



*Получена: 31.05.2019 г.*

*Приета: 01.07.2019 г.*

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНОВАТИВНИ МАТЕРИАЛИ ПРИ СЪЩЕСТВУВАЩИ МОСТОВЕ

**С. Бошнаков<sup>1</sup>**

*Ключови думи: мостове, възстановяване, усилване, поддържане, текстилно-армиран бетон*

### РЕЗЮМЕ

Поради необходимостта от постоянна поддръжка, при усилване и възстановяване на голяма част от мостовете е необходимо да се използват все по-високо якостни материали за постигане на по-добра ефективност и дълготрайност. В статията е направен анализ за приложението на текстилно-армирания бетон, като усилващ материал. Направен е анализ на разработените теоретични модели и на прилагането на текстилно-армирания бетон, като са разгледани резултатите от някои проведени експерименти и примери на усилен мостови конструкции с този материал.

### 1. Въведение

Повечето от мостовете в България са построени след 50-те г. на 20 век. От тогава до сега са в непрекъсната експлоатация и не рядко се срещат различни повреди и дефекти в конструкциите вследствие на износването. Също така от тогава до сега натоварването от трафик върху тях се е увеличило многократно, както са се променили нормативните товарни модели и изчислителни модели. Освен това са се променили и нормативните документи, по които се проектират транспортните съоръжения.

Това налага изследването на различни начини за усилване и оптимизирането на прилаганите решения, както с познатите до момента материали и начини, така и проучването на нови възможности за усилване с иновативни материали, които са високоякостни, като композитните FRP и текстилно-армираният бетон.

---

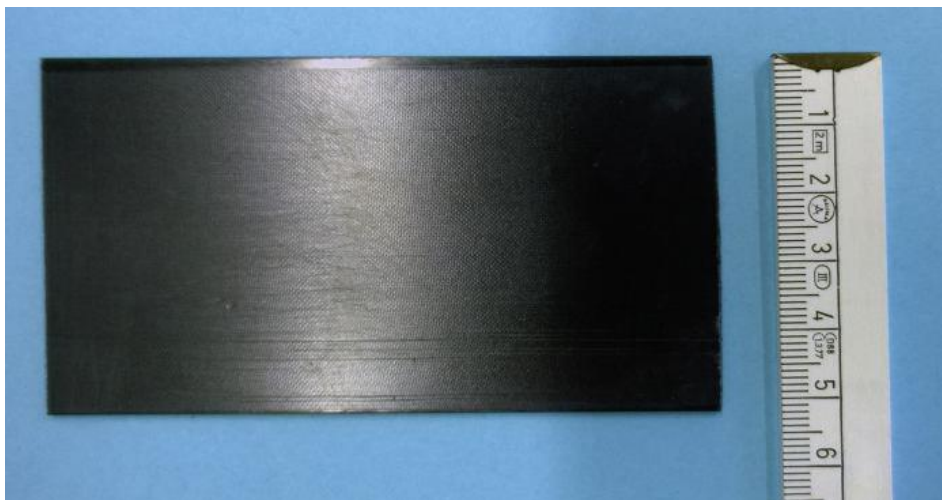
<sup>1</sup> Симеон Бошнаков, д-р инж., София, e-mail: simbosh07@gmail.com

От друга страна стои и въпросът до каква степен е необходимо да бъде усилян даден мост, така, че да удовлетвори съвременните изисквания, тъй като понякога това е икономически необосновано и е по-изгодно да се изгради ново съоръжение, тъй като съществуващите мостове няма как да покрият съвременните нормативни изисквания, поради различията в използваните теоретични модели, товарни модели и използваните материали. Този проблем е по-подробно разгледан в [5, 7].

## **2. Възможности за усиляване и възстановяване на мостови конструкции с композитни материали FRP**

### **2.1. Композитни материали във вид на платна**

Този вид усиляване представлява текстилни нишки, които се поставят в епоксидна матрица към конструкцията, като по този начин се осъществява връзката между усиливаща система и усилян елемент. Съответно платната могат да бъдат армирани с различни нишки въглеродни, стъклени, арамидни, базалтови или други (фиг. 1).



