



DOI: [10.71167/uaceg.2024.570120](https://doi.org/10.71167/uaceg.2024.570120)

Получена: 04.12.2023 г.

Приета: 21.12.2023 г.

## СЪЩЕСТВУВАЩИ МОСТОВЕ – ПОДХОД ПРИ ПРОВЕРКА ЗА ПОЕМАНЕ НА НАПРЕЧНА СИЛА

И. Топурова<sup>1</sup>

*Ключови думи:* съществуващи мостове, напречна сила, оценка на носимоспособност

### РЕЗЮМЕ

Въвеждането на нормативи за оценка на съществуващи мостове е необходимо, за да може да бъдат използвани всички резерви на конструкцията при запазване на сигурността на съоръжението. Те биха позволили прилагането на различни научни разработки в инженерната практика, отчитайки конкретното натоварване, повреди и изпълнение. Особено по отношение на нормативно обусловените дефицити, свързани с носимоспособността за поемане на напречната сила за мостовете, построени преди няколко десетилетия, такава нормативна база би подпомогнала проектантите.

### 1. Въведение

За разлика от проектирането на нови съоръжения, първоначалната стъпка при преизчислението на съществуващите мостове би следвало да бъде оценката на състоянието на конструкцията им, конкретното натоварване и измерване на основните размери.

Нормите за преизчисление на съществуващи конструкции, действащи в повечето европейски държави, позволяват преизчислението да става в отделни нива на прецизност. При доказване на недостатъчна носимоспособност, уморна якост или експлоатационна пригодност на по-ниско ниво се предвижда възможността за използване на по-подробни методи и научни разработки. По този начин се позволява, при доказване на недостатъчна носимоспособност за поемане на напречната сила при съществуващите стоманобетонни мостове, прилагането на научни разработки в тази

---

<sup>1</sup> Ивanka Топурова, гл. ас. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [ivankatopurova@yahoo.com](mailto:ivankatopurova@yahoo.com)

област. Особено при предварително напрегнати мостове, поради възприетото в миналото слабо напречно армиране, съответното нормиране на проверките на срязване за съществуващи мостове, би позволило тяхната сигурна бъдеща експлоатация, без да се налага усилване или дори замяна на връхната конструкция.

## 2. Проверки, свързани с поемането на напречна сила за съществуващи мостове от ненапрегнат стоманобетон

Изчислението на елементи с напречна армировка за ново строителство в [1] се основава на фермов модел, при което граничните стойности на ъгъла  $\theta$  между натисковите бетонни диагонали и оста на гредата са зададени в границите:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5. \quad (1)$$

В [2] се препоръчва определянето на ъгъла за съществуващи конструкции да е по формулата:

$$\frac{4}{7} \leq \cot \theta \leq \frac{1,2 - 1,4 \sigma_{cd} / f_{cd}}{1 - V_{Rd,c} / V_{Ed}} \leq 2,5. \quad (2)$$

Като алтернатива на този подход е възможно и изчисляване на ъгъла  $\theta$  чрез точното определяне на ъгъла на пукнатината  $\beta_r$

$$\frac{4}{7} \leq \cot \theta \leq \cot \beta_r + \frac{V_{Rd,c}}{(A_{sw} / s_w) \zeta f_{yd}} \leq 2,5. \quad (3)$$

$$\cot \beta_r = 1,2 + \frac{f_{cd}}{70 \rho_w f_{yd}} - 1,4 \frac{\sigma_c}{f_{cd}} \leq 2,25, \quad (4)$$

където  $\rho_w$  е процент на напречно армиране;

$\sigma_c$  – нормалното напрежение на нивото на центъра на тежестта на сечението.

