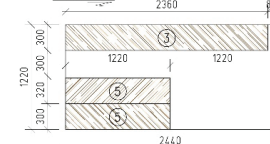
Лист-3



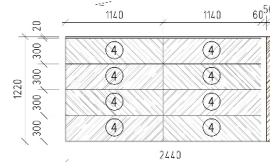
Лист-4



Лист-5



Лист-6



СПЕЦИФИКАЦИЯ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ

8	3500x15x15	18	Надлъжни профили за укрепване на формата
7	1220x300x21	2	Надлъжни укрепващи стълбове
6	1220x300x21	4	Попреечно укрепващи кулони
5	1220x300x21	2	Напорни стълбове – кофражна форма
4	1140x300x21	9	Надлъжни стръци – кофражна форма
3	2360x300x21	9	Надлъжни стръци – кофражна форма
2	1220x1220x21	1	Дъно – кофражна форма
1	2440x1220x21	1	Дъно – кофражна форма
Поз.	Сечение	Бр.	Описание

Фиг. 2. Схема на кофражните форми

## 2.2. Използвани материали



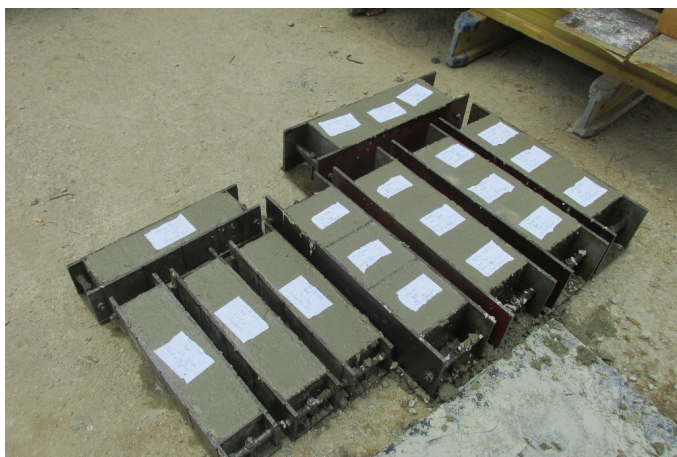
Фиг. 3. Прясно излети греди в кофражните форми

### 2.2.1. Армировка

Долната армировка се състои от два пръта N14, които са изпълнени от стомана АШ (B420), горната армировка е 2Ø8 от стомана АІ (B235), и стрепената са Ø8/15 от стомана АІ (B235). Напречното сечение и съответната армировка са дадени в приложените чертежи.

### 2.2.2. Бетон

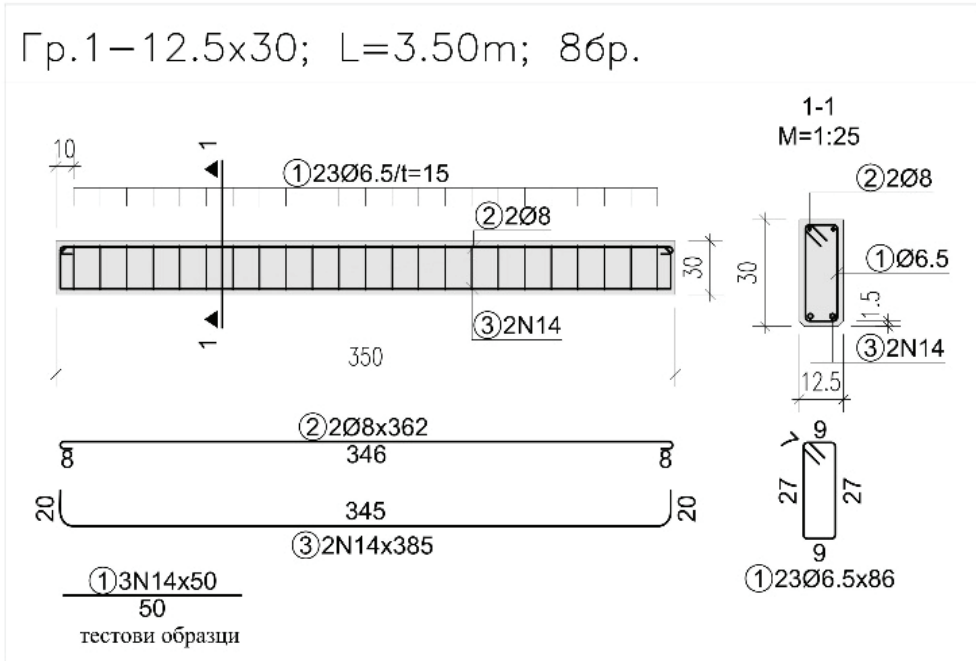
За определяне на механичните характеристики на бетона са взети петнадесет броя кубчета с размер 10/10/10 cm и четири броя призми 10/10/40 cm, при изливане на осемте опитни образци на 04.07.2015 г.



