XIV Международна научна конференция
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026 г, Варна
XIV International Scientific Conference
„Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 10 - 12, 2026, Varna, Bulgaria
ISSN 2683-071X (online) ISSN 2738-7879 (CD)

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПРИЛАГАНЕТО НА УСИЛВАНЕ НА МОСТОВИ КОНСТРУКЦИИ С ВЪГЛЕРОДНИ ПЛАТНА

Симеон Бошнаков[1]

SOME FEATURES IN THE APPLICATION OF STRENGTHENING OF BRIDGE STRUCTURES USING FRP

Simeon Boshnakov,

Abstract:
The report discusses the various options for strengthening with carbon sheets in the reinforcement of existing reinforced concrete bridges. At the moment in Bulgaria there is no current standard that defines a precise methodology for the design of this type of reinforcement, which raises many questions about the durability and reliability of the application of such a type of reinforcement. In different European countries there are various additional requirements introduced in regulatory documents, which provide guidelines for the application of specific details and the introduction of additional parameters depending on the type of given facility and the reinforced element.

Keywords:
reinforced concrete, bridges, strengthening, retrofitting, FRP

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Докладът разлгежда различните възможности за усилване с въглеродни платна при усилването на съществуващи стоманобетонни мостове. Към мопмемнта в България няма действащ стандарт, който да определя точна методика за проектирането на този тип усилвания, което поставя доста въпроси относно дълготрайността и надеждността при прилагането на такъв тип усилване. В различните Европейски държави има различни допълнителни изисквания въведени в нормативни документи, които дават насоки за прилагането на конкретни детайли и въвеждането на допълнителни параметри спрямо вида на даденото съоръжение и усилваният елемент.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МАТЕРИАЛА

Полимерната система за усилване е съставена от влакна с голяма опънна якост, полимерна фиксираща матрица, адхезиви (полимери свързващи усилващата система с

[1] Симеон Бошнаков, гл ас. д-р инж. , катедра Масивни конструкции, строителен факултет на Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия- София, гр. София 1000, бул. Христо Смирненски 1, e-mail: s.boshnakov_fce@uacg.bg
Simeon Boshnakov, Chief. Assist. Prof. Dr. Eng., Department of Reinforced concrete Structures, Faculty of Structural Engineering, Univercity of Architecture, Civil Engineering and Geodesy – Sofia, Bulgaria, Sofia 1000, Hristo Smirnenski 1, E-mail: s.boshnakov_fce@uacg.bg

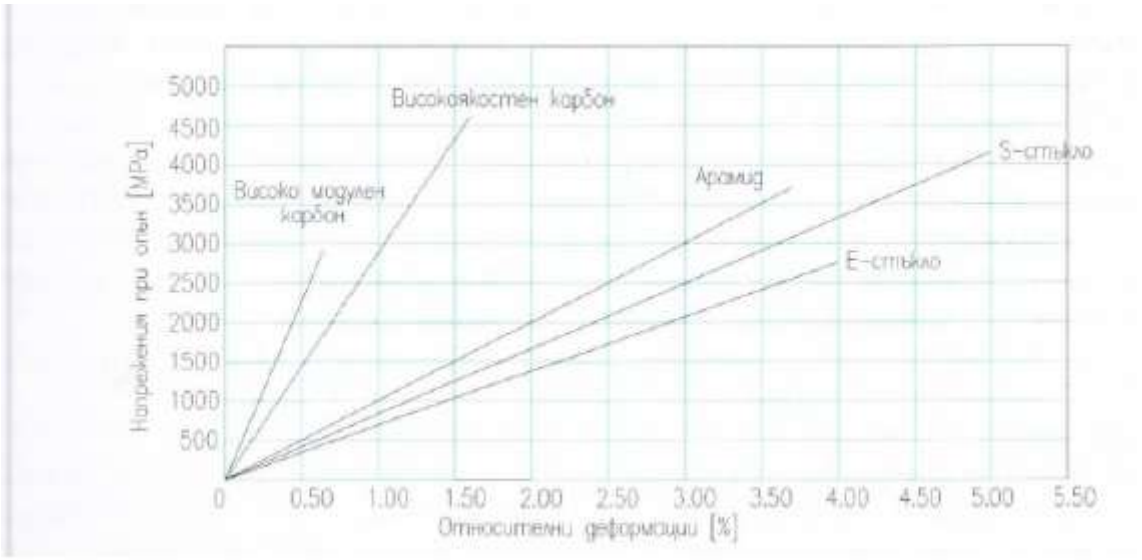
бетонната повърхност), грундове (подобряващи повърхностните качества набетона). Към използваната система могат да се използват различни типове разтвори и допълнителни защити срещу UV- лъчи, защита от преминаващи превозни средства с извънгабаритни товари и др.[2].

