



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

УСИЛВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННА ДЪГА С CFRP

Й. Ценкова¹, Ф. Рангелова², М. Трайкова³, Е. Абдулахад⁴

Ключови думи: дъгови елементи, усилване, карбонови нишки

РЕЗЮМЕ

Специфичната криволинейна форма на дъговите стоманобетонни елементи налага да бъдат разгледани специални подходи за повишаване на тяхната носеща способност. Изборът на усилваща система за такъв тип елементи е двустранната, поради промяната на натисковата и опънната зона по дължина на елемента. За целта е изготвена стоманобетонна дъгова греда, която е натоварена до първи признак за разрушение, след което е усилена двустранно със система от външно залепени влакнесто армирани полимери (CFRP) само в опънните зони на сечението, след което е натоварена повторно до загуба на съвместно действие на елемента и усилващата система.

1. Въведение

В съвременната инженерна практика често се поражда необходимостта от намиране на различни решения за повишаване на носещата способност на различни конструктивни елементи, поради възникнали дефекти или промяна на нормативните товари и изисквания към строителния елемент. Тази необходимост доведе и до решението за извършване на едно експериментално изследване на поведението на дъгов стоманобетонен елемент, неусилен и усилен с прилагането на система от композитни материали.

¹ Йолена Ценкова, инж., кат. „Организация и икономика на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: jolina_cenkova@abv.bg

² Фантина Рангелова, проф. д-р инж., кат. „Организация и икономика на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: e-mail: fantina_fce@uacg.bg

³ Марина Трайкова, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: marina5261@abv.bg

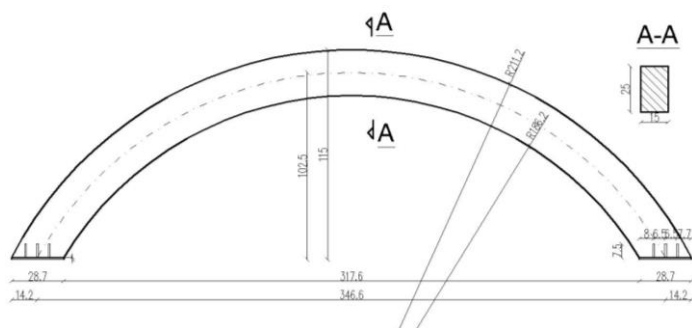
⁴ Емад Абдулахад, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgosing@gmail.com

2. Подготовка на експерименталния модел

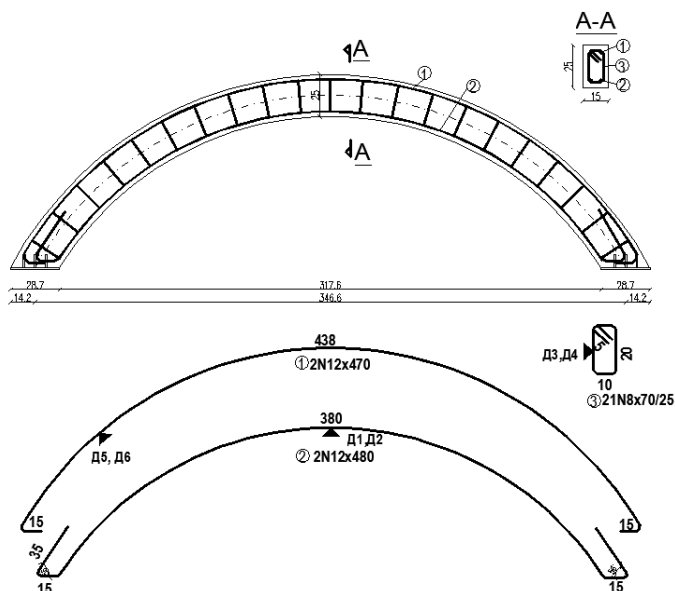
Изработеният експериментален модел е стоманобетонна дъга. Фиг. 1 и фиг. 2 показват геометричните характеристики, напречното сечение, както и вложената армировка за експерименталния образец. Използваните материали са бетон клас C25/30 и стомана B420. Якостта на натиск на бетона е определена в табл. 1. Определянето на якостта на бетона се извършва чрез изпитване на бетонни кубчета с размери 15/15/15 cm.