**Фиг. 1. Снимка на усиливащ материал, армиран с въглеродни нишки [9]**

С този материал има усилявани мостове в България, като примери за усиляни такива конструкции са показани в [8]. Поради лесния си начин на приложение с него могат да бъдат усилявани елементи от горното строене на моста, както и от долното. Има множество конструкции, които са усилявани на огъване, като мостови плочи, греди и елементи от долното строене за създаване на ограничен бетон, някои от типичните възможности за усиляване са разгледани в [7].

Този материал се прилага най-вече при усиляване за повишаване на експлоатационния товар на моста, възстановяване и усиляване в зоните на фугите, възстановяване на повреди вследствие на пожар, удар от превозни средства, различни повреди вследствие на продължителната експлоатация, подмяна на армировката вследствие на направата на допълнителни отвори по време на експлоатацията при кутиеобразни напречни сечения [9].

Този вид усиление има следните предимства:

- ниско собствено тегло на усиливащата система;
- възможност за дължина на усиливащите ленти до 200 m;
- при изпълнението ѝ не е необходимо преподпиране на мостовото съоръжение;
- сравнително кратки срокове на изпълнение на усиляването;
- голяма опънна якост на скъсване и голямо удължение при скъсване;
- малка дебелина на усиливащия слой;
- позволява се кръстосване при необходимост.

Недостатъци:

- цената на материала е значително висока;
- платната не трябва да бъдат пречупвани преди монтажа им, необходими са допълнителни грижи;
- в повечето случаи е необходима наравата на допълнително защитно покритие срещу слънчевите лъчи, необходима е допълнителна защита при клас на околната среда ХС 4;
- необходимо е изпълнението на противопожарна защита върху изпълнената усиливаща система.

## 2.2. Въглеродни пластини, положени В шлицове

При усиляването с въглеродни пластини в стоманобетонното сечение се издълбава шлиц (отвор), в който се поставя епоксиден разтвор и след това се поставя въглеродната пластина, която трябва да попадне в издълбания отвор. Отворите могат да се изпълнят чрез фрезоваща машина, флекс или друг начин. Въглеродните пластини имат по-добро сцепление с бетона спрямо обикновените въглеродни ленти (ламели).



Фиг. 2. Усиливаща пластина в шлиц [9]

Тези въглеродни пластини са предназначени за усиление на елементи от обикновен и предварително напрегнат бетон за огъване, при което усиливащите елементи трябва

да поемат само опънни усилия. За този вид усилване няма ограничение за статични и динамични натоварвания. Това го прави лесно приложим в усилването на мостове. Освен това и тук в техническите разрешения се споменава, че е необходимо за елементите, натоварени с динамични товари в усилващия елемент, да има налична надлъжна армировка.

При изпълнението на този тип усилване трябва да се внимава да не се засегне носещата армировка или армировката за напречните сили по време на изпълнението на шлицовете в бетонно сечение. Също така трябва да се спазва изискването за минимално бетонно покритие над елементите от 10 mm, подобно на въглеродните ленти.

Този вид усилване има някои предимства пред усилването с ламели и те са:

- разходите за издълбаване на шлицовете в бетона са по-ниски в сравнение с разходите, необходими за обработка на основата, нейното почистване и цялостно обработване;
- няма ограничение за степента за усилване на огъване;
- вкопаните в бетона въглеродни пластини са по-устойчиви на външни въздействия, на удари от превозни средства и на пожарни въздействия;
- вследствие на по-доброто сцепление и високата опънна якост на усилващата система се създава възможност за по-добро и ефективно използване на напречното сечение, тоест необходимата носимоспособност може да се постигне с по-малко материал;
- по-лесно се отстраняват неравностите в шлицовете спрямо неравностите по цялото сечение;
- усилените елементи по този начин показват дуктилно поведение [10].

Недостатъците са:

- необходимо е по-голямо бетонно покритие, да е толкова дебело, че при направата на шлицовете да не бъде засегната армировката на сечението;
- кръстосвания и двупосочно армиране са недопустими при тази система на усилване.

Въпреки голямата популярност на усилването с въглеродни пластини в България в мостовото строителство все още няма реализации поради недостатъчното бетонно покритие на усилваните мостови конструкции според [8].

