



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590103](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590103)

Получена: 04.09.2025 г.

Приета: 04.12.2025 г.

## ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ШИРОЧИНАТА НА НОРМАЛНИ ПУКНАТИНИ В СТОМАНОБЕТОННИ ЕЛЕМЕНТИ СЪГЛАСНО ПРОЕКТА ЗА ЕВРОПЕЙСКИ СТАНДАРТ prEN 1992-1-1:2021E

М. Георгиева<sup>1</sup>

*Ключови думи:* стоманобетонни елементи, пукнатини

### РЕЗИЮМЕ

В статията е разгледана новата формула за определяне на изчислителната широчина на нормалните пукнатини на повърхността на стоманобетонните елементи. Изследвани са причините за включване на нови параметри и тяхното влияние върху изчислителните стойности на широчината на повърхностните пукнатини. Направени са анализи, сравнения, коментари и изводи.

### 1. Въведение

Образуването на пукнатини в стоманобетонните елементи е обичайно явление. Пукнатините възникват тогава, когато опънните напрежения в бетона станат по-големи от неговата якост на опън в момента на напукване  $f_{ct,eff}$ . Причините за поява на пукнатини са преки и непреки въздействия (включително ограничени принудени деформации), действащи по време на строителството и на експлоатацията на стоманобетонните конструкции. Образуване на пукнатини може да се наблюдава и при по-ниски стойности на напреженията на опън от  $f_{ct,eff}$ . Това се дължи на неравномерни самоуравновесяващи се напрежения, породени от деформации на съсъхване, температурни напрежения в ранна възраст, продължително натоварване и на наличието на ефективна опънна зона [1].

<sup>1</sup> Мария Георгиева, ас. инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [m.georgieva\\_fce@uacg.bg](mailto:m.georgieva_fce@uacg.bg)

В проекта на европейски стандарт за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции [1] са направени промени при директния контрол на широчината на нормалните пукнатини в опънатата зона на стоманобетонни елементи.

В настоящата статия е анализирана формулата за определяне на широчината на нормалните пукнатини в стоманобетонни елементи, подложени на центричен опън или на огъване със или без нормална сила (при наличие на опъната зона в напречните сечения), дадена в [1], както и на включените в нея параметри, направени са коментари и изводи.

## 2. Изчисляване на широчината на нормалните пукнатини в стоманобетонни елементи

Широчината на нормалните пукнатини в опънатата зона на стоманобетонни елементи се ограничава до гранична стойност, която няма да наруши нормалната експлоатация или дълготрайност на конструкцията или няма да доведе до неприемлив външен вид, и която е указана в националното приложение на действащия понастоящем стандарт за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции [2]. В новата версия на Еврокод 2 [1] нормираната гранична стойност  $w_{lim,cal}$  за изчислителната широчина на пукнатината  $w_{k,cal}$  се отнася за повърхността на елемента, като тази стойност се определя според предназначението и вида на конструкцията, както и с отчитане на разходите за ограничаване на пукнатините. Граничната широчина на нормалните пукнатини  $w_{lim,cal}$  се приема според изисквания, свързани с външния вид и изисквания, свързани с дълготрайността на конструкцията. За гарантиране на приемлив външен вид на стоманобетонните елементи в [1] се нормира гранична стойност  $w_{lim,cal} = 0,4 \text{ mm}$ , а за осигуряване на дълготрайност на ненапрегнати елементи при клас по въздействие на околната среда XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XS1, XS2 или XS3 се приема  $w_{lim,cal} = 0,3 k_{surf}$ , mm. Коефициентът  $k_{surf}$  отчита разликата между увеличената широчина на повърхностната пукнатина и граничната средна широчина на пукнатината при минималното покритие  $c_{min,dur}$  съгласно изискванията за дълготрайност:  $1,0 \leq k_{surf} = c_{akt} / c_{nom} \leq 1,5$ , където  $c_{akt} \geq c_{nom} = 10 \text{ mm} + c_{min,dur}$  е действително определеното бетонно покритие при конструиране на елемента или при изпълнение. При конструкции за съхраняване на течности се спазват допълнителни условия, свързани с изисквания за водоплътност, при което се получават значително по-малки стойности за  $w_{lim,cal}$ .

За контрол на широчината на пукнатините, трябва да се постави минимално количество армировка във всички сечения, в които армировката не е определена от усилия в крайно гранично състояние, и в които се очаква да възникне опън [1 – 3]. Освен това Еврокод 2 се прилага за оребрени армировъчни пръти, които имат значително по-голямо сцепление с бетона и по този начин ограничават отварянето на пукнатини.

