



Получена: 11.06.2020 г.

Приета: 01.07.2020 г.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА СУПЕР ВИСОКОЯКОСТНИ БЕТОНИ (СВЯБ) ЗА УСИЛВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ ГРЕДИ – РЕЗУЛТАТИ ОТ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

М. Трайкова¹, Е. Абдулахад²

Ключови думи: супер високоякостни бетони, усилване, стоманобетонни греди

РЕЗЮМЕ

Съвременните конструктивни решения при възстановяване и усилване на сгради и съоръжения, както и философията на устойчивото строителство са пряко свързани с използването на високотехнологични строителни материали. Традиционното усилване със стоманобетонен кожух внася значително собствено тегло в конструкцията, което поражда редица проблеми с фундирането и поемането на сеизмичните сили. СВЯБ дават алтернатива за повишаване на капацитета на гредите при значително намаляване на допълнителните товари върху конструкцията. Целта на изследването и експеримента е да се покажат широките възможности на СВЯБ за усилване на разнообразни конструктивни елементи. Статията описва и анализира резултатите от експерименталното изследване на поведението на 2 броя стоманобетонни греди, усилени с 5 cm доливка от СВЯБ в натискватата зона – преди и след усилването.

1. Въведение

Съвременните конструктивни решения при възстановяване и усилване на сгради и съоръжения, както и философията на устойчивото строителство са пряко свързани с използването на високотехнологични строителни материали [3].

Един съвременен материал за усилване са влакнесто армираните композитни материали или т.нар. супервисокоякостен бетон (СВЯБ). СВЯБ, който представлява отно-

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

² Емад Абдулахад, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgosing@gmail.com

сително нов за България конструктивен композитен материал, е намерил вече широко приложение в редица страни, както при нови решения, така и при усилване и възстановяване на сгради и съоръжения. В България тези предизвикателства се мултиплицират от необходимостта за осигуряване на конструкциите на земетръсни въздействия, поради което често решенията с конвенционални материали и технологии се оказват неудачни или недостатъчни.

Усилените със СВЯБ конструкции и конструктивни елементи са все още в процес на изследване и мониторинг. Налице са редица теоретични и експериментални изследвания за усилване на стоманобетонни греди [5] и колони и зидове, налице са и реални практически приложения – Великобритания, Швейцария, Франция, Япония и т.н. В условията на българската строителна практика категорично липсват както експерименти, така и реално изпълнени усилвания на конструктивни елементи със СВЯБ. Опитът на национално ниво е основно в областта на оптимизацията на състава в лабораторни условия [1, 2]. Поради относително по-високата му себестойност, неговото приложение в условията на българската практика за ново строителство би било в момента затруднено, но приложението на СВЯБ за възстановяване и усилване на сгради и съоръжения е разумно и целесъобразно, разбира се при задължително провеждане на експерименти в национални условия за конкретното му прилагане. Необходимо е да се преодолеят редица предизвикателства, свързани със състава и технологията на изготвяне и монтиране на елементи СВЯБ или на полагането му in-situ. Нужно е да се разработи национална нормативната база (препоръки за проектиране) и/или да се адаптират съществуващи препоръки към особеностите на СВЯБ в български условия, като например [6], тъй като правилата и препоръките на [4] не могат да се прилагат директно за този тип материали.

Целта на изследването и експеримента е да се покажат широките възможности на СВЯБ за усилване на конструктивни елементи. Идеята на предлаганото усилване е: при съществуващи стоманобетонни греди усилването да стане чрез замяна на стандартния бетон за кожата с 50 mm слой от СВЯБ в натисквата зона. Традиционното усилване със стоманобетонен кожух внася значително собствено тегло в конструкцията, което поражда редица проблеми с фундирането и поемането на сеизмичните сили.