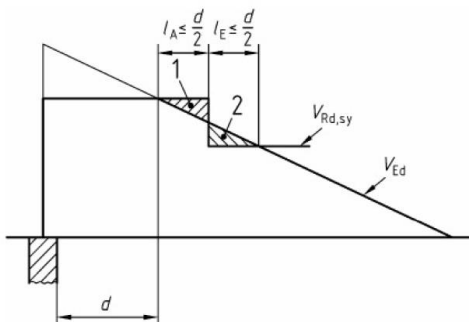
Друга възможност за доказване на достатъчна носимоспособност за срязваща сила при въвеждане на ограничител, свързан с максимален бъдещ експлоатационен период от 20 години и при предпоставката, че не се наблюдават пукнатини в стеблото, по-големи от 0,2 mm за предварително напрегнати греди и 0,3 mm за обикновен стоманобетон, е чрез намаляване на ъгъла  $\theta$  до 18,4°:

$$\frac{4}{7} \leq \cot \theta \leq \frac{1,2 - 1,4 \sigma_{cd} / f_{cd}}{1 - V_{Rd,c} / V_{Ed}} \leq 3,0. \quad (5)$$

И съответно при точното определяне на ъгъла на пукнатината  $\beta_r$ :

$$\frac{4}{7} \leq \cot \theta \leq \cot \beta_r + \frac{V_{Rd,c}}{(A_{sw} / s_w) \zeta f_{yd}} \leq 3,0. \quad (6)$$

Допълнително може да се редуцира максималната напречна сила в близост до опората, отново при предпоставката на максимален период на последваща експлоатация от 20 години. При това процедурата се базира на изравняване на площите 1 и 2, съгласно следната фигура:



Фиг. 1. Допустимо редуциране на максималната напречна сила, съгласно [2]

Прилагането на условието за минимална напречна армировка, каквото има за ново строителство, би могло да отпадне, ако се докаже достатъчна носимоспособност на съществуващата армировка за поемане на максималната напречна сила, получена от най-неблагоприятното положение на подвижния товар за разглежданото сечение.

В [3] е възприет друг подход за доказване на достатъчна носимоспособност за поемане на напречна сила. Допуска се приемането на по-голямо изчислително съпротивление на срязване на сечения на разстояние  $3d$  от опорното, като е възможно увеличение на напреженията в бетона от срязване с  $3d/a_v$ . Тук с  $a_v$  е означено разстоянието на разглежданото сечение от опората. Допълнително е зададено ограничение на приетото увеличение, което не трябва да надвишава по-малката от следните стойности:

$$0,92 \sqrt{\frac{f_{ck,cube}}{\gamma_c}} \quad \text{или} \quad 7 / \sqrt{\gamma_c} \quad (7)$$

Такова по-голямо изчислително съпротивление на срязване се допуска само при условие, че надлъжната армировка е закотвена минимум 20 пъти диаметъра на армировъчния прът.

При други нормативи, например [4], се допуска да не се проверява конструкцията за поемане на напречна сила, ако обследването не е показало нарушения на бетона (пукнатини) в разглежданото сечение.

### 3. Проверки, свързани с поемането на напречна сила за съществуващи мостове от предварително напрегнат стоманобетон

При проектирането на нови конструкции за поемане на напречни сили рамото на вътрешните сили  $z$  следва да се приеме равно на  $0,9d$ . С цел доказването на достатъчна носимоспособност при съществуващи мостове е възможно точното определяне на рамото от огъване за огъващ момент, съответстващ на оразмерителната напречна сила. В

[2] се допуска такова увеличение за сечения с предварително напрегната армировка, която се намира в натискава зона.

При положение, че тя се намира в опънна зона, може приблизително да се изчисли рамото на вътрешните сили по следната формула:

$$z = \frac{F_{sd} z_s + \Delta F_{pd} z_p}{F_{sd} + \Delta F_{pd}}, \quad (8)$$

където

$$F_{sd} = A_s \sigma_{sd} \leq A_s f_{yd},$$

$$\Delta F_{pd} = A_p (\sigma_{pd} - \sigma_{pm,t}) \leq A_p (f_{p0,1d} - \sigma_{pm,t}).$$

Възможен е и друг подход за доказване на достатъчна носимоспособност на предварително напрегнати греди. При пренебрегване на армировката за поемане на напречни сили за сечения без наличие на пукнатини може да се използва методът чрез наклонените главни опън напрежения. Те следва да се докажат, че са по-малки от изчислителната якост на опън на бетона.