За армирането на усилващата система се използват високоякостни влакна, които са въглеродни (карбонови), арамидни нишки, стъклени нишки, като в табл. 1 за дадени якостнита характеристики на основните използвани армиращи материали:

Таблица 1. Ориентировъчни физико-механични свойства на основните материали [2]

Материал	Модул на Еластичност E	Якост на опън σ_r	Удължение при скъсване ε_r	Коефициент на температурно разширение α	Плътност ρ
	[GPa]	[MPa]	[%]	$[10^{-60}C^{-1}]$	$[g/cm^3]$
E - стъкло	70-80	2000-3500	3,5-4,5	5-5,4	2,5-2,6
S - стъкло	85-90	3500-4800	4,5-5,5	1,6-2,9	2,46-2,49
Карбон HM /високомодулен/	390-760	2400-3400	0,5-0,8	-1,45	1,85-1,9
Карбон HS /високоякостен/	240-280	4100-5100	1,6-1,73	(-0,6)-(-0,9)	1,75
Арамид	62-180	3600-3800	1,9-5,5	-2	1,44-1,47
Полимерна матрица	2,7-3,6	40-82	1,4-5,2	30-54	1,10-1,25
Стомана	206	250-400пр 350-600як.	20-30	10.4	7.8
Стомана високоякостна	190-206	1350-1860 як.	4,5	10,4	7,8

На фиг. 1 е дадено графично сравнение на диаграмите напрежения-деформации (σ-ε) за различните материали, то което се вижда, че въглеродните (карнонови) влакна притежават най-виока якост при най-малки деформации, което ги прави изключително приложими в усилването на мостове, където се изисква максимална ефективност по отношение на използваният материал.



Фигура 1. Диаграма напрежения – деформации (σ-ε) на различните композитни материали [2]

3. НОРМАТИВИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ

Въпреки не малкото усилени стоманобетонни конструкции в България чрез прилагането на композитни материали, в България няма действащ стандарт, който да уточнява точната методика за проектиране и детайлиране. В момента при проектирането на усилващата система се използват някои международни стандарти и указанията дадени от самите производители.

Основните международни станарти, които се използват за проектирането на такъв тип усилвания са американските ACI 440.2R-08 [9], [10], [11], италианският [12], fib bulletin [15], както и някои немски стандарти с разработени изчислителни проверки разработени на база на Еврокод 2 [13], [14], [16], [17], [18], [19], [20].

В тези нормативни документи са дадени подробни указания за ефективно проектиране на усилващите системи по крайни гранични състояния, както и в експлоатационни гранични състояния.

Основните приложения са за усилване на огъване фиг , за напречни сили фиг, за усукване фиг. , както и за създаването на ограничен бетон фиг., при усилването на долното строене на мостовите конструкции за сеизмични въздействия.