2. Описание на образците и опитната постановка

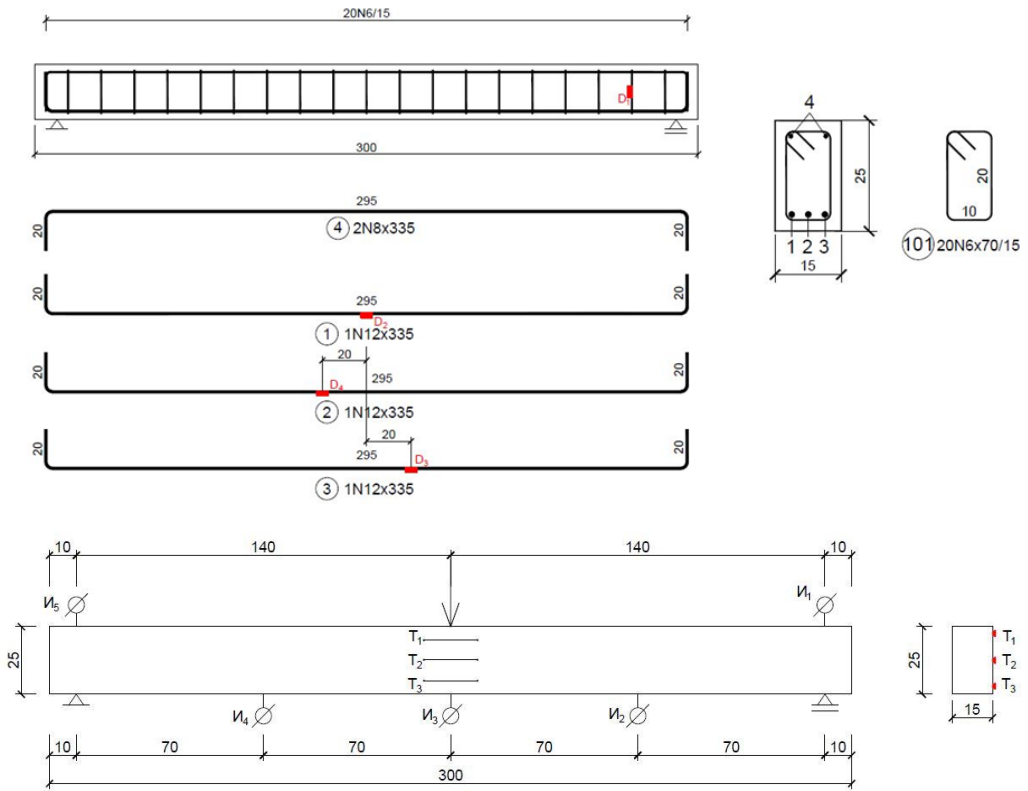
Опитните греди са изработени от бетон клас С 16/20 и стомана В500 – за надлъжната армировка и В235 – за напречната армировка. Статическата схема на опитните образци е проста греда (фиг. 1). Гредите се натоварват с концентрирана сила в средата на отвора им (фиг. 2). Изследването на стоманобетонните греди преди усилването, натоварени с концентриран товар в средата на отвора, е реализирано в лабораторни условия до достигане на носещата способност. След усилването гредите отново са със същата схема на натоварване, но са изпитани до достигане на първи признак на разрушение.

За оптимизиране на състава на СВЯБ предварително са направени 4 различни пробни замеса, от които бяха взети и изпитани опитни образци (кубчета и гредички). Достигната е якост на натиск на бетона над 140 МПа.

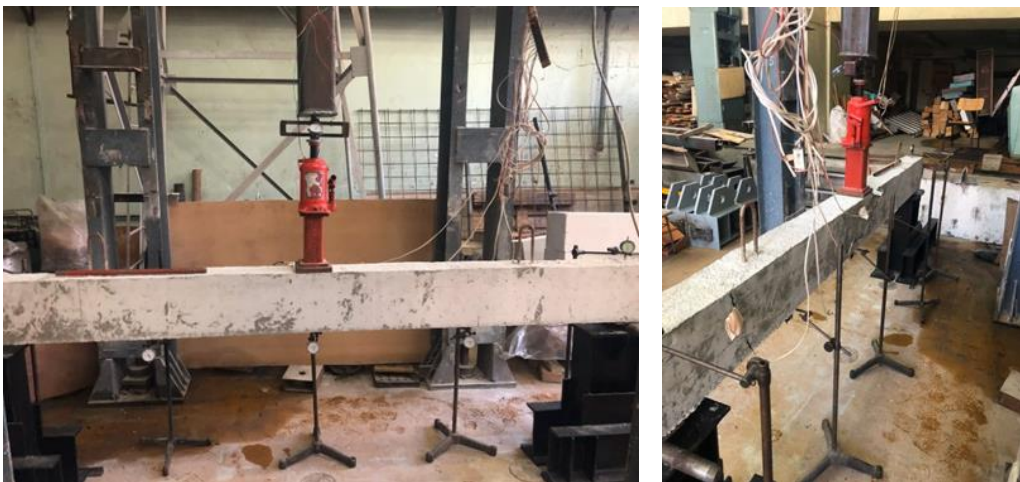
3. Измервателна апаратура и провеждане на експеримента

Експерименталната постановка за изпитване на неусилените греди е показана на фиг. 2, а за усилените – на фиг. 3. Разположението на измервателната апаратура е пока-