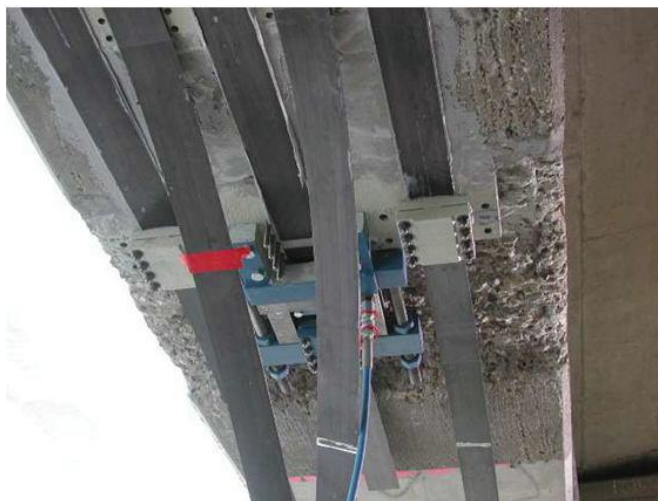
### **2.3. Усилване с предварително напрегнати въглеродни ленти**

Усилването с предварително напрегнати въглеродни ленти е развитие на залепените въглеродни ленти. При него по-ефективно се използва високата опънна якост на материала. В този случай напрегащата сила се прехвърля към конструкцията посредством залепването на анкеращата част. След изпълнението на усилването напрегащата сила се прехвърля и посредством лепилото и сцеплението между двата материала, фиг. 3.

Тази усилваща система може също да се използва за усилване на фуги при предварително напрегнати мостове, както и за цялостно усилване на огъване.

С този вид усилване се подобрява и експлоатационната годност на мостовите конструкции.

За да се приложи успешно този вид усилване, е необходимо съществуващата стоманобетонна конструкция да притежава необходимите характеристики на якост, както и да не е карбонизирал бетонът и да няма недопустими пукнатини, за да може да се осъществи благоприятна връзка между двата материала [9].



**Фиг. 3. Анкеризиращи елементи на предварително напрегнати въглеродни нишки [9]**

За този тип усилване все още няма стандарт и точна методика за неговите проектни проверки, нито технически позволения, което го прави на практика трудно приложим.

Този начин на усилване има някои свои предимства пред останалите композитни материали:

- по-добро използване на опънната якост на материала спрямо залепените въглеродни ламели;
- по-добро намаляване на провисванията и ширината на пукнатините спрямо обикновените въглеродни ламели.

Недостатъците, които се наблюдават при този вид усилване спрямо обикновените композитни материали, са вследствие на предварителното напрегане и те са:

- опасност от крехко разрушаване на усилването вследствие на предварителното напрегане;
- опасност от разрушаване в анкерното устройство вследствие на чувствителността на материала към напречни сили.

### **3. Приложение на текстилно-армирания бетон в мостовото строителство**

Текстилно армираният бетон е иновативен материал, който намира все по-голямо приложение в мостовото строителство поради добрите характеристики, които има. От една страна за армировъчни мрежи се използват въглеродни мрежи, които имат изклю-

чително висока якост, а от друга страна те се поставят в матрица от фин бетон. Така полученият усилващ слой е с дебелина от няколко сантиметра, а се постига значителна степен на ефективно действие на усилващата система. Въпреки че отскоро се разработва, текстилно-армираният бетон вече има предложени теоретични модели за изчисляването му като усилващ материал.

### **3.1. Приложение на текстилно армирания бетон за усилване на конструкции**

Поради употребата на високоякостни нишки този материал е много подходящ за усилване на стоманобетонни елементи и конструкции от обикновен и напрегнат бетон. За разлика от другите материали с високоякостни нишки, текстилно-армираният бетон има много добро сцепление с усилвания стоманобетонен елемент. Той се характеризира с висока коравина, якост и експлоатационна годност. Освен това еластичният модул на текстилно-армирания бетон е приблизително еднакъв с еластичния модул на стоманобетона, което подобрява съвместната работа на двата материала.

Употребата на текстилно-армиран бетон за усилване на стоманобетонни елементи е потвърдена чрез множество опити и проведени научни експерименти за следните типове усилване с цел доказване и разработване на теоретични изчислителни модели:

- Усилване на опънатата зона на греди и плочи за увеличаване на носимоспособността на огъване [1, 11 ÷ 15].
- Усилване на напречната армировка в стелбата на греди и плочогреди за увеличаване на носещата способност за напречни сили [16, 17].
- Обвиване на кръгли и многоъгълни напречни сечения за увеличаване на носещата способност на нормални сили [18].
- Усилване за увеличаване на усуквателната носимоспособност на кръгли и многоъгълни напречни сечения [19].