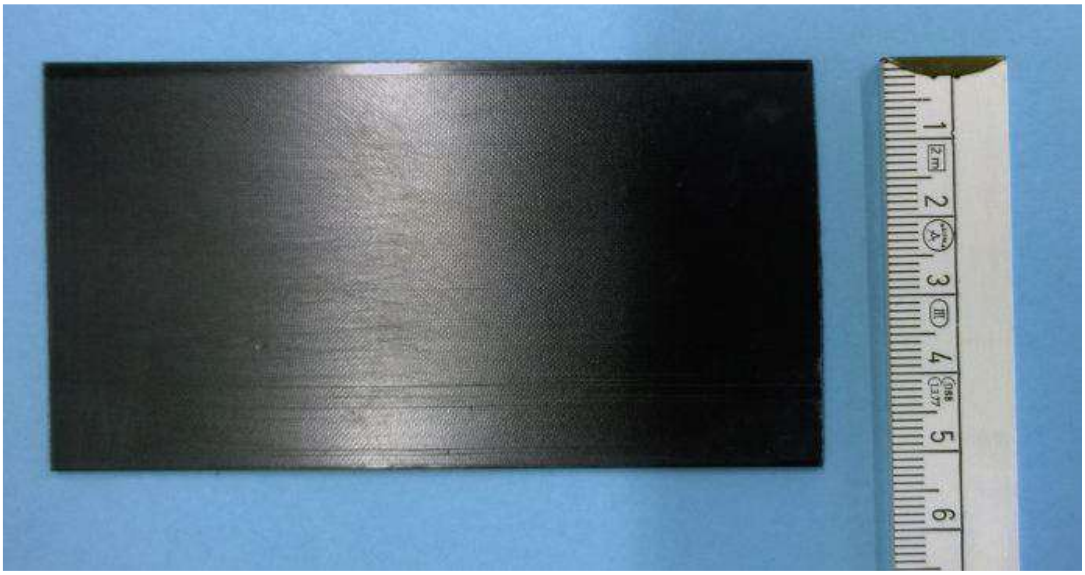
В новото поколение на Еврокод 2 [24] е дадено приложение за усилване на стоманобетонни конструкции посредством приложението на FRP. В приложението са дадени основни изчислителни ситуации и детайли без да се детайлира към приложението за конкретни типове съоръжения, като мостове

4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА УСИЛВАЩИТЕ СИСТЕМИ ПРИ МОСТОВЕ

В мостовото строителство усилването с композитни материали има широко приложение, като се започне от усилване на горното строене вследствие преминаването на нормативно недефинираан товар, възстановяване на бетонното сечение посредством използването на въглеродни платна и до усилване на самите елементи от горното и долното строене на мостовите конструкции.

Най-широко е приложението за усилване на елементи от горното и долното строене на мостовите конструкции. В България има доста мостови конструкции с усилени елементи от Горното строене на мостовите конструкции за огъване и за напречни сили фиг. 2 [2]. В този случай допълнителната армировка се организира във вид на допълнителни стремена повърхностно на усилваният елемент фиг. 2., посредством материала показан на фиг.3.

Фигура 2. Усилване на главни греди за напречни сили[2]

