



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580313](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580313)

Получена: 13.06.2025 г.

Приета: 27.06.2025 г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННА МОСТОВА ГРЕДА, УСИЛЕНА С ВИСОКОЯКОСТЕН БЕТОН

Е. Абдулахад¹, В. Стоилова², Д. Недялков³

Ключови думи: високоякостен бетон, експериментално изследване, усилване, стоманобетонни мостови греди

РЕЗЮМЕ

При мостовете са налице редица фактори, които водят до влошаване на тяхното състояние, нарушаване на експлоатационната им годност и застрашаване на тяхната сигурност и надеждност. С цел да се осигури нормалното им функциониране и да се удължи животът на мостовите съоръжения се налага усилване на конструктивните им елементи. Отчитайки особеностите на мостовете и условията, в които се експлоатират, конвенционалните решения за усилване на стоманобетонни елементи често пъти се оказват неефективни и нецелесъобразни. Целта на настоящото проучване е да представи възможността за усилване на стоманобетонни мостови греди със съвременни високоякостни бетони. За целта е проведено експериментално изследване на греда, усилена с високоякостен бетон в опънна и натискава зона. Извършено е сравнение между поведението на гредата преди и след усилване и след циклично натоварване. На базата на получените резултати са изведени заключения за ефективността на този метод на усилване и са направени някои препоръки, свързани с него.

¹ Емад Абдулахад, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgos_fce@uacg.bg

² Виктория Стоилова, докторантка, кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: stoilova_fce@uacg.bg

³ Данаил Недялков, доц. д-р инж., кат. „Индустриални сгради“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dned_far@uacg.bg

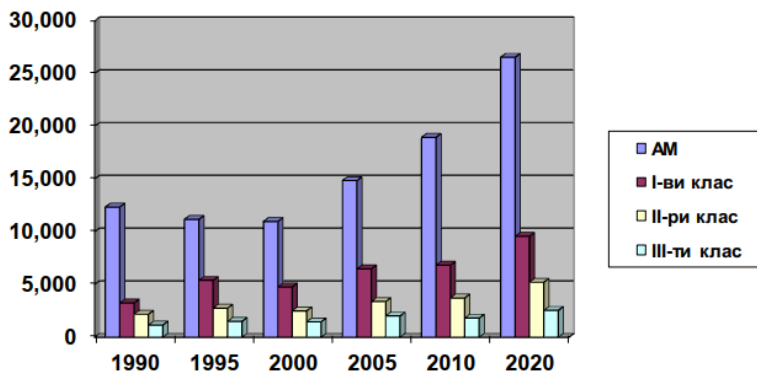
1. Въведение

Мостовите съоръжения са неизменна част от пътната инфраструктура на всяка страна и осигуряването на тяхното нормално и безпроблемно функциониране е ключов фактор за повишаване на стандарта на живот на хората и икономическото развитие. Съгласно системата нормативи Еврокод, действаща в България, мостовете се проектират за експлоатационен срок от 100 години [1]. В този период съоръжението трябва да остане пригодено за нормална експлоатация и да гарантира достатъчна степен на сигурност и надеждност във всеки един момент. С течение на времето обаче се наблюдава влошаване на състоянието на мостовете, причинено от редица фактори.

От една страна, мостовете се експлоатират в агресивна среда и при неблагоприятни условия, което е предпоставка за развитие на различни негативни процеси като карбонизация на бетона и корозия на арматурата. Ако тези проблеми не бъдат установени навреме и съответно не се предприемат подходящи мерки за тяхното отстраняване, в стоманобетонните елементи възникват повреди, които с течение на времето стават по-сериозни и могат да доведат до значителен спад в носещата способност на конструкцията. Редица обследвания на различни мостове в България [2 – 9] свидетелстват за силно влошеното състояние на голяма част от стоманобетонните мостове в страната.

От друга страна, неправилното проектиране и строителство също са фактори, които намаляват експлоатационния живот на мостовете. Дори и да се приеме, че не са направени грешки при проектирането и изпълнението и са спазени всички изисквания на действащата в съответния момент нормативна уредба, качеството на конструкцията зависи от степента на развитие на науката и технологията за дадения момент. Немалка част от стоманобетонните мостове в България са построени до 80-те години на миналия век, когато са се прилагали несъвършени изчислителни предпоставки и конструктивни изисквания, неразвита технология на изпълнение и строителни материали с недобро качество. Ето защо голяма част от тези съоръжения са достигнали своя капацитет много преди изтичане на експлоатационния им срок на годност [10].

И не на последно място, голям проблем при мостовите съоръжения, който може да доведе до нарушаване на нормалното им функциониране, е увеличаването на натоварването. Както в световен мащаб, така и у нас се наблюдава непрекъснато нарастване на пътният трафик (фиг. 1). Дори ако мостът е в добро състояние, той може да не бъде в състояние да понесе съвременното натоварване, което от своя страна да доведе до претоварване и застрашаване на сигурността на конструкцията.