От съществено значение при усилването на съществуващи конструкции за увеличаване на носимоспособността на огъване е намаляването на броя и размера на пукнатините в усилвания елемент за сметка на пукнатините, които ще се образуват в усилващия елемент, текстилно-армирания бетон, които са разположени през значително по-малко разстояние в сравнение с пукнатините в стоманобетона, освен това и тяхната ширина е значително по-малка [20]. Освен това има направени изследвания за установяване на размера и броя на пукнатините при действие на агресивна среда. В тези изследвания е наблюдавано преминаването и проникването на агресивни соли в усиления елемент с текстилно-армиран бетон [21].

Също така има проведени експерименти с усилен стоманобетонни греди с текстилно-армиран бетон, които са подложени на дълготрайно циклично натоварване, наподобяващо експлоатационно натоварване на пътен мост [1]. В резултатите от изследването се забелязва изключително добро поведение на усилващия материал върху усиляната конструкция. Вследствие на цикличното натоварване се забелязва лек спад в носимоспособността на усиляните елементи, но не са отчетени значителни промени в сцеплението между двата материала, което показва добрата адхезия между двата материала.

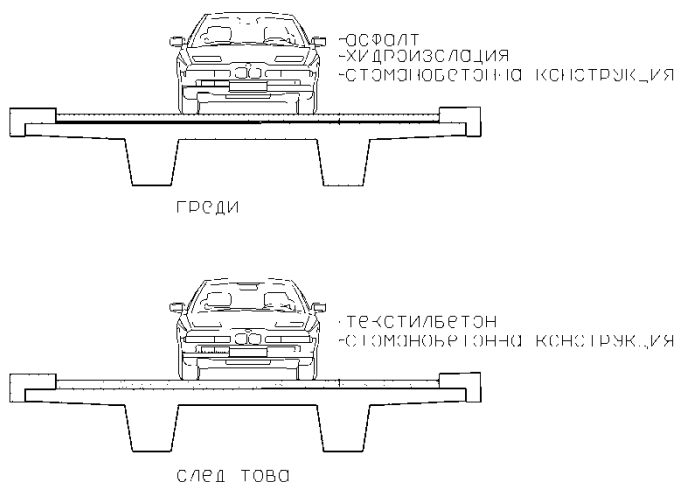
Освен гореописаните приложения, също така се изследват и възможности за прилагане на текстилно-армирания бетон за сеизмично усилване на централно натиснати елементи, чрез създаването на ограничен бетон, подобно на усилването с композитни материали (FRP). В [18] е направен експеримент за усиление колони с текстилно-армиран

бетон и FRP, които са натоварени циклично, подобно на сеизмично въздействие. Получените резултати показват еднаква ефективност на двата материала, носимоспособност и деформируемост, като в някои серии елементите, усилен с текстилбетон показват малко по-добри показатели на поведение.

Текстилно-армираният бетон може да се използва и в комбинация с други способи за усиляването на съществуващи мостове, които се използват в практиката и са разглеждани в различни източници [24]. Приложението на новите технологии, както и на традиционните методи за усиляване и възстановяване, би трябвало да се регламентира или с отделен документ, или в рамките на обща наредба за проектиране на мостове. Трябва да се обърне внимание и на подходящото изчислително моделиране на текстилно армираните елементи – както на тези, които са част от носещата конструкция на мостовете, така и на функционалните, които в отделни случаи биха могли да имат влияние върху общото поведение на моста [6].