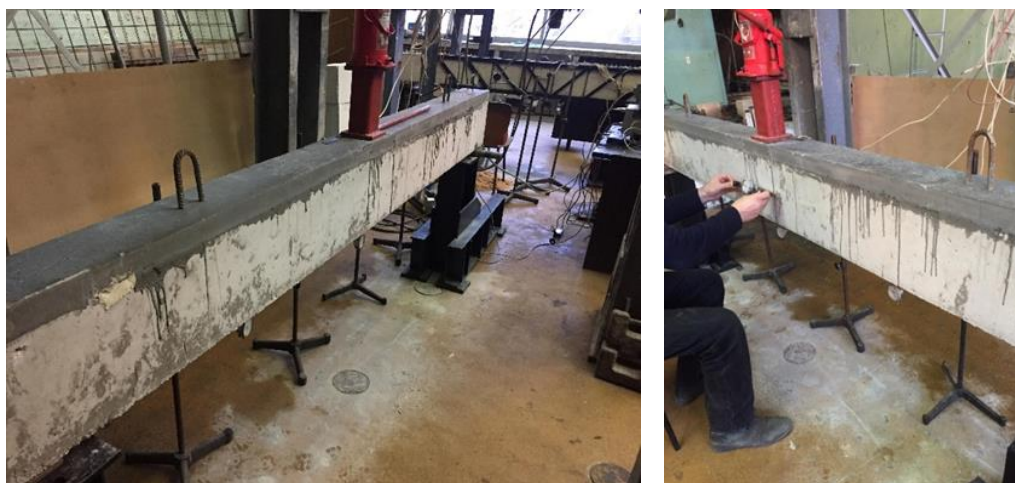
зано на фиг. 1. По време на експеримента, и за двата образца, бяха измервани както преместванията (провисванията), така и относителните деформации.



Фиг. 1. Статическа схема и разположение на измервателната апаратура



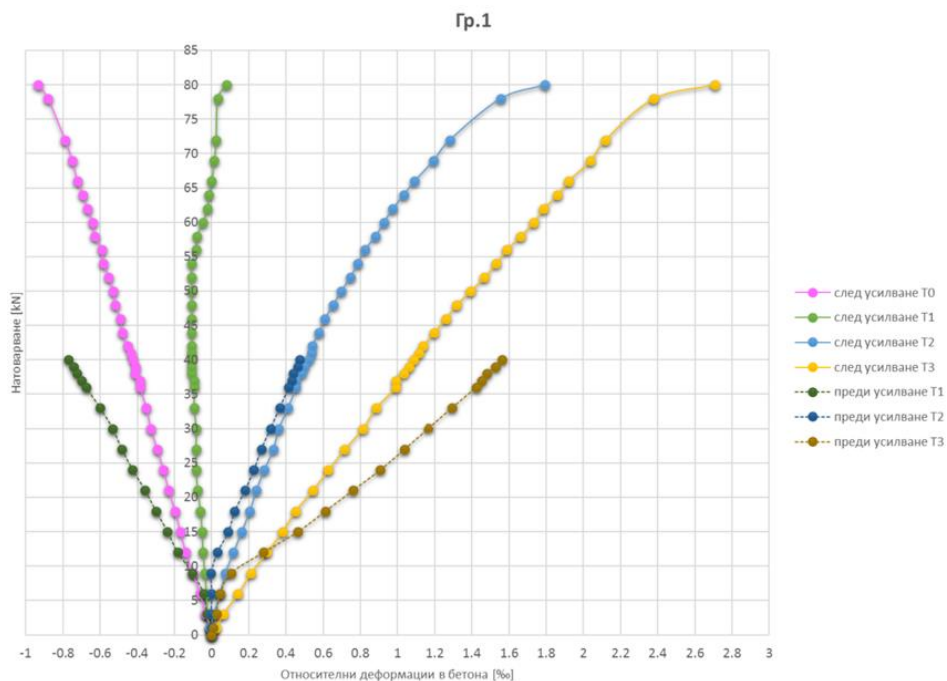
Фиг. 2. Опитна постановка при изпитване на неусилените греди



Фиг. 3. Опитна постановка при изпитване на усилените греди

За относителните деформации на бетона е използван деформометър на Хугенбергер, означен на схемата с T_i . Относителните деформации в носещата армировка се отчитат посредством електро-съпротивителни деформоприемници D_i . Общите деформации се измерват чрез часовникови индикатори I_i .