Фиг. 1. Нарастване на пътният трафик в България [11]

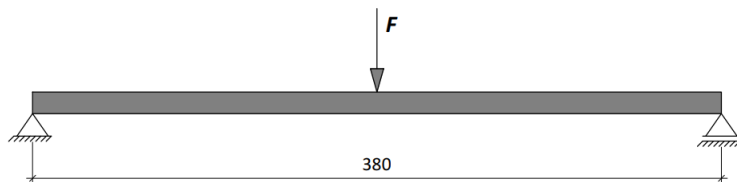
Тези и други причини налагат необходимостта от усилване на конструктивните елементи на мостовете с цел осигуряване на тяхната дълготрайност, надеждност и сигурност през целия им период на експлоатиране. Едни от най-традиционните методи за увеличаване на носещата способност на стоманобетонни елементи е чрез усилващи стоманобетонни слоеве или чрез стоманени елементи. Поради спецификата на мостовите съоръжения обаче тези конвенционални подходи все по-често се оказват недостатъчно ефективни и рационални решения. Например, за да се постигне по-значително повишаване на носещата способност на един стоманобетонен елемент, каквото се изисква при мостовете, трябва да се приложи усилващ стоманобетонен слой с по-голяма дебелина, което не винаги е възможно. Увеличаването на височината на връхната конструкция например може да създаде проблем с осигуряването на подмостовия габарит. Освен това, изпълнението на дебели усилващи слоеве води и до значително повишаване на собственото тегло на елементите, което от своя страна ще се отрази на сеизмичното реагиране на конструкцията – проблем, който не е за подценяване в България. Усилването на мостово съоръжение със стоманени елементи изисква сериозни мерки за защита от корозия, поради агресивните условия, в които се експлоатира. Това обаче може значително да увеличи разходите. Тези и много други фактори налагат необходимостта от търсене на нови, по-ефективни методи за усилване на конструктивните елементи на стоманобетонните мостове.

Едно съвременно решение за усилване на стоманобетонни елементи е чрез усилващи слоеве от армирани с нишки високоякостни разтвори, известни в световната литература като high-performance concrete (HPC) и ultra high-performance concrete (UHPC), а в българската литература като високоякостни бетони (ВЯБ) и супер-високоякостни бетони (СВЯБ) [12, 13]. Те представляват композитен материал на основата на циментов разтвор, който има няколко пъти по-високи якостни характеристики от традиционните бетони. В литературата няма точно приети граници между двата материала, но може да се счита, супер-високоякостните бетони притежават якост на натиск повече от 150 МПа [14, 15].

Подобрените якостни характеристики и експлоатационни свойства на високоякостните бетони се постигат чрез оптимизиране на състава и структурата, намаляване на порьозността и създаване на много плътна матрица [12, 15]. Материалът се характеризира с повишено циментово съдържание и ниско водо-циментово отношение. В състава му влизат още минерални добавки, дребен добавъчен материал (максималният диаметър на зърното обикновено е 0,5 – 1 mm), пластификатори и суперпластификатори и дисперсна армировка от стоманени или полимерни влакна [12, 14 – 17].

Високоякостните бетони са сравнително нов материал, който набира все по-голяма популярност поради доказаните си качества [15, 18]. Материалът се характеризира със значително по-висока якост от традиционните бетони. Това осигурява значително повишаване на носещата способност на усилвания елемент при по-малка дебелина на кожата, което от своя страна обуславя по-малка промяна в габаритните размери на елемента и по-малко добавено тегло към конструкцията [14, 15, 17]. Освен това усилените с високоякостни бетони елементи притежават по-голяма коравина, което подобрява нормалното експлоатиране на мостовете, и значителна дуктилност, което е предимство при поемане на сеизмични въздействия [14, 15]. Материалът се характеризира с по-висока издръжливост на атмосферни влияния, съответно е по-устойчив на температурни промени и цикли на замръзване и размръзване. Освен това, плътната матрица затруднява проникването на въглероден диоксид, хлориди и други агресивни агенти [14, 16]. Високоякостните бетони са самоуплътняващи се и съответно са лесни за полагане и работа [14, 17].

Изпитването се осъществява в лабораторни условия. Статическата схема на гредите е греда на две опори. Гредите се товарят с една концентрирана сила в средата на отвора (фиг. 3).



Фиг. 3. Статическа схема на изпитваната греда

В настоящата статия са представени резултатите за гредата 1. Тя има съществуващи налични пукнатини в опънатата и натисковата зона, някои от които са с широчина, по-голяма от допустимата съгласно Еврокод 2-2 [31].

Експериментът е извършен на два етапа. Първият етап е статично изпитване на гредата до изчислителен товар. Експерименталната постановка на неусилената греда е показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Експериментална постановка на неусилената греда

След това са изпълнени усиляващи слоеве в натисковата и опънатата зона на гредата. В натисковата зона усиляващият слой е с дебелина 3 cm и е армиран с надлъжна армировка 2N8. За осигуряване на връзката между съществуващия бетон и усиляващия слой е извършено награвяване на повърхността, нанесен е материал за адхезия и са изпълнени дюбели. Усиляващият слой в опънатата зона е с дебелина 4 cm и няма допълнителна надлъжна армировка. Връзката между съществуващия бетон и усиляващия слой е осъществена чрез награвяване на повърхността и материал за адхезия.

Усиляващите слоеве са изпълнени с готов разтвор Planitor НРС на фирма MAPEI. Той представлява високоякостен течлив разтвор, съставен от два компонента. Първият компонент представлява прахообразна смес, състояща се от високоякостен цимент, инертни материали и добавки по рецепта, разработена в научноизследователските лаборатории на фирма MAPEI. Сухият компонент се смесва със стоманени фибри (втория компонент), като масата им е 6,5 % от масата на сухата смес. Към двата компонента се добавят 12 – 12,8 литра вода на всеки 100 kg суха смес. Приготвянето на разтвора е извършено съгласно предписанията на фирмата производител [32].