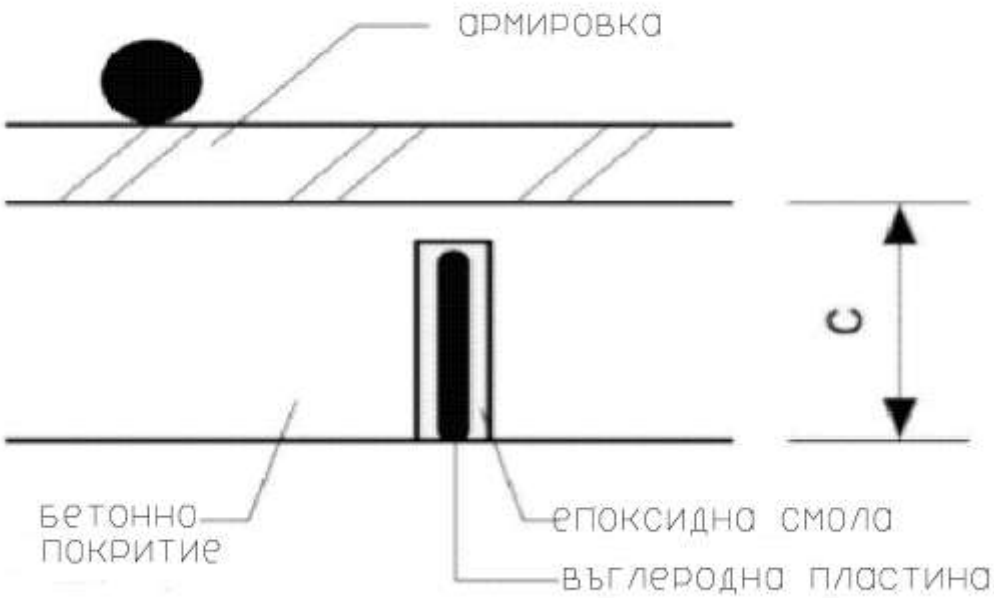


Фигура 3. Снимка на усилващ материал армиран с въглеродни влакна [1]

Друг вариант за усилване на стоманобетонни елементи е чрез апликирането на въглеродни ламели фиг.4, които се разполагат в предварително издълбан шлиц в стоманобетонното сечение [1]. Това усилване се прилага най-често при усилването на стоманобетонни елементи натоварени на огъване, в мостовите конструкции, като в

държави като Германия не се позволява друг вид усилване за динамично натоварени елементи, освен разполагането на усилващата армировка в предварително издълбан шлиц, в който се разполага усилващият материал, като ограничението е само за елементи подложени на интензивно динамично натоварване съгласно действащите технически позволения [1], [25].

Фигура 4. Полагане на усилващи ламели в шлиц [1]



Фигура 5. Схема за поставяне на въглеродни ламели в шлиц [1]

При прилагането на този тип усилване трябва да се съблюдава за наличие на минимално бетонно покритие, в което да се разположи успешно усилващата армировка без да се нарушава цялостта на съществуващата стоманена армировка фиг. 5., както и на напречната. Съгласно техническите особености минималното бетонно покритие, което

трябва да е налично за прилагането на този тип усилване е 10мм, като при издълбаването на шлицовете не трябва да се наранява и повреждa наличната армировка. [1], [25],

Тази особеност прави такъв тип усилване доста трудно технологично отчитайки недостатъчното бетонно покритие в голяма част от съществуващите мостови съоръжения. От друга страна за изпълнението на такъв тип усилване е необходимо да се постигне висока прецизност без да се нарушава целостта на съществуващата армировка, което в практически ситуации при прокарването на шлиците за монтаж на ламелите е почти непостижимо.

Друга разновидност на усилването с композитни материали е използването на предварително напрегнати въглеродни ленти, които се прилагат като усилващата система за предварително напрягане, като при тази система напрягащата сила се предава към усилваният елемент посредством анкериращото устройство, което служи и за напрягане и адхезивното сцепление с усилваният елемент фиг. 6.

Фигура 6. Анкериращи елементи на предварително напрегнати въглеродни платна [1].

При прилагането на тази усилваща система се постига много добра степен на употреба на високата якост на въглеродните нишки и висока ефективност по отношение на вложеният материал [1]. Този вид усилване е подходящ при усилването на предваително напрегнати мостове на огъване, както и при усилване на фуги при предварително напрегнати мостове [1].