### 3.2. Приложение на текстилно-армирания бетон като настилка

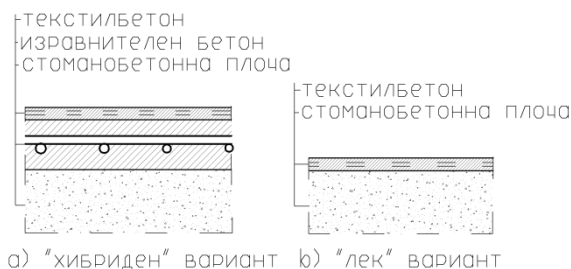
Освен за усиляване и увеличаване на носимоспособността на конструкциите, за прилагането на текстилно-армирания бетон се правят изследвания за неговото прилагане като настилка върху стоманобетонните пътни плочи. При приготвянето на смесите на текстилно-армирания бетон се използват висококачествени бетони и разположението на въглеродната армировка, която възпрепятства и редуцира образуването на пукнатините, доливката от текстилно-армиран бетон започва да изпълнява функцията на защитен слой заедно с усиливащата се функция. Затова е възможно при използването на текстилно-армиран бетон да не се полага допълнителен бетон – изравняващ слой. Това задава по-широки възможности за приложение на текстилбетона не само в усиляването, но и във възстановяването на мостовите конструкции, както и в отделни ремонтни дейности, които не засягат конструкцията.



Фиг. 4. Концепция за усиляване и възстановяване с текстилно-армирана бетонна доливка [22]

На фиг. 4 е показана схема на конструкция преди и след прилагането на текстилно-армираната доливка, В този случай текстилно-армираният бетон замества асфалта и хидроизолацията, експериментално изследвани и предложени в [22].

За изпълнението с доливка също има и възможни разновидности, в които е възможно да бъде изпълнено показаното на фиг. 5, като единият вариант е доливката от текстилно-армиран бетон да бъде изпълнена върху допълнителен бетонен слой, който служи за създаване на наклон и за изравняване на неравностите върху пътната плоча, а върху него е изпълнен слой от текстилбетон с дебелина от 2 cm. Тази разновидност на усиляването в [22] е дефинирана като хибриден вариант. Другият вариант е така нареченият лек вариант [22], показан на фиг. 5, като в него усиляващият слой от текстилно-армиран бетон се полага директно върху стоманобетонната пътна плоча.



**Фиг. 5. Вариант за усиляване с текстилно-армирана доливка [22]**

По този начин се създава едно уячено бетонно сечение, което е по-устойчиво на въздействията от трафика и околната среда, без да се увеличава значително натоварването върху мостовата конструкция, сравнено с една обикновена стоманобетонна доливка, освен това на база на направените изследвания и специално разработените смеси за текстилбетон в този вид усиляване не е необходимо полагането на допълнителен асфалтов слой, който от статическа гледна точка е излишен и единствено увеличава натоварването върху мостовата конструкция. Въпреки множеството разработки и изследвания за момента при тези нови приложения възникват и множество нови изследователски въпроси, които не се срещат във високото строителство. Затова са направени и допълнителни изследвания за замръзвателна устойчивост, циклични натоварвания на усилените елементи и други експерименти, както и пилотно усиляване на две мостови конструкции по гореописания начин чрез бетонна доливка от текстилно-армиран бетон [23].

#### 4. Изводи

С развитието на технологиите се откриват все повече материали за избор за усиляване на дадена конструкция, които са много ефективни. Така се създава възможност за все по-ефективно удължаване на експлоатационния живот на мостовите съоръжения, като се откриват и нови хоризонти за прилагане на бетони, армирани с въглеродни нишки, които засега не се прилагат масово.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бошнаков, С.* Възстановяване и усиляване на стоманобетонни елементи и конструкции на мостове. Дисертация, УАСГ, София, 2017.