При ненапрегнати стоманобетонни елементи изчислителната широчина на повърхностната пукнатина  $w_{k,cal}$  се определя при квазипостоянна комбинация на въздействията [1] по формула (1):

$$w_{k,cal} = k_w k_{1/r} s_{rm,cal} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{lim,cal}, \quad (1)$$

където  $k_w$  е коефициент, превръщащ средната ширина на пукнатината в изчислителна (максимална) ширина на пукнатината, който може да се приеме равен на 1,7. Тази стойност е национално определен параметър, тъй като е свързана с риска, който инвеститорът е готов да поеме за контролиране на повърхностни пукнатини, които са с по-голяма ширина от установената средна стойност [4];

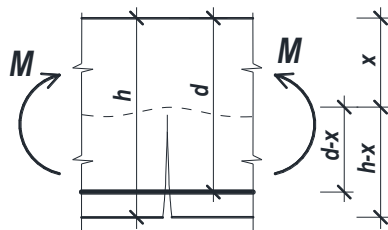
$s_{r,cal}$  – средно изчислително разстояние между пукнатините;

$\varepsilon_{sm}$  – средна деформация в армировката, която е най-близо до най-опънатата бетонна повърхност при съответната комбинация от въздействия, включително ефекта от принудени деформации и с отчитане на ефектите от опънното закоравяване;

$\varepsilon_{cm}$  – средна деформация на бетона между пукнатини на нивото на  $\varepsilon_{sm}$ ;

$k_{1/r}$  – коефициент, отчитащ увеличаването на широчината на пукнатината поради кривината (фиг. 1).

Включването на коефициента  $k_{1/r}$  във формула (1) [1] се дължи на увеличаване на широчината на пукнатината от нивото на центъра на опънатата армировка към най-опънатата повърхност заради кривината в елементи, подложени на огъване със или без осова сила (при наличие и на опънна зона). Това увеличение е очевидно в проведени експериментални данни и е важно при оценка на широчината на повърхностните пукнатини на елементи с големи диаметри на прътите и голямо бетонно покритие [4].



**Фиг. 1. Увеличаване на широчината на пукнатината от нивото на опънатата армировка към опънатата повърхност на елемент, подложен на огъване**

Увеличаването на отварянето на пукнатината е пропорционално на коефициента  $k_{1/r}$ , който се определя по формула (2):

$$k_{1/r} = \frac{h-x}{d-x}, \quad (2)$$

където  $h$  е височина на напречното сечение на елемента в mm;

$d$  – полезна височина на сечението, mm;

$x$  – височина на натисковата зона в напуканото сечение, mm.

При центричен опън  $k_{1/r} = 1$ , а при нецентричен опън с малък ексцентрицитет (изцяло опънато сечение) ефектът от кривината е благоприятен за по-слабо опънатата повърхност на елемента и тогава този коефициент е по-малък от 1,0 ( $k_{1/r} < 1$ ).

Ако се запише, че максималното разстояние между нормалните пукнатини е  $s_{r,max} = k_w s_{r,cal}$ , формула (1) добива същия вид като дадената в съществуващия стандарт за проектиране на стоманобетонни конструкции [2], но умножена с коефициента

$k_{1/r}$  за получаване на широчината на пукнатината не на ниво център на тежестта на опънатата армировка, а на най-опънатата повърхност на елемента.

От формула (1) се вижда, че определянето на широчината на повърхностните пукнатини се разделя на две стъпки [5]: изчисляване на средното разстояние между пукнатините и определяне на средните деформации в най-опънатите армировъчни пръти и на бетона на същото ниво.

За елементи, подложени на преки натоварвания (във фазата на стабилизирано напукване) или подложени на принудени деформации (във фазата на пукнатинообразуване), когато доминира запъването в краищата,  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  може да се изчисли по формула (3):

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (3)$$

където  $\sigma_s$  е напрежението в опънатата армировка, която е най-близко до опънатата бетонна повърхност при прието напукано сечение, МРа;

$\alpha_e = E_s / E_{cm}$  е отношението на модула на еластичност  $E_s$  на обикновената армировка, МРа, към секущия модул на еластичност на бетона  $E_{cm}$ , МРа;

$\rho_{p,eff}$  – ефективен коефициент на армиране в опънатата зона на бетона (зоната в близост до надлъжната опънна армировка);  $\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$  за ненапрегнати стоманобетонни елементи;