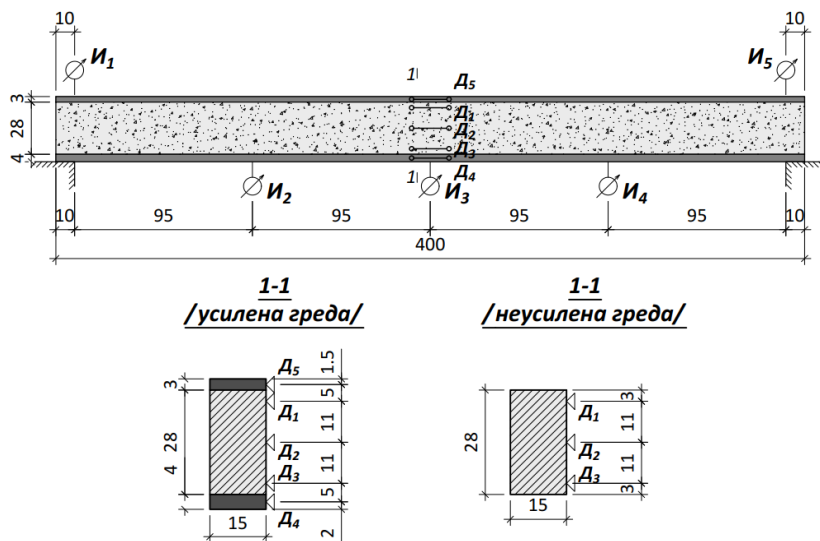
След изпитване на пробни тела е установена средна кубова якост на натиск на високоякостния бетон 112 МРа в натисковата зона и 134 МРа в опънната зона. При втория етап на експеримента първо е направено статично изпитване на усилената греда до същите нива на натоварване, както преди усиляването. След това гредата е подложена на циклично натоварване от 50 000 цикъла. Накрая гредата е натоварена статично до разрушение. Експериментална постановка на усилената греда е показана на фиг. 5.



Фиг. 5. Експериментална постановка на усилената греда

Характеристичната и изчислителната стойност на силата са изчислени съгласно методологията, изложена в Еврокод [1, 31, 33] за ненапукано сечение. Характеристичната стойност на силата е 32,68 kN, а изчислителната стойност – 49,02 kN.

3. Измервателна апаратура



Фиг. 6. Разположение на измервателните уреди

И в двата етапа на експерименталното изследване са извършени измервания на провисванията и на относителните деформации в бетона по височина на сечението в средата на отвора на гредата. Разположението на измервателните уреди е показано на фиг. 6. Вертикалните премествания се измерват посредством часовникови индикатори в пет сечения, означени с I_i на фигурата. Относителните деформации в бетона се измерват посредством индуктивни датчици (LVDT) – три броя за неусилената греда (D_1 - D_3) и пет – за усилената греда (D_1 - D_5), означени с D_i на фигурата. Натоварването се контролира с помощта на месдоза.

4. Резултати от експерименталното изследване

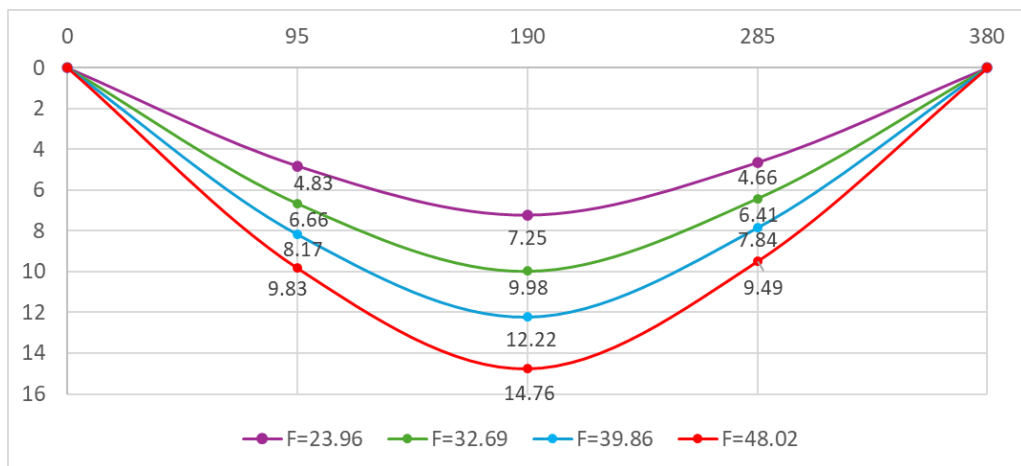
В резултат на проведените експериментални изследвания са построени различни графики за провисванията и относителните деформации в бетона за неусилената и усилената греда. Направена е съпоставка между резултатите преди и след усилване, за да се изведе заключение за ефективността на избрания метод на усилване. При последното изпитване гредата се товари до пълно разрушение, което настъпва при сила 78,58 kN. При натоварване около 62 kN широчината на пукнатините достига максимално допустимата стойност от 0,3 mm съгласно Еврокод 2-2 [31]. При следващи степени на натоварване се наблюдава увеличаване на широчината на пукнатините. При товар от 69 kN се появява хоризонтална пукнатина в работната фуга между гредата и усилващия слой в опънната зона, свидетелстваща за нарушена връзка между двата материала. При следващите степени на натоварване пукнатината в усилващия слой се свързва посредством хоризонталната пукнатина в работната фуга с пукнатините в гредата до достигане на пълно разрушение при сила 78,58 kN (фиг. 7).