Фиг. 4. Пробни тела за определяне на характеристиките на бетона

Очакваният клас бетон е B25. Измерена е консистенция, отговаряща на клас S3 (13 cm).

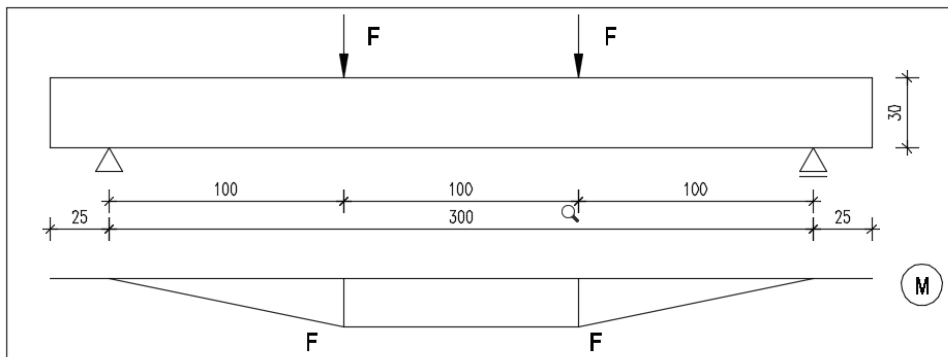
Температурата на въздуха при полагане на бетона е  $t_{out} = 23^\circ$ , а температурата на бетона  $t_{conc} = 26^\circ$ .



Фиг. 5. Армировка на гредата и спецификация

### 3. Статическа схема и схема на натоварването

Гредите са натоварени статично с две сили в третините на светлия отвор с помощта на хидравличен крик и товароразпределяща греда. Крикът е опрян в опорна стоманена рамка, анкерирани в силовия под на лабораторията към катедра Массивни конструкции при УАСГ. С цел по точното определяне на натоварващата сила е използвана месдоза.



Фиг. 6. Статическа схема на гредата и натоварване

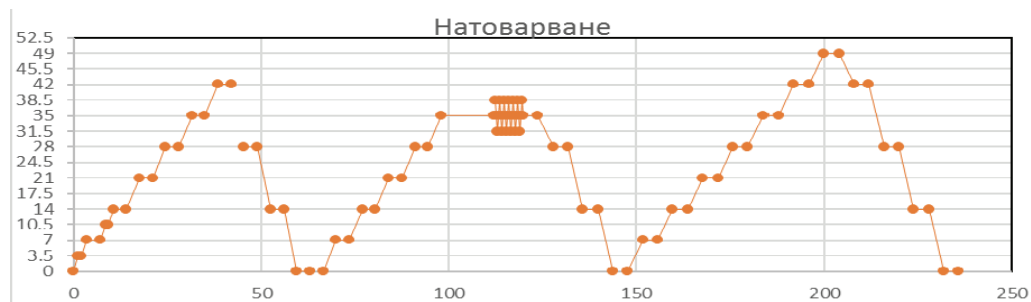


Фиг. 7. Образец, поставен на стенда

При първия етап на натоварването се достига до характеристичната якост на гредата на степени по 3,5 kN. Изчислената нормативна носимоспособност на огъване на елемента е  $MRd = 21,25 \text{ kNm}$ . При избраната статическа схема този момент ще се получи при натоварване с две сили по 21 kN в третините на отвора. Сумарната сила, с която трябва да бъде натоварена гредата, е 42 kN.

При втория етап се достига до натоварване от 35 kN, като след това гредата се поставя под циклично натоварване, с амплитуда 7 kN.

При третия етап на натоварването се достига до изчислителната носимоспособност на сечението, като силата се задържа известно време на това ниво, след което се разтоварва и се взема информация за остатъчните деформации.



Фиг. 8. Натоварване върху гредата във времето

## 4. Отчитане на резултатите

### 4.1. Деформации в армировката

В двата пръта на долната армировка са поставени по един електросъпротивителен деформоприемник на всеки прът.