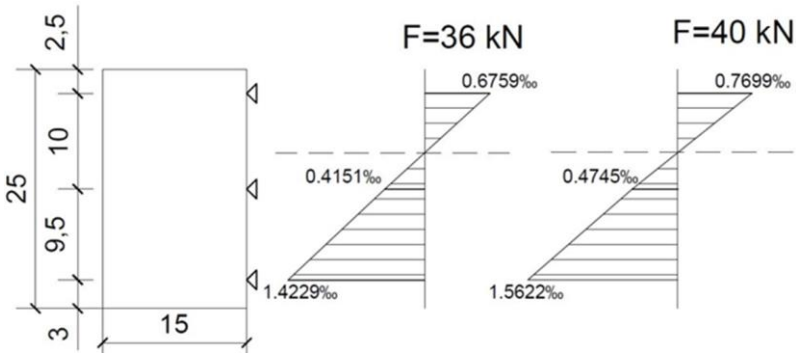
4. Резултати и анализ на резултатите



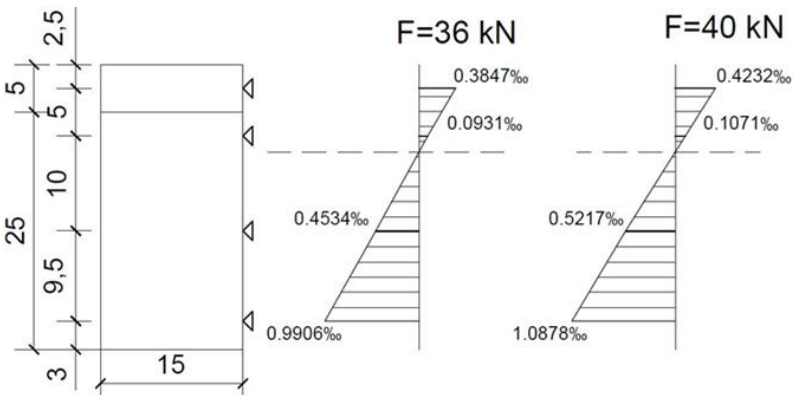
Фиг. 4. Относителни деформации в бетона при неусилена и усилена греда

Въз основа на проведенния експеримент бяха построени някои основни графики, даващи изменението на изследваните параметри (резултатите са за Гр. 1) [1, 3]:

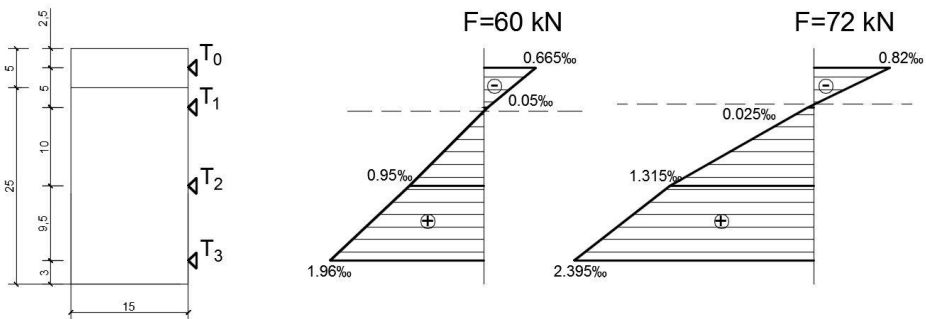
- относителни деформации в бетона при неусилена и усилена греда (фиг. 4);
- относителни деформации в бетона при неусилена и усилена греда по височина на напречното сечение при различни степени на натоварване (фиг. 5÷7);
- относителни деформации в армировката при неусилена и усилена греда (фиг. 8÷10).



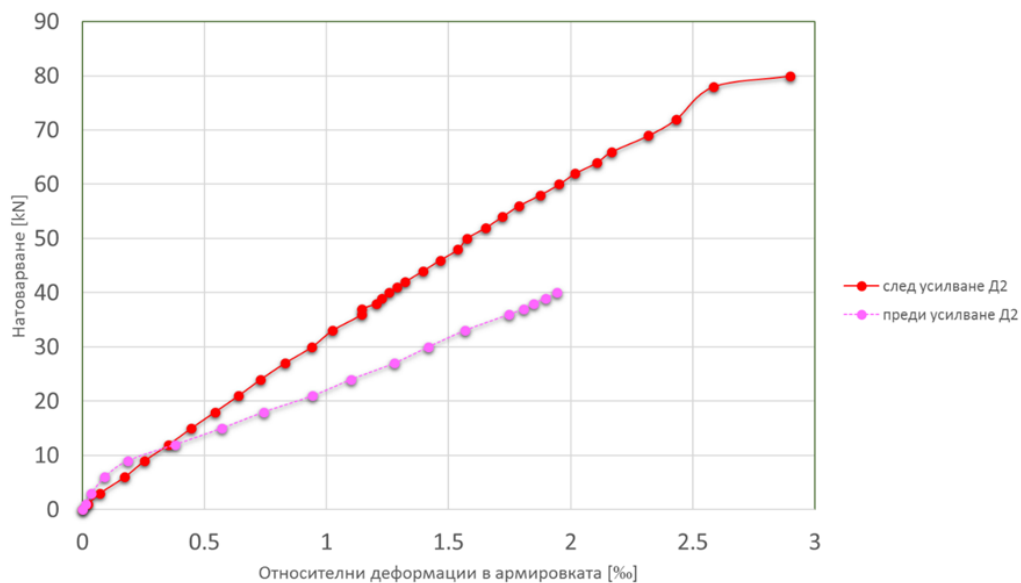
Фиг. 5. Деформации в бетона при неусилена греда