Този алгоритъм, съгласно [2], може да се приложи за:

- сечения, които в крайно гранично състояние са изцяло натиснати,
- сечения с опънат пояс, за който максималните опънни напрежения в него не надвишават стойността  $f_{ctm}$ ,
- сечения, в които опънатите нишки не са от страната на пояса и максималните опънни напрежения не надвишават стойността  $f_{ctd}$ .

За елементи, отговарящи на горните критерии, този тип проверка може да отпадне за сечения, разположени от опората на разстояние, по-малко от  $x$ . За разлика от проверката с отчитане на напречната армировка и прилагането на фермов модел,  $x$  следва да се разбира равно на отстоянието от крайните натиснати нишки до центъра на тежестта на разглежданото сечение, каквото условие е залегнало и при оразмеряването на нови конструкции.

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk;0,005} / \gamma_c, \quad (9)$$

където  $\alpha_{ct}$  е коефициент, който отчита процента на напречно армиране от табл. 1.

**Таблица 1. Определяне на  $k_1$ ,  $r_{cp}$  и  $\alpha_{ct}$  в зависимост на процента на напречно армиране съгласно [2]**

Процент на напречно армиране	$k_1$	Редуциращ фактор $r_{cp}$ ,	$\alpha_{ct}$
$\rho_{w,prov} \geq \min \rho_w$	1,0	$\frac{0,20 f_{ck}}{P_{m,t} / A_c} \leq 1,0$	1,0
$0,5 \min \rho_w \leq \rho_{w,prov} < \min \rho_w$	1,0	$\frac{(1 + \rho_{w,prov} / \min \rho_w) 0,10 f_{ck}}{P_{m,t} / A_c} \leq 1,0$	1,0
$\rho_{w,prov} < 0,5 \min \rho_w$	0,8	$\frac{0,15 f_{ck}}{P_{m,t} / A_c} \leq 1,0$	0,85

За напречни сечения, с различна ширина по височина, максималното главно напрежение може да възникне в ос несъвпадаща с центъра на тежестта. Поради това проверката следва да бъде направена по височина ( $i$ ) на сечението, съответно за всички комбинации от  $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$ ,  $T_{Ed}$ :

$$\sigma_{I,Ed,i} \leq k_1 f_{ctd}, \quad (10)$$

където 
$$\sigma_{I,Ed,i} = 0,5\sigma_{cx,Ed,i} + \sqrt{0,25\sigma_{cx,Ed,i}^2 + (\tau_{V,Ed,i} + \tau_{T,Ed})^2},$$

$$\sigma_{cx,Ed,i} = \frac{N_{Ed}}{A_C} + \frac{M_{Ed}}{I_y} z_i, \quad (11)$$

$$\tau_{V,Ed,i} = \frac{V_{Ed} S_{y,i}}{I_y b_{w,i}} \quad \text{и}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_T},$$

$z_i$  – отстояние на разглежданото ниво от центъра на тежестта на сечението;

$b_{w,i}$  – ширина на стеблото на разглежданото ниво на сечението;

$W_T$  – съпротивителен момент на напречното сечение при усукване;

$k_1$  – от табл. 1.

Дадената формула е получена от общото уравнение за главни напрежения, при предпоставката, че  $\sigma_y = 0$ :

$$\sigma_{1,2} = 0,5(\sigma_x + \sigma_y) \pm \sqrt{0,25(\sigma_x^2 + 2\sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2) - \sigma_x\sigma_y - \tau_{xy}^2}. \quad (12)$$

За допълнителна сигурност проверката по главни опънни напрежения следва да се проведе при напрежения, получени от редуцирана напрегаща сила –  $r_{cp} P_{m,t}$  (табл. 1).