**Фиг. 9. Армировъчни пръти със залепените електросъпротивителни деформоприемници**

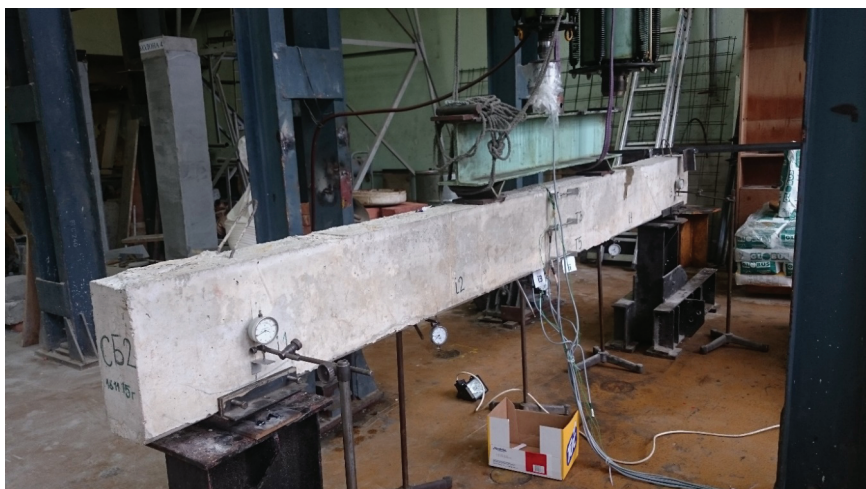


**Фиг. 10. Армировъчни пръти с електросъпротивителни датчици, поставени в кофражните форми**

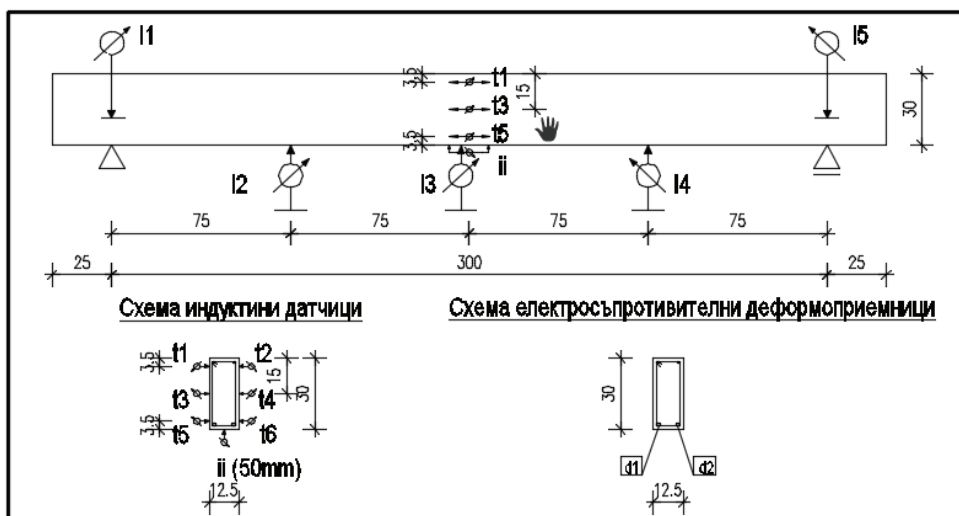
#### 4.2. Деформации по дължината на гредата

По дължина на гредата, за следене на деформациите, са разположени индуктивни датчици. Те са с различен обхват, в зависимост от измерваната величина, както и от базата, налична към лабораторията на университета. За измерване на относителните деформации в 6 точки от напречното сечение на гредата в средата на отвора са използвани датчици с обхват 10 mm и 20 mm. А за измерване на провисванията е използван индуктивен датчик с обхват 50 mm. Местоположението на различните видове датчици е показано на схемата (фиг. 12).

Освен това са използвани 5 броя часовникови индикатори. Два от тях следят евентуалното преместване или завъртане при опорите. Другите три са в четвъртините и в средата на сечението, като с тях се следи преместването на гредата.



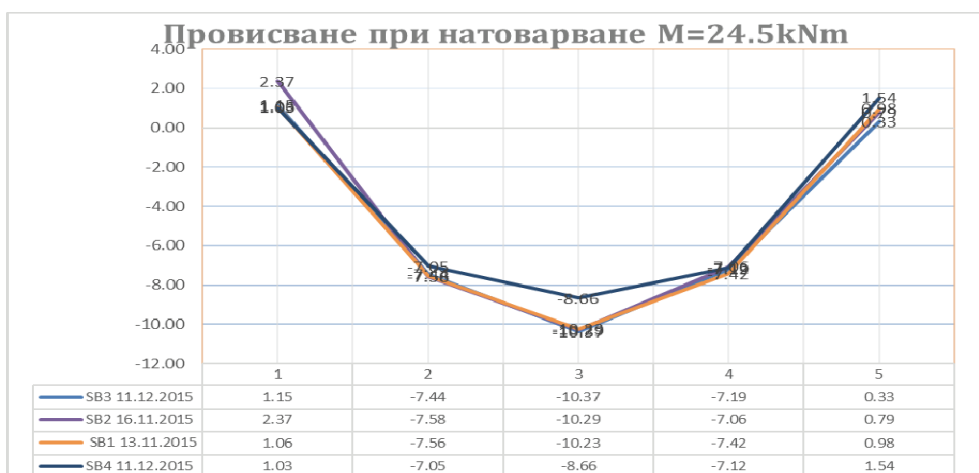
**Фиг. 11. Гредата на стенда, с поставена траверса за натоварването и уредите, отчитащи деформациите**