2. *Бошнаков, С., Топуров, К.* Различни начини за усилване на стоманобетонни елементи на пътни мостове. Четвърти симпозиум по транспортни съоръжения. УАСГ, София. Приложение към том XLVII на Годишника на УАСГ. София, 2015.
3. *Бошнаков, С.* Оценка на влиянието на цикличното въздействие върху сцеплението на греди, усилени с текстил-бетон. // Годишник на УАСГ, София, 2016, том 49, брой 4.
4. *Бошнаков, С.* Експериментално изследване за прилагане на текстилно-армиран бетон за усилване на стоманобетонни мостови греди. Международна юбилейна научна конференция „75-години УАСГ“. 1-3 ноември 2017. // Годишник на УАСГ, 2018, том 51, брой 3, София.
5. *Топурова, И.* Нормативи за съществуващи мостове. Четвърти симпозиум по транспортни съоръжения УАСГ, София. Приложение към том XLVII на // Годишника на УАСГ. София, 2015.
6. *Николов, П.* Особености при моделирането на някои конструктивни и неконструктивни елементи на мостове. Международна научна конференция УАСГ, 2012, 12-17 ноември 2012.
7. *Топурова, И., Гайслер, К., Грасе, В.* Оценка на носимоспособността на съществуващите пътни мостове. 65 Юбилейна Международна научна конференция, УАСГ, София, 2007.
8. *Кисов, Д.* Усилване на стоманобетонни мостове с композитни материали. София, 2014.
9. *Schellenbach-Held, M., Welsch, T., Ficker, S., Hegger, J., Reißer, K.* Verstärkungen älterer Beton und Spannbetonbrücken. Erfahrung Sammlung Dokumentation 2016. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Abteilung Straßenbau. BASt Projekt FE 15, 0570/2012NRB. Februar, 2016.
10. *Mihala, R.* Bauwerksverstärkung mit eingeschlitzten CFK-Lamellen im Beton. Zement+Beton, 2008 s. 4-5.
11. *Frenzel, M., Curbach, M.* Bemessungsmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit von Biegeverstärkten Stahlbetonplatten. 6th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS6).
12. *Hegger, J., Will, N., Zell, M.* Tragverhalten von Textilbeton unter Biege- und Querbeanspruchung. 4. Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4).
13. *Bösche, A.* Möglichkeiten zur Steigerung der Biegetragfähigkeit von Beton- und Stahlbetonbauteilen durch den Einsatz textiler Bewehrungs- Ansatz für ein Bemessungsmodell. Dissertation Technische Universität Dresden, 2007.
14. *Schladitz, F., Lorenz, E., Curbach, M.* Biegetragfähigkeit von textilbetonverstärkten Stahlbetonplatten. Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 6.
15. *TUDALIT.* Bemessung von textilbetonverstärkten Stahlbetonbauteilen unter Biegebeanspruchung. 1. November, 2016.
16. *Brückner, A.* Querkraftverstärkung von Bauteilen mit textilbewehrtem Beton. Technische Universität Dresden, 2011.
17. *Brückner, A., Ortlepp, R., Schladitz, F., Curbach, M.* Großversuche zur Prüfung der Vorhersagefähigkeit der im SFB 528 entwickelten Rechenmodelle. 6th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS6).

18. *Bournas, D. A., Triantifollou, T. C., Zagourius, K., Stavropoulos, F.* Textile Reinforced Mortar versus FRP Jacketing in RC columns with continuous or LAP – spliced Deformed Bars. *ASCE Journal of composites for construction*, 2009.

19. *Schladitz, Fr.* Torsionstragverhalten von texturbetonverstärkten Stahlbetonbeuteilen. Technische Universität Dresden, 2011.

20. *Frenzel, M., Curbach, M.* Bemessungsmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit von Biegeverstärkten Stahlbetonplatten. 6th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS6).

21. *Molter, M.* Zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton. Aachen, RWTH, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Massivbau, Diss, 2005.

22. *Hansl, M.* Textilbewehrte Betone zur Instandsetzung und Verstärkung von Fahrbahnplatten aus Stahlbeton. Dissertation, Universität Innsbruck, 2014.

23. *Feix, J., Hansl, M.* Pilotanwendung von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau. 25. Dresdner Brückensymposium, Technische Universität Dresden, 2015.

24. *Topurova, I., P. Nikolov, K. Topurov.* Highway Viaduct Renovation. *Procedia Engineering "Bridges in Danube Basin 2016 – New trends in bridge engineering and efficient solution for large and medium span bridges"*, Žilina, Slovakia.

## **APPLICATION OF INNOVATIVE MATERIALS IN EXISTING BRIDGES**

**S. Boshnakov<sup>1</sup>**

*Keywords: concrete, bridges, textile reinforced concrete, strengthening, retrofit*

### **ABSTRACT**

Due to the need of maintenance, when strengthening and retrofit in a large number of bridges it is necessary to use more high strengthened materials to get better efficiency and durability.

The paper analyzes the use of textile-reinforced concrete as a strengthening material. There is an analysis of the developed theoretical models and the application of textile-reinforced concrete, considering the results of some experiments and examples of some concrete bridges strengthened and retrofitted with this material.

---

<sup>1</sup> Simeon Boshnakov, Dr. Eng., "Euro Alliance Design", 6 A. Zhendov Blvd., Sofia 1113, e-mail: simbosh07@gmail.com, s.boshnakov@eae.bg