При прилагенто на такъв вид усилване усилващният елементи трябва да бъде в добро техническо състояние и да притежава необходимата минимална якост на натиск, като за напрегнат стоманобетон, освен това не се допускат пукнатини в усилваният елемент, карбонизирал и деструктиран бетон. В противен случай не е възможно

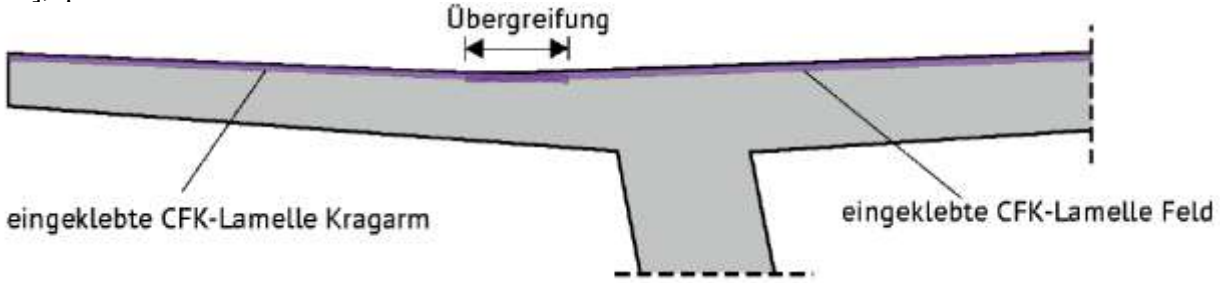
прехвърлянето на допълнителната напрягаща сила към усилваният стоманобетонен елемент [1].

При прилагането на този тип усилване трябва да се отбележат и следните неодтатъци спрямо обикновените въглеродни платна, при които няма предварително напрягане:

- Опасност от крехко разрушаване вследствие на действието на напрягащата сила;
- Опасност от разрушаване при анкерното устройство вследствие на чувствителността на материала към напречни сили;

За прилагането на предварително напрегнати въглеродни платна няма наличен стандарт за проектиране, като и в новото поколение на Еврокод 2 [24] не са заложени предписания.

С развитието на технологиите и необходимостта от усилване на някои кутиеобразни сечения за огъване от горната страна непосредствено под асфалтовата настилка се налага изследването на възможността за полагане на въглеродни платна директно под настилката [26], фиг. 7



Фигура 7. Примерно усилване на положени в шлиц въглеродни платна под асфалтовата настилка при смяна на наклона [27]

В [27] са направени експерименти за установяване носимоспособността и дълготрайността на елементи усилени с въглеродни платна под асфалтовата настилка фиг. 8. От експериментите се забелязва, че не се променя дълготрайността и носимоспобността на усилващата система в течение на времето под действие на разпределеният товар и високата температура от полагането на асфалтовата смес.

Фигура 8. Полагане на асфалтова настилка върху усилваща система от въглеродни платна [27]