Таблица 1. Определяне на якостта на бетона на опитните образци

Кубче	M [kg]	F [t]	f [MPa]	f_m [MPa]
1	7.88	79	34.76	31.98
2	7.74	72	31.68	
3	7.54	67	29.48	



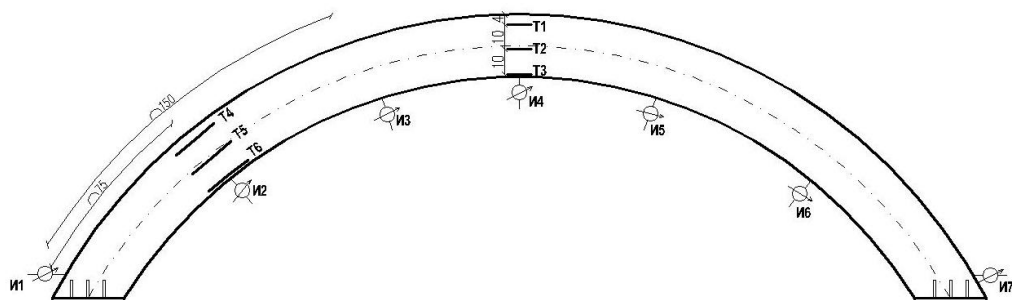
Фиг. 1. Кофражен план



Фиг. 2. Армивъчен план

3. Изпитвателна схема и измерителни уреди

Опитните образци са криволинейна дъгова греда, подпряна на две неподвижни опори. Опорните устройства са реализирани посредством метални планки и метални цилиндри. Гредите се натоварват с концентрирана сила в средата на отвора на гредата. Натоварването върху неусилените и усилене греди се реализира посредством хидравлична преса. Контролирането на силата се осъществява чрез предварително тарирана месдоза, прикачена за пресата. Следенето на общите деформации се осъществява посредством 7 бр. механични часовникови индикатори с точност 0,01 mm (фиг. 3). Относителните деформации в бетона се следят посредством индуктивни датчици с точност 0,001 mm при база 100 mm в средното сечение на гредата и в сечението с максимален огъващ момент, опъващ горни нишки, с база 200 mm (фиг. 3). Относителните деформации в долната опънна армировка се следят посредством електросъпротивителни деформоприемници в средата на отвора и на 20 cm от средата на отвора, а относителните деформации в горната опънна армировка на 90 cm, както и на 75 cm от края на гредата, показани на фиг. 4. Разположени са и електросъпротивителни датчици на второ и девето стреме. Използвана е регистрираща апаратура Уинстонов тензометричен мост и QuantumX.



Фиг. 3. Схема на уредите, отчитащи деформации върху елемента, където Т1 – Т6 – индуктивни датчици; И1 – И7 – часовникови индикатори

4. Резултати от опитното изпитване на експерименталния модел

А) Неусилен елемент

Поява на първа пукнатина в зоната под концентрираната сила се проявява при товар от около 15 kN.

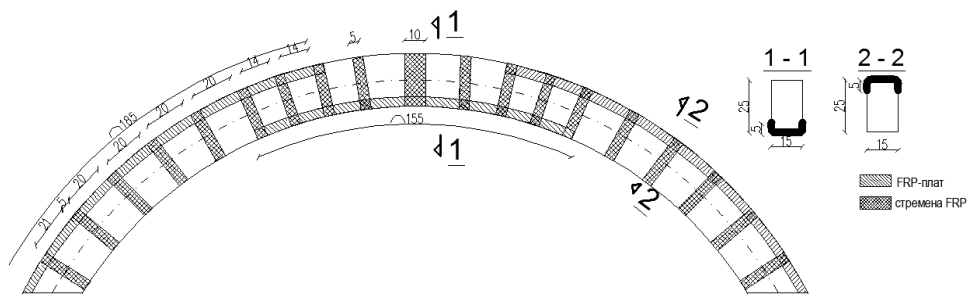
Греда 1 е натоварена до достигане на товар от 114 kN концентрирана сила, приложена в средата, като максималното провисване в средата е 7,24 mm и е в границите на допустимото провисване. Отварянето на пукнатина, в средна зона под концентрираната сила, по-голяма от 0,3 mm, е признак за начало на разрушение, което е причина за спиране на натоварването на този етап.