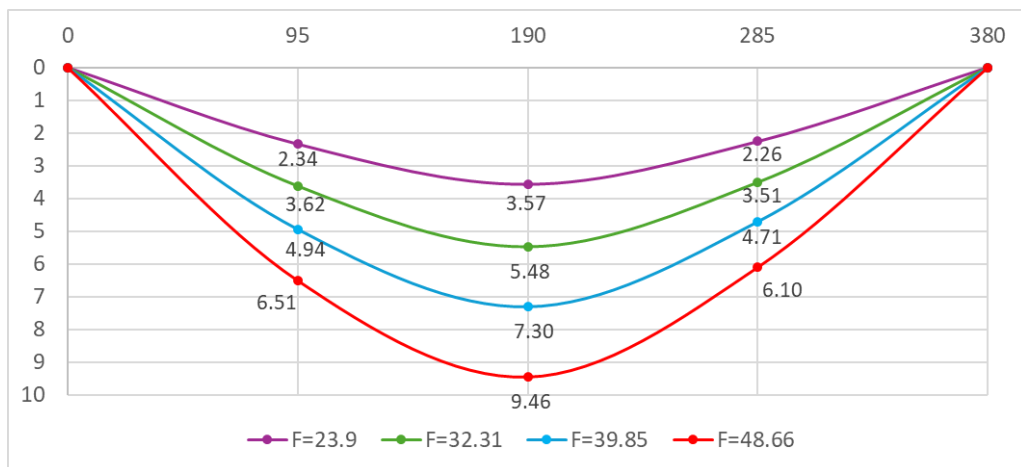
Фиг. 7. Разрушение на гредата

4.1. Провисвания

На фиг. 8 са показани провисванията на неусилената греда при няколко степени на натоварване. На фиг. 9 са представени провисванията на усилената греда при същите товари.



Фиг. 8. Провисвания на неусилената греда

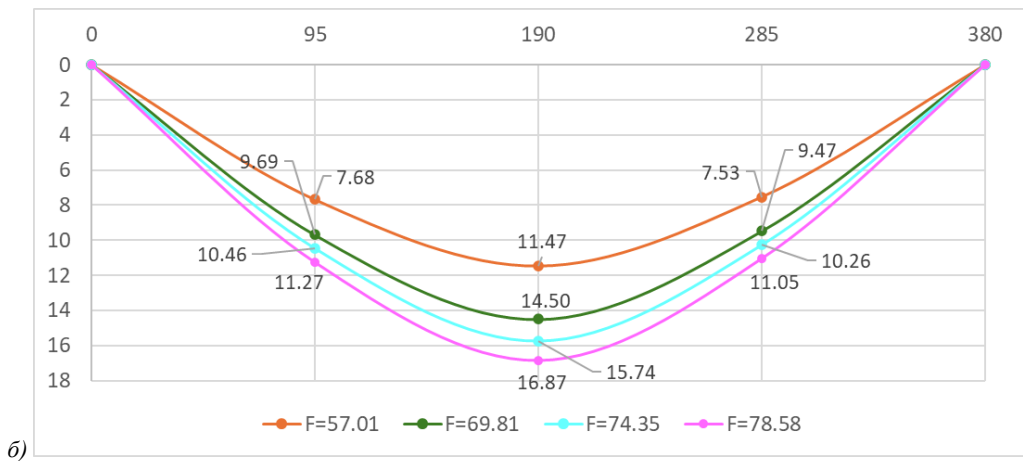
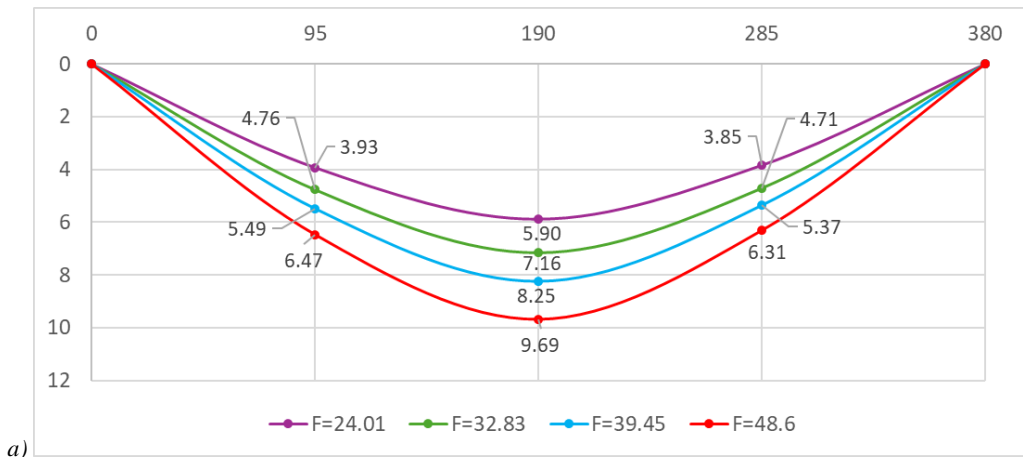


Фиг. 9. Провисвания на усилената греда

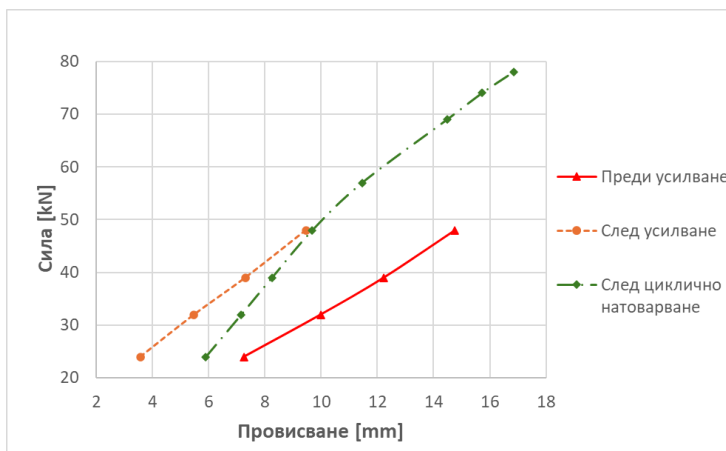
Допустимото провисване на гредата съгласно Еврокод 2 [31, 33] е 15,2 mm. Тази стойност не се достига при неусилената греда. За усилената греда гранично провисване се достига при сила около 72 kN, малко преди разрушение.