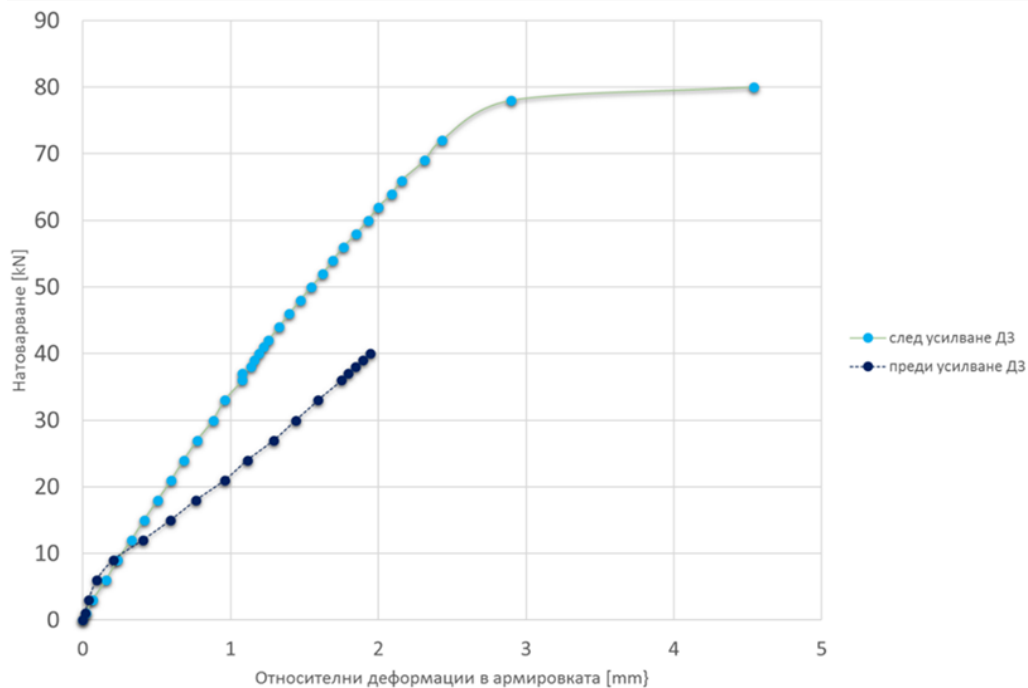
Фиг. 6. Деформации в бетона при усилена греда



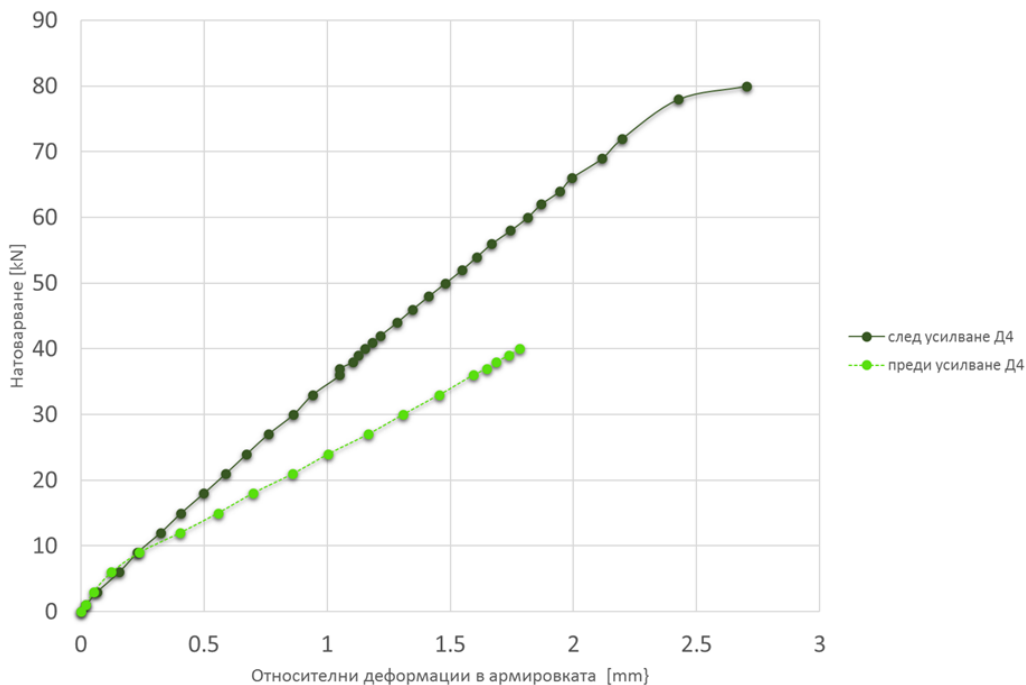
Фиг. 7. Деформации в бетона при усилена греда