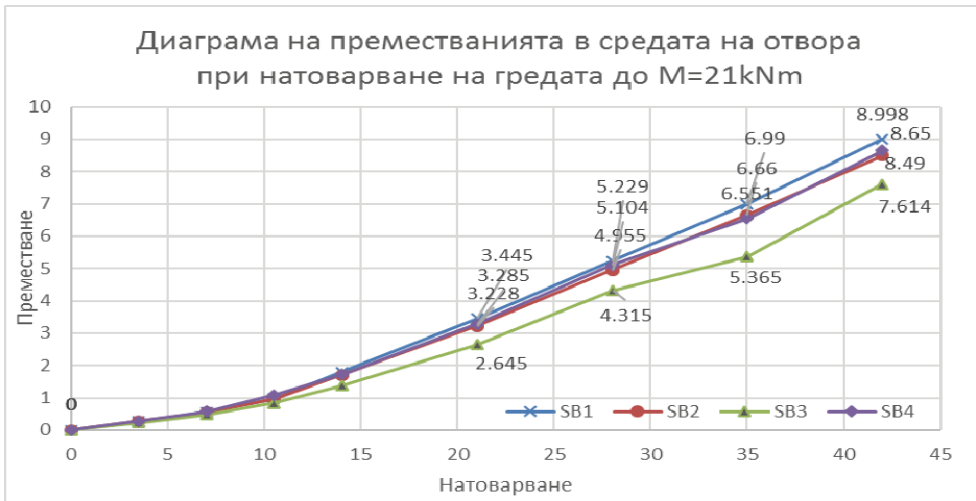
Фиг. 12. Схема на уредите, отчитащи деформациите върху елемента

## 5. Резултати от проведените опити

Изготвените образци са еднакви. Всичките са подложени на натоварване и разтоварване на степени, указани на схемата. Направени са съответните изчисления на носимоспособността на гредите в крайно и експлоатационно състояние. Освен за абсолютните и относителните деформации в бетона и армировката е следено и за момента на отваряне на първа пукнатина, както и за широчината ѝ. При извършените изчисления се доказва, че първа пукнатина би трябвало да се появи при момент 5,56 kNm. След изпитване на гредите се оказва, че първата пукнатина се получава в момента, преди достигане на момент в гредата 5,75 kNm, което доказва верността на изчисленията. Максималната пукнатина, която се получава, е с ширина 0,35 mm.



Фиг. 13. Схема на преместванията при максимално натоварване от часовникови индикатори



**Фиг. 14. Диаграма на преместванията от индуктивни датчици**

## 6. Заключение

- Приложеното натоварване е избрано според представителното за подобен род елементи характеристично натоварване.
- Подлагането на опитните образци на вибрационно натоварване.
- Моделира, по отношение на пукнатини и деформации, дълготрайното поведение на подобни елементи в рамките на 15 – 20 години експлоатационен период.
- Направените предварителни изчисления съвпадат с получените резултати.
- Не са достигнати провисвания, по-големи от предварително определените.
- Образувалите се наклонени пукнатини в елементите са с големина и местоположение, съгласно предварително предвидените.
- При повторното натоварване системата от пукнатини се запазва, без поява на нови пукнатини, което показва, че процесът на пукнатинообразуване е стабилизирани, аналогично на елементи, експлоатирани в дълъг период от време.
- Разработена е система с външно напрегната армировка, която да се използва за усиляването на гредите.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-72/2015 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 1992 Еврокод 2 – Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради. Български Институт по Стандартизация, 2007.
2. Димов, Д. Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове. УАСГ, 2010.
3. Димов, Д. и колектив. Курсови протоколи по ОБИСК. Полиграфическа база УАСГ, 2008 – 2011.

## STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH EXTERNALLY PRESTRESSED TENDONS

S. Brozig<sup>1</sup>

*Keywords: beams, concrete, investigation, strengthening*

### ABSTRACT

Strengthening and retrofitting of reinforced concrete structures is a problem of high importance nowadays.

The project envisages an experiment on the possibilities of retrofitting reinforced concrete structures with externally prestressed tendons.

To get to this second stage of the experimental work, we are in need of elements behaving like beams that have worked in a real structure. The purpose of the first stage of the project is to impose loads on the elements and afterwards to track their behavior in order to see whether they imitate properly beams that have been under exploitation for over 15 years.

---

<sup>2</sup> Silvia Brozig, Eng. PhD student, Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: sbrozig@gmail.com