Фиг. 10а показва провисванията на усилената греда след циклично натоварване при същите степени на натоварване, а на фиг. 10б са представени провисванията на усилената греда след циклично натоварване при по-големи товари до достигане на разрушителния товар. Трябва да се отбележи, че преди извършване на цикличното натоварване са констатирани значително остатъчно провисване – 2,76 mm в средата и 1,85 mm при втори и четвърти индикатор. Дадените резултати след цикличното натоварване са с отчетени остатъчни деформации.

На фиг. 11 е представено сравнение между провисванията в средата на отвора на гредата при трите изпитвания. Табл. 1 представя процентната разлика между тях.



Фиг. 10. Провисвания в усилената греда след циклично натоварване
a) до сила $F = 48 \text{ kN}$ и б) до разрушителна сила $F = 78 \text{ kN}$



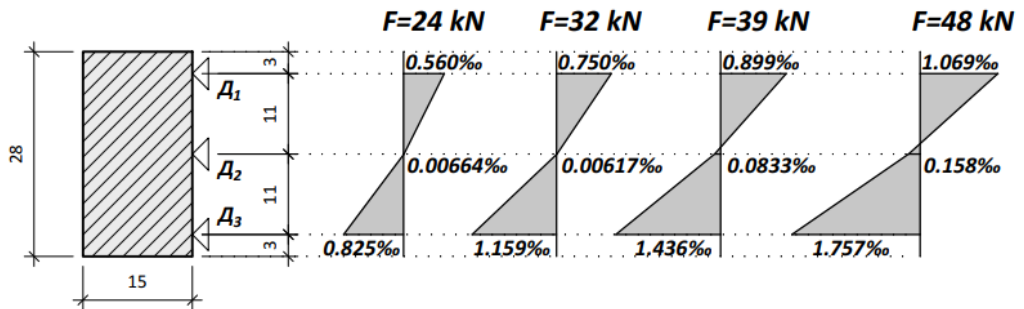
Фиг. 11. Провисвания в средата на отвора на гредата

Таблица 1. Процентна разлика между провисванията в гредата

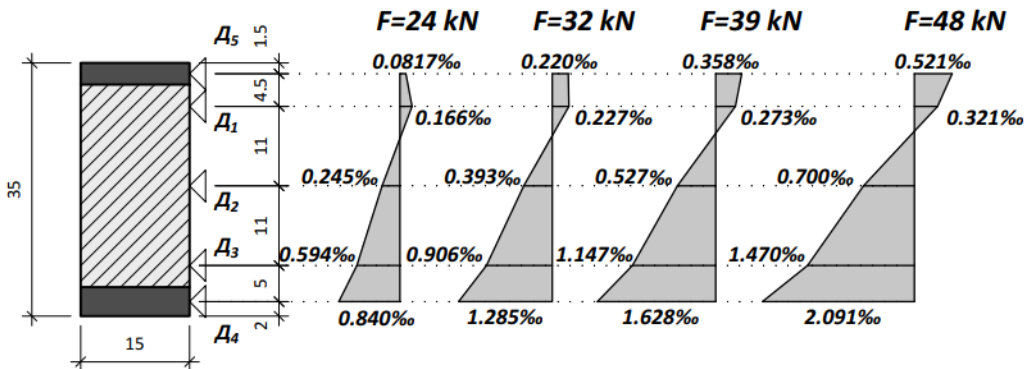
Сила, kN	Спад на провисванията след усилване спрямо преди усилване, %	Спад на провисванията след усилване и циклично натоварване спрямо преди усилване, %	Нарастване на провисванията на усилената греда след циклично натоварване спрямо преди циклично натоварване, %
24	50,76	18,69	65,13
32	45,09	28,31	30,57
39	40,26	32,49	13,01
48	35,94	34,38	2,43

4.2. Относителни деформации в бетона

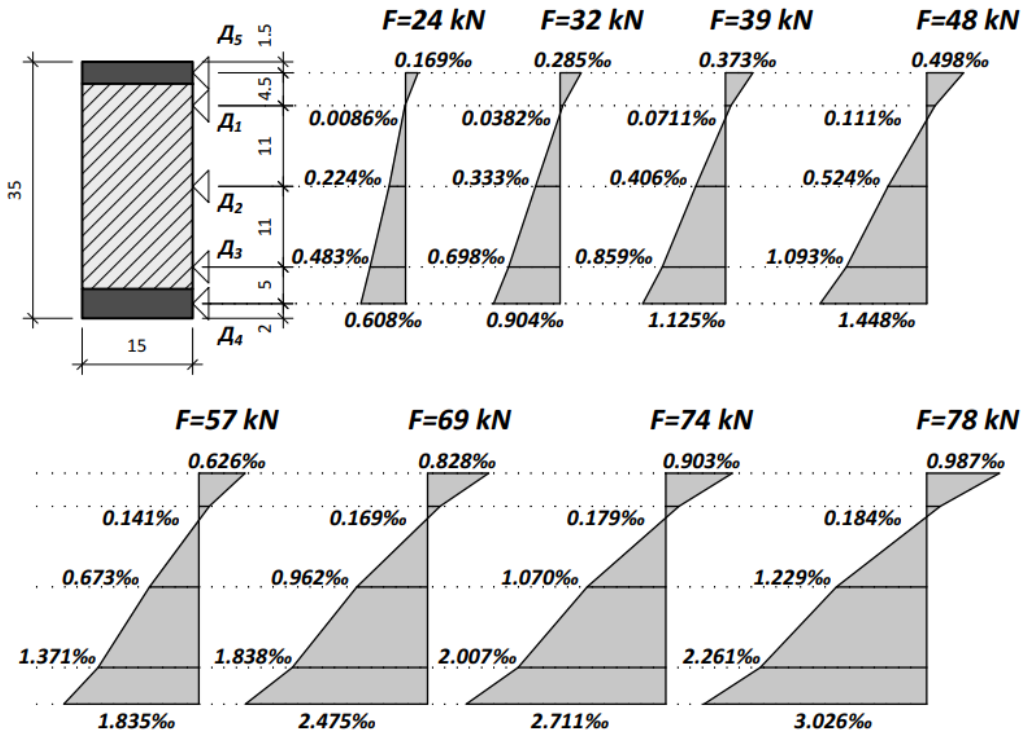
На фиг. 12 са показани относителните деформации в бетона на неусилената греда при няколко степени на натоварване. На фиг. 13 са представени относителните деформации на усилената греда при същите товари. Фиг. 14 показва относителните деформации в бетона на усилената греда след циклично натоварване до достигане на разрушителния товар.