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

През годините се прилагат все повече иновативни материали за възстановяване и усилване на конструктивни и неконструктивни елементи на мостовете, като в много случай с цел намаляване на собственото тегло на конструкциите се налага разработването на нестандартни детайли, от друга страна в една мостова конструкция има елементи със значително динамично натоварване, което при някои случаи би довело до компрометиране на усилващата система. Тези особености налагат необходимостта от допълнителни ограничения и изисквания при усилването и проектирането на мостовите конструкции, затова в повечето водещи европейски държави има наредни даващи ясни предписания за проектирането на новите и усилването и преизичисляването на съществуващите съоръжения [3], [21]. [22]. Освен това в една такава наредба би било добре да се уточнят и възможностите за прилагане за нестандартни конструктивни системи, като описаните в [23] Благодарностите се поставят в края на статията, без използване на номерация. Това е място, отделено за изразяване на благодарности на учени и спонсори, както и признателност за оказана финансова подкрепа.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Schellenbach-Held, M., T. Welsch, S. Ficker, J. Hegger, K. Reissen, Verstärkungen älterer Beton und Spannbetonbrücken. Erfahrung Sammlung Dokummentation 2016. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, ABteilung Strassenbau, BAST Projekt FE 15 0570/2012NRB Februar, 2016.
[2] Кисов Д., И. Герогиев, Усилване на стоманобетонни мостове с композитни материали. София 2014г.
[3] Топурова И., Нормативи за съществуващи мостове. Четвърти симпозиум по транспортни съоръжения „Транспортни съоръжения – ключов елемент на инфраструктурата“, УАСГ, София 2015г.
[4] Христов П., Повишаване на носещата способност и експлоатационни параметри на напукани стоманобетонни плочи с помощта на съвременни композитни материали. Дисертационен труд УАСГ 2010г.
[5] Христов П., Системи за конструктивно усилване на стоманобетонни плочи с армирани полимерни композитни материали. Международна юбилейна научно-приложна конференция УАСГ 2012г., София 2012.
[6] ACI 440.2R-08 Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI Committee 440, July 2008.
[7] Betonkalder 2009. Konstruktives Hochbau- Aktuelle Massivbaunormen.
[8] Blankschwärd Th., Strengthening of concrete structures by the use of mineral based composites. Doctoral Thesis and design models for flexure and shear. Lulen university of technology, 2009.
[9] ACI 343R-95: Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Structures. ACI – ASCE Committee 343.
[10] ACI 345R-11. Guide for Concrete Highaway Nridge Deck Construction. ACI Committee 345, American Concrete Institute, September 2011
[11] ACI 440.R-08. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI Committee 440, July 2008.
[12] CNR-DT 200/2004. Guide for the design and construction of externally Bonded FRP System for strengthening existing structures. Rome, 2004
[13] DAFSTB Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. DAFStb – Richtlinie für Deutsches Institut für Normungen. V. berlin, Oktober 2001.

[14] DAFSTB: Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung. DAfStb – Richtlinie. Deutsches Institut für Normungen e.V. Berlin, März 20212.
[15] FIB bulletin 14. Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures, International federation for Concrete.
[16] Richtlinie zur Nachrechnung von Strassenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung. Abteilung Strassenbau, Ausgabe 05/2011.
[17] DAfStb – Richtlinie (2022). Betonbauteile mit nichtmetalischer Bewehrung. Berlin. Deutscher Auschuss für Stahlbetone. V. Beuth- Verlag, Berlin. (2022).
[18] DAfStb (2013). Erlaeuterungen und Beispiele zur DAfStb – Richtlinie “Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung”, DAfStb – Heft 595. Berlin: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. Beuth – Verlag, Berlin
[19] DAfStb (2011): Praxisgerechte Bemessungsansätze für das wirtschaftliche Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung - Verbundtragfähigkeit unter statischer Belastung, DAfStb – Heft 592. Berlin: Dutscher Auschuss für Stahlbetone. V., Beuth- Verlag, Berlin.
[20] DAfStb (2011): Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung – Sachstandbericht DAfStb – Heft 591. Berlin: Deutscher Ausschuss für Sthlbeton e. V., Beuth- Verlag, Berlin.
[21] Топурова Ив., Наредба за мостове в България – необходимо допълнение към Еврокод, Научно списание Механика, Транспорт, Комуникации, Том 23 брой 2, 20225г. ISSN 2367-6620
[22] Николов П., Насоки към съдържанието на наредба за проектиране на мостове в България, Годишник на УАСГ 2019г.
[23] Карадех Л., Комбинирани дървено-стоманобетонни мостове, XIV Международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026г, Варна.
[24] BS EN 1992-1-1:2023 Eurocode 2 – Design of concrete structures, Part 1-1:General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures/
[25] Schnellenbach-Held M., M. Peeters, F. Scherbaum, Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücke im Bestand. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B75, 2010
[26] Finckkh W., F. Eberth, Brückenvestärkungen mit CFK – Lamellen – Bemessung und Überbau mit Asphalt. Tagungsband 35. Dresdner Brückensymposium. Technische Universität Dresden, März 2026.
[27] Finckh, W., J. KKreutz, F. Eberth, Brückenverstärkung mit geklebter Bewehrung, Wiesbadan Springer Vieweg, 2025, https://doi.org/10.1007/978-3-658-45857-7