Б) Усилен елемент

След първоначалното натоварване до поява на първи признак на разрушение – отваряне на пукнатина с недопустима широчина – е приложена показаната на фиг. 4 схема на усилване. Усилването се осъществява чрез прилагането на външно приложена

влакнесто армирана тъкан. Използвани са карбонови влакна под формата на еднопосочно армирана тъкан и двукомпонентна епоксидна смола.

Усилващата система е комбинация от CFRP ивици, разположени в съответствие с моментовата диаграма на елемента и стремена с ширина 5 cm на разстояние 20 cm. В областите, в които завършват CFRP ивиците има сгъстяване на стремената (през 14 cm), с което се цели по-доброто закотвяне на ивиците. Под реализирания концентриран товар е разположено по-дебело стреме (10 cm) с цел да се подобри работата на усилящата система.

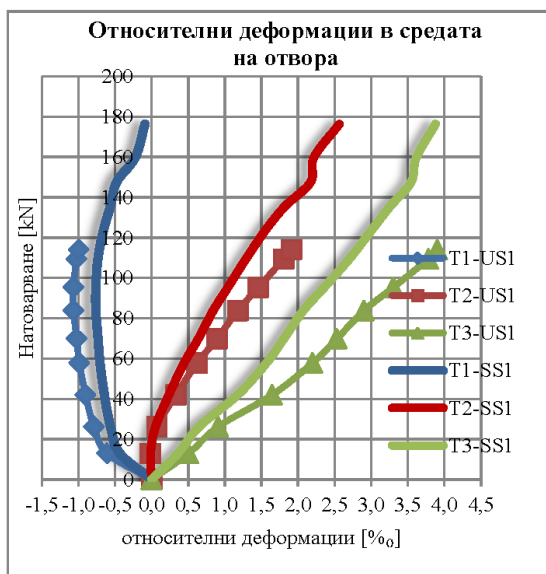


Фиг. 4. Схема за усиляне на експерименталния модел

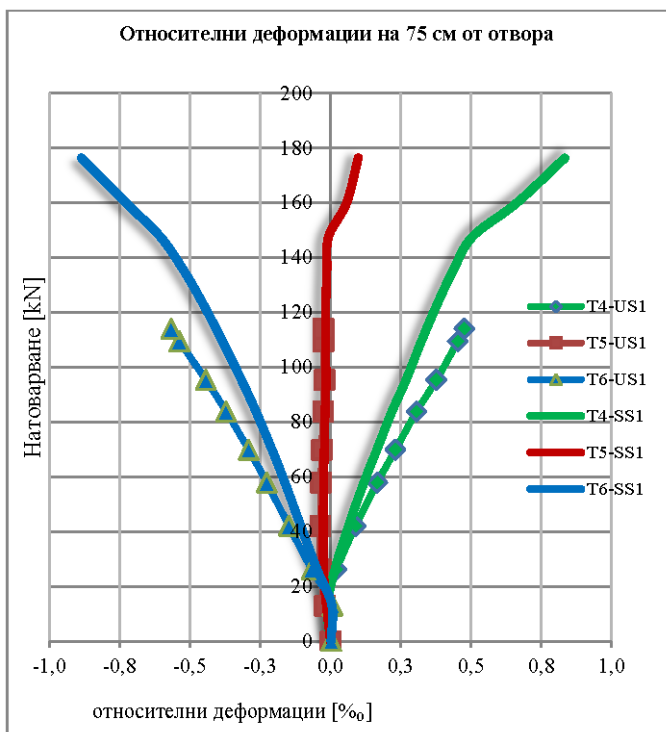
В) Съпоставка на получените резултати от усилен и неусилен елемент

За Образец 1 при сила от 176,3 kN част от усилящия плат се разлепва поради нормални пукнатини в зоната около концентрираната сила. Разлепването на усилящата система е една от най-честите форми на разрушение за тези елементи. Максималното преместване в средата на отвора при сила от 176,3 kN е 7,23 mm, което е по-малко от допустимото.