Фиг. 12. Относителни деформации в бетона на неусилената греда

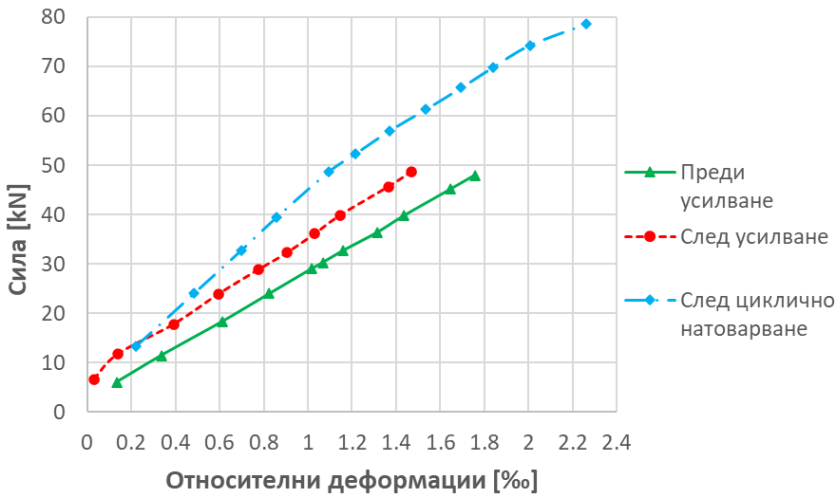


Фиг. 13. Относителни деформации в бетона на усилената греда

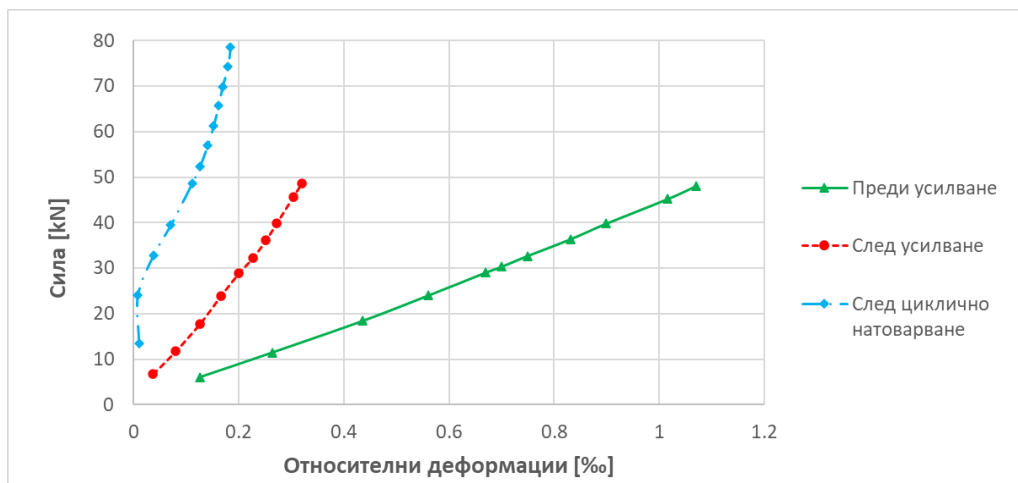


Фиг. 14. Относителни деформации в бетона на усилената греда след циклично натоварване

На фиг. 15 и фиг. 16 е представено сравнение между относителните деформации в бетона, съответно в опънната и натисковата зона на гредата при трите изпитвания. Табл. 2 и табл. 3 представят процентната разлика между тях.



Фиг. 15. Относителни деформации в опънната зона (D3)



Фиг. 16. Относителни деформации в натисквата зона (D1)

Таблица 2. Процентна разлика между относителните деформации в опънната зона (D3) на гредата

Сила, kN	Спад на относителните деформации след усилване спрямо преди усилване, %	Спад на относителните деформации след усилване и циклично натоварване спрямо преди усилване, %	Спад на относителните деформации на усилената греда след циклично натоварване спрямо преди циклично натоварване, %
24	28,02	41,51	18,74
32	21,81	39,73	22,92
39	20,13	40,15	25,07
48	16,33	37,80	25,66

Таблица 3. Процентна разлика между относителните деформации в натисквата зона (D1) на гредата

Сила, kN	Спад на относителните деформации след усилване спрямо преди усилване, %	Спад на относителните деформации след усилване и циклично натоварване спрямо преди усилване, %	Спад на относителните деформации на усилената греда след циклично натоварване спрямо преди циклично натоварване, %
24	70,32	98,47	94,83
32	69,67	94,91	83,20
39	69,70	92,09	73,88
48	70,03	89,57	65,22

Наблюдава се спад на относителните деформации в бетона в усилената греда след цикличното натоварване, особено силно изразено в натисквата зона. В настоящото експериментално изследване не са измерени остатъчните деформации преди цикличното натоварване и в показаните резултати те не са отчетени. Както бе показано по-горе, при

провисванията са налице значителни остатъчни деформации. Следователно, може да се заключи, че и при относителните деформации ще има не малки остатъчни деформации. Така че получената редукция в относителните деформации на усилената греда след циклично натоварване спрямо преди него може да се обясни с неотчетените остатъчни деформации.