Конструкциите, чиято достатъчна носимоспособност за поемане на напречни сили е доказана чрез изложения метод, следва задължително да бъдат проверявани за наличието на пукнатини през максимално 3 години съгласно [2].

Подобен метод за оразмеряване на елементи без напречна армировка за сечения, които не са напукани от огъване, е нормиран и в [1] за нови конструкции:

$$V_{Rd,c} = \frac{I b_w}{S} \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l \sigma_{cp} f_{ctd}}. \quad (13)$$

Тук носимоспособността на срязване се ограничава от якостта на опън на бетона, като е отчетено увеличението ѝ при предварително напрегнати конструкции.

## 4. Заключение

Коментираните подходи за оценка на носимоспособността за напречна сила и разграничаването на проверките за носимоспособност от тези за нови съоръжения доказват необходимостта от разработване на специални нормативи за преизчисляване на съществуващите мостове. Те могат да бъдат част от цялостна Наредба за проектиране на мостове в България, с която да се регламентират всички изисквания към нови и съществуващи съоръжения, които не са обхванати от пакета документи EUROCODE [5]. От съществено значение е регламентирането на подходи за усилване и/или възстановяване на съоръженията, включително традиционни и иновативни такива [6]. Въпреки че необходимостта от изготвяне на такъв документ е очевидна, за съжаление той не е сред приоритетите на компетентните държавни органи [7].

Нормативното регулиране на конкретни подходи при преизчислението на съществуващите мостове ще позволи редуцирането на разходите за ремонт, като се ограничи необходимостта от ненужни усилвания на конструктивните елементи. При този тип конструкции има възможност от редуциране на експлоатационния живот и/или въвеждане на ограничители, чрез което при запазване на необходимото ниво на сигурност се позволява бъдещата сигурна експлоатация.

## ЛИТЕРАТУРА

1. BDS EN 1992 – Projektirane na betonni i stomanobetonni konstruksii.
2. Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Abteilung Straßenbau, Ausgabe: 05/2011.
3. The Assessment of Concrete Highway Bridges and Structures. Design Manual for Roads and Bridges, Highways Agency, London, 1995.
4. AASHTO Manual for Bridge Evaluation. American Association of State Highway and Transportation, 2013.
5. *Nikolov, P.* Nasoki kam sadarzhanieto na naredba za projektirane na mostove v Bulgaria 2019 g. // Godishnik na UASG, tom 52, br. 3.
6. *Boshnakov, S.* Eksperimentalno izsledvane za prilagane na tekstilno-armiran beton za usilvane na stomanobetonni mostovi gredi. Mezhdunarodna yubileyana nauchna konferentsia „75-godini UASG“. 1 – 3 noemvri 2017. // Godishnik na UASG, 2018, tom 51, broy 3, Sofia.
7. *Nikolov, P.* Naredba za projektirane na mostove v Bulgaria – edna neosaznata potrebnost. Mezhdunarodna yubileyana konferentsia "80 godini UASG", 9 – 11 noemvri 2022.

# EXISTING BRIDGES – APPROACH FOR SHEAR FORCE ASSESSMENT

I. Topurova<sup>1</sup>

*Keywords: existing bridges, transverse force, assessment*

## ABSTRACT

The differential norms for the assessment of existing bridges are necessary, so that all reserves of the structure can be used, without affecting its security level. They would allow the application of various scientific developments in engineering practice, taking into account the specific loading, damage and execution. Especially with regard to the normatively determined deficits of the shear force capacity of the old bridges, such a regulatory framework would help the designers.

---

<sup>1</sup> Ivanka Topurova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Road Construction and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: [ivankatopurova@yahoo.com](mailto:ivankatopurova@yahoo.com)