Фиг. 8. Сравнение на относителните деформации в армировката при неусилена и усилена греда – Д2



Фиг. 9. Сравнение на относителните деформации в армировката при неусилена и усилена греда – Д3



Фиг. 10. Сравнение на относителните деформации в армировката при неусилена и усилена греда – Д4

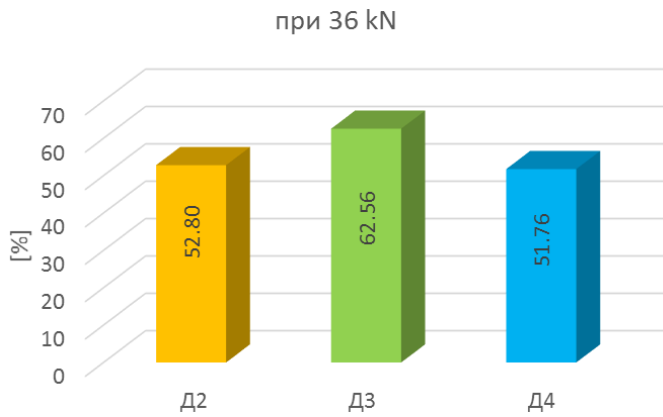
На фиг. 11 е дадено сравнението на относителните деформации в армировката на Гр. 1.

Отн. деф.	преди усилване			след усилване		
	Д2	Д3	Д4	Д2	Д3	Д4
ε_{36}	1.748	1.754	1.595	1.144	1.079	1.051
ε_{40}	1.943	1.943	1.78	1.256	1.191	1.154
ε_{60}	-	-	-	1.953	1.93	1.813
ε_{72}	-	-	-	2.432	2.428	2.197

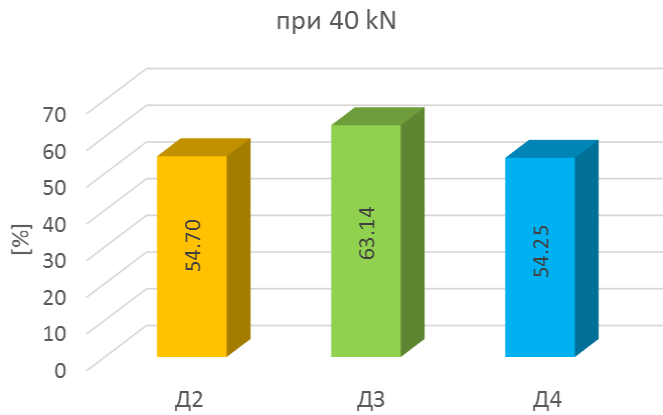
Фиг. 11. Сравнение на относителните деформации в армировката при натоварване със сила $F = 36 \text{ kN}$, $F = 40 \text{ kN}$

Фигурите 12 и 13 дават процентното намаляване на относителните деформации в армировката в Гр. 1 след усилването.