5. Изводи и препоръки

На базата на получените резултати от проведеното експериментално изследване могат да се направят следните изводи и препоръки:

- Разрушението на усилената греда настъпва при сила, която е 60 % по-голяма от изчислителната стойност на разрушителната сила на неусилената, ненапукана греда. Този ефект е постигнат при 25 % повишаване на височината на сечението. Като се има предвид, че първоначалното състояние на гредата е влошено (наличие на пукнатини с недопустима широчина) и че усилената греда преминава през циклично натоварване, което би следвало да е предизвикало умора на материалите, може да се заключи, че избраният метод на усиление дава добри резултати по отношение на повишаването на носещата способност на гредата.
- Разрушението настъпва малко след нарушаване на връзката между усиливащия слой в опънната зона и гредата. Следователно, при този метод на усиление трябва да се обърне специално внимание на осигуряването на надеждна връзка между съществуващия бетон и усиливащия слой.
- Налице е значителна редукция в провисванията на гредата. При характеристична стойност на силата ($F = 32 \text{ kN}$) се наблюдава спад от 45 % в провисванията на усилената греда спрямо неусилената. След циклично натоварване редукцията на провисванията в усилената греда спрямо неусилената е 28 %. При изчислителна стойност на силата ($F = 48 \text{ kN}$) тези проценти са съответно 36 % преди и 34 % след циклично натоварване.
- Влиянието на умората върху провисванията на гредата е по-значително при по-малки степени на натоварване. С нарастване на силата увеличаването на провисванията на усилената греда след цикличното натоварване спрямо преди него намалява. При изчислителния товар разликата е незначителна – 2,5 %.
- Налице са значителни остатъчни деформации след статичното изпитване на усилената греда след затихване на деформациите – 29 % от максималното провисване (при изчислителна стойност на силата $F = 48 \text{ kN}$) в средата на отвора на гредата.
- Относителните деформации в опънната зона на гредата (D_3) намаляват след усиляването. Ефектът намалява при повишаване на товара. При характеристична стойност на силата ($F = 32 \text{ kN}$) спадът е около 22 %, докато при изчислителна стойност на товара ($F = 48 \text{ kN}$) редукцията е около 16 %.
- В натисковата зона на гредата (D_1) е налице приблизително константно намаляване на относителните деформации в усилената греда спрямо неусилената при различните степени на натоварване – около 70 %.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-158/24 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. BDS EN 1990:2003 Evrokod: Osnovi na projektirane to na stroitelni konstrukcii.
2. *Dimov, D.* Vazstanovyavane na nadezhdnostta i dalgotraynostta na stomanobetonni mostovi opori. X Yubileyna mezhdunarodna nauchni konferentsia „Proektirane i stroitelstvo na sgradi i saorazhenia“, Varna, 2018.
3. *Dimov, D., Georgiev, A., Jeleu, J.* Nyakoi pouki ot obsledvaneto na patni mostove v planinskite rayoni u nas. Parva nauchno-prilozhna konferentsia s mezhdunarodno uchastie stomanobetonni i zidani konstruksii – teoria i praktika – Sofia, 2015.
4. *Ivanchev, I., Dimov, D., Benedetti, A., Mangoni, E.* Solving the bridge maintenance problem in bulgariaan analysis of the opportunities offered by composite materials. Godishnik na UASG, Yubileen – 2007.
5. *Ivanchev, I., Kisov, D., Reshkov, M.* Defekti pri stomanobetonni mostove v bulgaria i primeri za remontirani saorazhenia. Godishnik na UASG, Yubileen – 2007.
6. *Markov, T., Dimov, D.* Pouki ot nyakoi neblagopoluchia na stomanobetonnite konstruksii. Godishnik na UASG, Yubileen – 2002.
7. *Minev, M., Dimov, D., Jiponov, K.* Otnosno poddarzhaneto i remontite na sofiyskite mostovi saorazhenia. Godishnik na UASG, Yubileen – 2007.
8. *Topurov, K., Dimov, D., Georgiev, A., Petrov, B.* Nasoki i metodi za remont i sanirane na golemite viadukti po AM „Hemus“ i AM „Trakia“. Mezhdunarodna yubileyna nauchno-prilozhna konferentsia UASG, 2012.
9. *Topurov, K., Dimov, D., Georgiev, A., Petrov, B., Kolarov, V., Velinov, K.* Trevozhnite rezultati ot prouchvaneto na proyavenite defekti i povredi na nyakoi viadukti po AM „Hemus“ i AM „Trakia“. Mezhdunarodna nauchna konferentsia „Proektirane i stroitelstvo na sgradi i saorazhenia“, Varna, 2012.
10. *Topurov, K.* Stmanobetonni patni i zhelezopatni mostove. Tom 2, ABC Tehnika, 2012, ISBN 978-954-8873-93-2.
11. Strategia za razvitie na patnata infrastruktura v Republika Bulgaria 2016-2022, Ministerstvo na regionalnoto razvitie i blagoustroystvoto. Ministerstvo na transporta, informatsionnite tehnologii i saobshteniyata.
12. *Manolova, E.* Izsledvane vliyanieto na retsepturni i tehnologichni faktori varhu mehanichnite svoystva na supervisokoyakostnite betoni. Disertatsia, UASG, Artois University, 2014.
13. *Traykova, M., Abdulahad, E.* Vazmozhnosti za prilozhenie na super visokoyakostni betoni (SVYaB) za usilvane na stomanobetonni gredi – rezultati ot eksperimentalno izsledvane. Godishnik na UASG, 2020, 53(3): 611 – 621.
14. *Manolova, E., Zaharieva, R., Petrov, B., Nazarski, D.* Ultra High Performance Concrete – New Constructional Repair Material. 2nd WTA-International PhD Symposium, Brno, Czech Republic, 2011.
15. *Huang, Y., Grünwald, S., Schlangen, E., Lukovi'c, M.* Strengthening of Concrete Structures with Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC): A Critical Review. Construction and Building Materials, 2022.