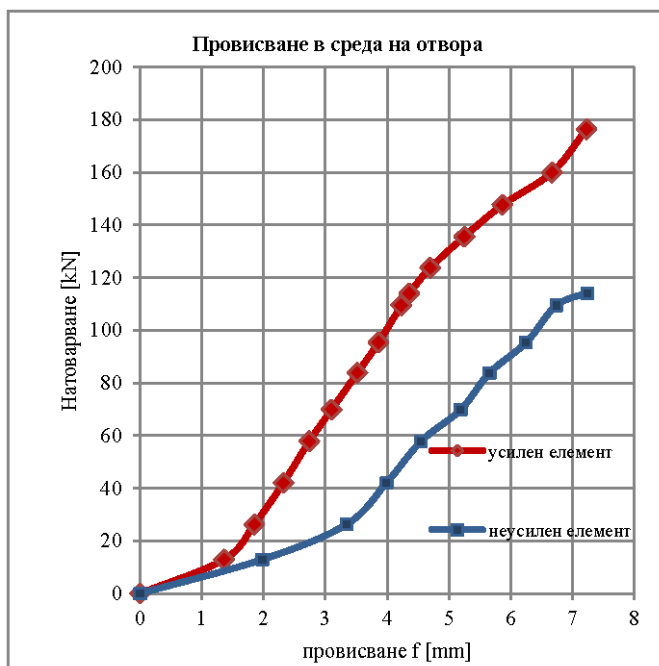
Фиг. 5, фиг. 6, фиг. 7 и фиг. 8 правят сравнение на данните, получени от изпитването на усилен и неусилен елемент.



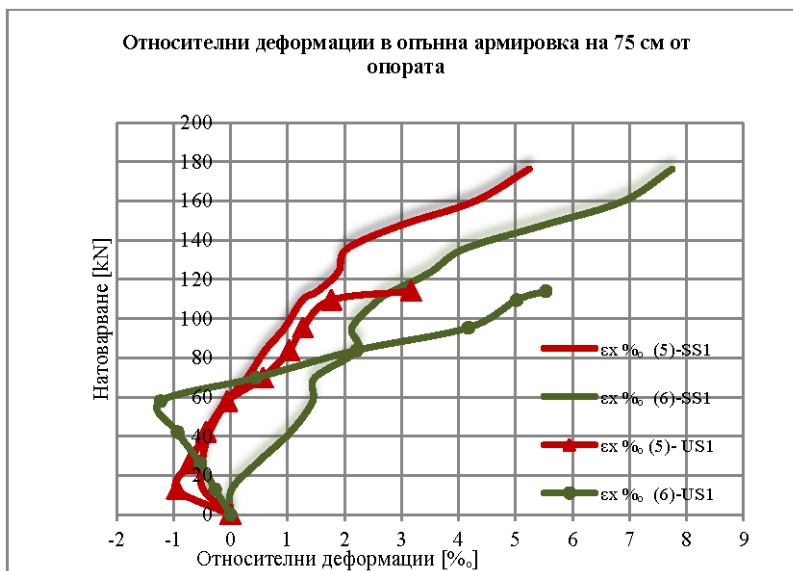
Фиг. 5. Относителни деформации в бетона – US – неусилен елемент; SS – усилен елемент



Фиг. 6. Относителни деформации в бетона – US – неусилен елемент; SS – усилен елемент