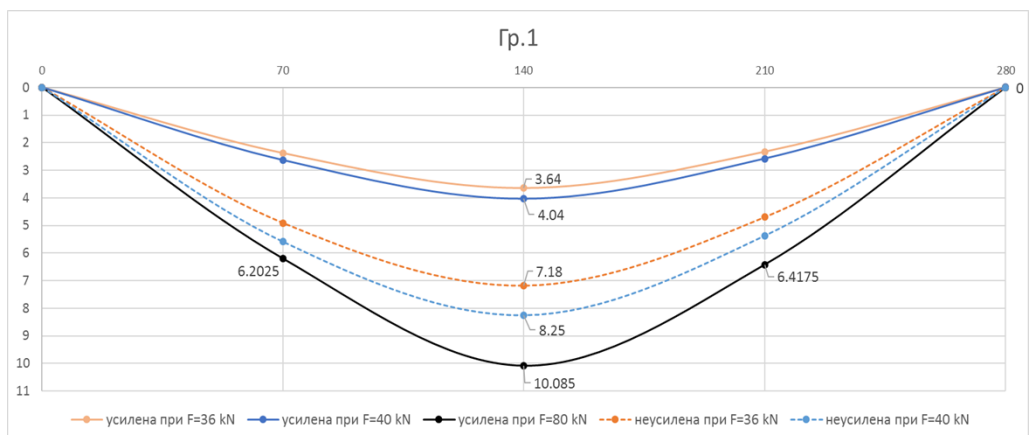
При натоварване с концентрирана сила $F = 72 \text{ kN}$ на усилената греда се забелязва отваряне на пукнатина с широчина над $0,3 \text{ mm}$. При следващата степен на натоварването настъпва провлачането на армировката. Пукнатина с широчина над $0,3 \text{ mm}$ и провлачането на армировката са признаци на разрушение на гредата.



Фиг. 12. Процентно намаляване на относителните деформации в армировката в усилената греда при натоварване със сила $F = 36$ kN



Фиг. 13. Процентно намаляване на относителните деформации в армировката в усилената греда при натоварване със сила $F = 40$ kN



Фиг. 14. Сравнение на провисването на неусилената и усилената греда при натоварване със сила $F = 36$ kN, $F = 40$ kN, $F = 72$ kN

Проведеното изследване на Гр. 2 е напълно идентично. За по-голяма прегледност резултатите за нея са дадени в табличен вид (фиг. 15, 16, 17).

уред \ kN	преди усилване		след усилване		
	36	40	36	40	64
относ.деф [%]	ε_s	ε_s	ε_s	ε_s	ε_s
T ₀	-	-	-0.365	-0.405	-0.62
T ₁	-0.68	-0.76	0.145	0.17	0.395
T ₂	1.125	1.255	1.085	1.22	1.945
T ₃	1.9	2.13	1.175	1.32	2.27

Фиг. 15. Сравнение на относителните деформации в бетона при натоварване със сила $F = 36 \text{ kN}$, $F = 40 \text{ kN}$

уреди \ kN	преди усилване		след усилване		
	36	40	36	40	64
относ.деф [%]	e_s	e_s	e_s	e_s	e_s
D ₂	1.898	2.108	1.252	1.402	2.357
D ₄	1.833	2.029	1.163	1.307	2.233

Фиг. 16. Сравнение на относителните деформации в армивката при натоварване със сила $F = 36 \text{ kN}$, $F = 40 \text{ kN}$

Товар[kN] \ Провисване	преди усилване		след усилване		
	36	40	36	40	64
f[mm]	9.435	10.635	4.285	4.86	8.605

Фиг. 17. Сравнение на провисването при натоварване със сила $F = 36 \text{ kN}$, $F = 40 \text{ kN}$

За теоретичното изследване на гредите (определяне на носеща способност, коравина, деформации) са ползвани постановките на [4] и [6]. Налице е относително добро сходство на резултатите от експеримента и теоретичното изчисление.

Първата пукнатина при неусилената греда се появява при натоварване от концентрирана сила $F = 12 \text{ kN}$. При следваща степен от $F = 24 \text{ kN}$ пукнатините достигат ширина до $0,05 \text{ mm}$. При $F = 36 \text{ kN}$ широчината е $0,15 \text{ mm}$. При максимално достигнатия товар от $F = 40 \text{ kN}$ се наблюдават пукнатини с широчина $0,25 \text{ mm}$.

Първата пукнатина при усилената греда се отваря при натоварване от концентрирана сила $F = 15 \text{ kN}$ и е с широчина $0,05 \text{ mm}$. При реализиране на натоварване до $F = 40 \text{ kN}$ няма новопоявили се пукнатини спрямо неусилената греда, като широчината на предходните е $0,15 \text{ mm}$. При следващите степени се появяват нови пукнатини като при сила $F = 64 \text{ kN}$ широчината им достига $0,3 \text{ mm}$.

5. Изводи и препоръки

1. Относителните деформации в бетона в опънната зона при ТЗ на усилената Гр. 1 се намаляват с 30% спрямо неусилената греда при натоварване с концентрирана сила $F = 36 \text{ kN}$ и $F = 40 \text{ kN}$. (фиг. 5, 6), а при гредата 2 около 38% (фиг. 15).