16. Nursyamsi, N., Tarigan, J., Abu Bakar, B. H., Hardjasaputra, H. Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete an Alternative Material for Rehabilitation and Strengthening of Concrete Structures: A: Review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.
17. Paschalis, S. Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete As Strengthening Material. *Fifth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, 2019.
18. Lampropoulos, A., Nicolaidis, D., Paschalis, S., Tsioulou, O. Experimental and Numerical Investigation on the Size Effect of Ultrahigh-Performance Fibre-Reinforced Concrete (UHFRFC). *Materials*, 2021, 14.
19. Paschalis, S., Lampropoulos, A. Developments in The Use of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete As Strengthening Material. *Engineering Structures*, 2021.
20. Abbas, H. M., Kadhim, M. M. A. Review of Behavior Flexural Strengthened RC Beams Using Ultra-High Performance Concrete. *Salud, Ciencia y Tecnología – Serie de Conferencias*, 2024.
21. Ahmed, F. B., Biswas, R. K., Sen, D., Tasnim, S. Flexural and Shear Strengthening of Reinforced-Concrete Beams with Ultra-High-Performance Concrete (UHPC). *Construction Materials*, 2024, 4, 468 – 492.
22. Abdal, S., Mansour, W., Agwa, I., Nasr, M. Abade,l A., Özkılıç, Y., Akeed, M. Application of Ultra-High-Performance Concrete in Bridge Engineering: Current Status, Limitations, Challenges, and Future Prospects. *Buildings*, 2023.
23. Bertola, N., Bruhwiler, E. A Review of the Use of UHPFRC in Bridge Rehabilitation and New Construction in Switzerland. *Frontiers in Built Environment*, 2021.
24. Graybeal, B., Brühwiler, E., Kim, B., Toutlemonde, F., Voo, Y. L., Zaghi, A. International Perspective on UHPC in Bridge Engineering. // *Journal of Bridge Engineering*, 2020.
25. Gochev, G., Chervenkov, S., Nazarski, D., Danchev, I., Krumov, V., Zaharieva, B., Petrov, B. Napregnato i deformirano sastoyanie na stomanobetonni elementi ot visokoyakosten beton, natovareni na ogavane. *Stroitelstvo*, 1989, 8: 15 – 20.
26. Gochev, G., Chervenkov, S., Nazarski, D., Danchev, I., Krumov, V., Zaharieva, B., Petrov, B. Visokoyakostniyat beton- edna alternativa za ikonomia na materiali v stroitelstvoto. Nauchno tehlicheska konferentsia “Novi stroitelni materiali”, Varna, 1989.
27. Nazarski, D., Krumov, V., Petrov, B. Tehnologichni aspekti na visokoyakostni betoni s podobreni hidrofizichni svoystva. Peta natsionalna shkola s mezhdunarodno uchastie “Efektivni stroitelni tehnologii”, Primorsko, 1989.
28. Zaharieva-Georgieva, B. Gochev, G. Rabotna diagrama na visokoyakostni betony. *Patishta*, 1990, 8.
29. Abdulahad, E., Traykova, M. Basic recommendations for strengthening of RC beams with Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) – conclusions from experimental investigation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020.
30. Ivanov, Ya., Stoyanov, V., Ivanova, M. Visokotehnologichni betony. XII Mezhdunarodna nauchna konferentsia VSU, 2013, III(IV): 1 – 6.
31. BDS EN 1992-2:2007 Evrokod 2: Proektirane na betonni i stomanobetonni konstruksii Chast 2: Stomanobetonni mostove – pravila za proektirane i konstruirane.
32. <https://www.mapei.com/bg/bg/produkti-i-resheniya/spisak-s-produkti/podrobnosti-za-produkta/planitop-hpc>, poseten na 20.09.2024.
33. BDS EN 1992-1-1:2007 Evrokod 2: Proektirane na betonni i stomanobetonni konstruksii Chast 1-1: Obshti pravila I pravila za sgradi.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF AN RC BRIDGE BEAM STRENGTHENED WITH HIGH-PERFORMANCE CONCRETE

E. Abdulahad¹, V. Stoilova², D. Nedyalkov³

Keywords: experimental investigation, high-performance concrete, reinforced concrete bridge beam, strengthening

ABSTRACT

There are numerous factors which can adversely affect bridges' overall condition, serviceability and even endanger their safety. Therefore, it is necessary to strengthen the structural members of bridges in order to ensure their normal functioning and thus to prolong their service life. However, conventional strengthening methods used for reinforced concrete structures often prove to be ineffective considering the specific features of bridges and the environment in which they operate. Hence, a new, more suitable approach is needed. The purpose of this paper is to present high-performance concrete (HPC) as a contemporary material for strengthening RC bridge beams. A scaled beam model is subjected to an experimental investigation. First, the beam is tested under static loading. Then, the model is strengthened using a two-sided HPC jacket and the strengthened beam is tested again under the same loading. Next, the model is subjected to cyclic loading. Finally, the beam is tested again under static loading until its complete failure. Based on the results, a comparison of the beam performance before and after strengthening as well as after cyclic loading is made. Furthermore, conclusions regarding the effectiveness of HPC strengthening are drawn and some recommendations for the use of the method are provided.

¹ Emad Abdulahad, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: georgos_fce@uacg.bg

² Viktoria Stoilova, PhD student., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: stoilova_fce@uacg.bg

³ Danail Nedyalkov, Assoc. Prof. Dr. Arch., Dept. "Industrial Buildings", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dned_far@uacg.bg