Фиг. 7. Общи деформации в средата на отвора



**Фиг. 8. Относителни деформации в армировката –
US – неусилен елемент; SS – усилен елемент**

Изводи от направеното експериментално изследване

- Подбраната усиляваща система успява да увеличи първоначалната носеща способност на елемента.
- Усиляващата система намалява общите деформации в елемента с около 40%.
- Стремената от CFRP плат имат принос в увеличаването на носещата способност на срязване, а също и подпомагат работата на усиляващата система, като ѝ осигуряват закотвяне.
- Стремената от CFRP плат ограничават напречните деформации в бетона, т.е. имат принос в поемането на натисковото усилие в елемента.
- Наблюдава се развитието на нормална пукнатина в зона около едното стреме (съседно на централното), като следствие от това се получава частично разлепване в тази зона, което според класификацията на начините на разрушение на усилен с FRP елементи, попада в групата на разрушения, при които няма пълна съвместна работа между бетон и FRP и възниква разлепяне и преждевременна форма на разрушение [6].
- При първоначалните степени на натоварване горният ръб на сечението на 75 cm от опората е натиснато, поради подаване на опора и преобладаващото натисково усилие.
- Изследванията на подобни проблеми имат важно практическо и теоретично приложение в подобряването на изчислителните и теоретични процедури за усиляващите системи от композитни материали.
- Поради спецификата на елемента и неговата криволинейна форма, избраната усиляваща система е най-лесно приложима и ефективна, тъй като конвенционалните методи се нуждаят от специално приспособяване към кривината.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-80/2015 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

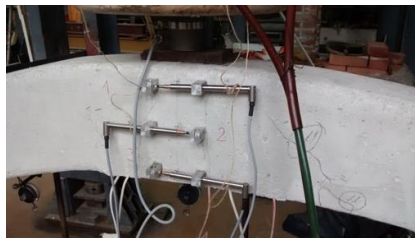
ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang, Xu, Wang, P. et al. CFRP strengthening reinforced concrete arches: Strengthening methods and experimental studies.
2. Абдулахад, Е., Христов, П., Паничков, Д. Напрегнато и деформирано състояние на дефектирала стоманобетонна греда с плочогредово сечение, усилена с карбонови нишки. 2009.
3. Абдулахад, Е., Спасов, Св. Усилване на огъване с FRP на стоманобетонна греда, изпълнена от нисък клас бетон.
4. Димов, Д. Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове. 2010.
5. Паничков, Д. Обследване и изпитване на строителните конструкции и съоръжения. 2001.
6. Русев, К. Стоманобетон НПСБК-ЕС2. 2010.
7. Спасов, Св. Усилване на стоманобетонна плочогредова греда с използване на надлъжни и напречни ивици или анкери от FRP.
8. Трайкова, М., Чардакова, Т. Избрани теми по избираема дисциплина „Диагностика, възстановяване и усиление на сгради“.
9. Христов, П., Абдулахад, Е., Паничков, Д. Експериментално изследване на стоманобетонни греди, подложени на дълготрайното въздействие на агресивни среди, характерна за селскостопански сгради, усиление с въглеродни нишки.

Приложение – снимки



Разположение на измерителните уреди



Пукнатини в средна зона



Шпакловка и разчертаване преди усиление



Усилен елемент



Зона на разлепване на усилващата система



Разположение на измерителните уреди

STRENGTHENING THE REINFORCED CONCRETE ARCH WITH CFRP

J. Tsenkova¹, F. Rangelova², M. Traykova³, E. Abdulahad⁴

Keywords: RC arch, strengthening, CFRP

ABSTRACT

The specific curved shape of a reinforced concrete (RC) arch needs to be examined with specific approaches to increase bearing capacity. The choice of a strengthening system of such elements is two-sided, due to the change of the compression and the tensile zone along the length of the element. For this purpose a RC arch has been prepared and loaded up to the first sign of failure, after which it is strengthened bilaterally with a CFRP system only in the tensile zones of the section, and then it is loaded again until the debonding of the strengthening system.

¹ Jolina Cenkova, Eng., Dept. "Construction Management and Economics", UACEG, 1 Hristo Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: jolina_cenkova@abv.bg

² Fantina Rangelova, Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Management and Economics", UACEG, 1 Hristo Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: fantina_fce@uacg.bg

³ Marina Traykova, Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 Hristo Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: marina5261@abv.bg

⁴ Emad Abdulahad, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 Hristo Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: geogosing@gmail.com