2. Относителните деформации в бетона в натисквата зона при Т1 на усилената греда 1 при сравнение на същия уред без усиление многократно намаляват. Това се дължи от една страна на увеличаването на височината на гредата и от друга страна на високостните характеристики на бетона от доливката (фиг. 5, 6). А при гредата 2 за същия уред относителните деформации преминават в опънната зона (фиг. 15).

3. Относителните деформации в носещата армировка на гредата 1 и 2 се намаляват в диапазон на отделните пръти от 50 – 63% при натоварване с концентрирана сила $F = 36 \text{ kN}$ и $F = 40 \text{ kN}$ (фиг. 12, 13, 16).

4. Относителните деформации в бетона и армировка в усилените греди 1 и 2 намаляват при всички степени на натоварване в сравнение със същите при неусилените греди (фиг. 7, 8, 9, 16).

5. Провисването при усилената греда спрямо неусилената се намалява около 2 пъти при натоварване с концентрирана сила $F = 36 \text{ kN}$ и $F = 40 \text{ kN}$ и при двете греди (фиг. 14, 17).

6. Провлачването на армировка при усилената Гр. 1 настъпва при товар над $F = 72 \text{ kN}$, докато при усилената Гр. 2 то настъпва при товар над $F = 64 \text{ kN}$.

7. Приетата методика за усиление е подходяща за увеличаване на носимоспособността и коравината на стоманобетонни греди. При изпълнение на усиление със СВЯБ трябва да се държи сметка за проектирането на състава, транспорта и полагането на сместа, като се вземат предвид всички специфични особености на материала, както и условията на околната среда (температура, влажност).

8. Прилагането на СВЯБ може значително да подобри поведението на стоманобетонните греди. Бъдещите изследвания трябва да се насочат към оптимизиране на състава на СВЯБ, съобразно националните условия, отчитане на ефектите от съсъхване, подобряване на техниката за полагане, усъвършенстване на механизмите на контакт между усилян елемент и усиливащ материал.

Благодарности

Авторите изказват своята благодарност на ЦНИП при УАСГ за финансирането на научноизследователската разработка по договор БН-206/18, част от чиято експериментална програма са и представените лабораторни тестове на стоманобетонните греди.

Авторите изказват своите специални благодарности на фирма „Хидробетон“, гр. София и г-н Росен Николов. Всички пробни замеси бяха реализирани безвъзмездно от фирмата. Освен с осигуряване на необходимите материали и техника, специалисти от „Хидробетон“ изготвиха и рецептурния състав на супервисокоякоостния бетон и извършиха доставката и полагането му.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Захариева, Р., Назърски, Д.* Супер-високоякостни бетони и възможности за приложението им в България. Първа научно-приложна конференция „Управление в строителството“, УАСГ, декември 2014, стр. 333-340, ISSN 2367-6752.
2. *Манолова, Е.* Дисертация. Изследване влиянието на рецептурни и технологични фактори върху механичните свойства на супервисокоякостните бетони, УАСГ, април 2014, София.
3. *Трайкова, М.* Въстановяване и усилване на сгради – проблеми, конструктивни решения и препоръки. Амадеус Принт, 2014, ISBN 978-954-9897-40-1.
4. БДС EN 1992-1-1, Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.
5. *Lampropoulos, A., Paschalis, S., Tsioulou, O., Dritsos, S.* Strengthening of existing reinforced concrete beams using ultra high performance fibre reinforced concrete, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting IV-Dehn et al. (Eds), 2016, ISBN 978-1-138-02843-2.
6. Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concrete – Recommendations, AFGC, France, June 2013.

OPPORTUNITIES FOR APPLICATION OF ULTRA HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE (UHPFRC) FOR STRENGTHENING CONCRETE BEAMS – RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH

M. Traykova¹, E. Abdulahad²

Keywords: UHPFRC, strengthening, reinforced concrete beams

ABSTRACT

Contemporary design solutions for rehabilitation and strengthening structures, as well as the philosophy of sustainable construction are directly related to the use of high-performance building materials. Traditional strengthening with a reinforced concrete jacket carries a considerable amount of its self-weight in the structure, which causes a number of problems with the seismic forces and the foundations. UHPFRC provides an alternative for increasing the capacity of the beams while significantly reducing the additional loads on the structure. The purpose of the research and the experiment is to demonstrate the vast capabilities of UHPFRC for strengthening of structural elements. The paper describes and analyzes the results of an experimental study of the behavior of 2 reinforced concrete beams strengthened with 5 cm of UHPFRC in the compressive zone – before and after strengthening.

¹ Marina Traykova, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: marina5261@abv.bg

² Emad Abdulahad, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: georgosing@gmail.com