$A_s$  – площ на надлъжната армировка в опънатата зона на напречното сечение,  $\text{mm}^2$ ;

$A_{c,eff}$  – ефективна площ на бетона в опънатата зона,  $\text{mm}^2$ ;

$f_{ct,eff}$  – средна ефективна якост на опън на бетона в момента  $t$  на поява на първа пукнатина в стоманобетонния елемент:  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$  за  $t \geq 28$  дни;  $f_{ct,eff} = f_{ctm}(t)$ , ако се очаква напукване при  $t < 28$ -ия ден;

$k_t$  – коефициент, зависещ от продължителността и характера на натоварването (табл. 1).

**Таблица 1. Стойности на коефициента  $k_t$**

Коефициент $k_t$	Според новата версия на Еврокод 2 [1]	Според съществуващия стандарт [2]
0,6	- за кратковременно натоварване; - за мигновено натоварване; - за продължително натоварване в етапа на пукнатинообразуване; - за повтарящо се натоварване в етапа на пукнатинообразуване	- за кратковременно натоварване
0,4	- за продължително натоварване в етапа на стабилизирано напукване; - за повтарящо се натоварване в етапа на стабилизирано напукване	- за продължително натоварване

Формула (3) не отчита ефекта от съсъхване на бетона. Според [1] ефектите от съсъхването трябва да бъдат отчетени при стоманобетонни елементи, армирани с ниски коефициенти на армиране или изготвени с високоякостен бетон, или когато бетонът е натоварен в ранна възраст.

Средното изчислително разстояние между пукнатините  $s_{m,cal}$  се изчислява в зависимост от осовото разстояние между надлъжните опънни пръти [1].

Когато разстоянието между центровете на прътите на армировката в опънната зона, работеща със сцепление с бетона, е  $s \leq 10\phi$ , се прилага формула (4):

$$s_{m,cal} = 1,5c + \frac{k_{fl} k_b}{7,2} \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} \leq 1,3(h - x), \quad (4)$$

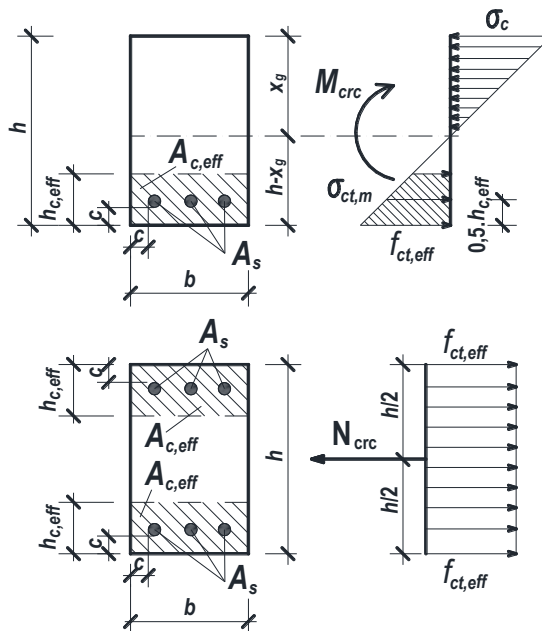
където  $c$  е бетонно покритие на надлъжната армировка в mm. За ъглови пръти се прилага максималната стойност на покритието, ако вертикалното и хоризонталното покритие се различават;

$\phi$  – диаметър на надлъжните опънни пръти, mm;

$k_{fl}$  – коефициент, който отчита факта, че средните напрежения в бетона  $\sigma_{ct,m}$  в ефективната опънна зона при елементи, подложени на огъване със или без нормална сила (когато е налице и опънна зона в сечението) непосредствено преди напукване са по-малки от средната му якост на опън  $f_{ct,eff}$  в момента на поява на пукнатина (фиг. 2):

$\sigma_{ct,m} = k_{fl} f_{ct,eff}$ . Изключение е случаят на натоварване на центричен опън, при който

$\sigma_{ct,m} = f_{ct,eff}$ .



Фиг. 2. Напрежения в бетона непосредствено преди поява на пукнатина при елемент, подложен на огъване и при елемент, подложен на центричен опън

В общия случай коефициентът  $k_{fl}$  се изчислява по формула (5):

$$k_{fl} = \frac{h - x_g - 0,5h_{c,eff}}{h - x_g}, \quad (5)$$

където  $x_g$  е височината на натисквата зона непосредствено преди напукване на елемента;

$h_{c,eff}$  – височината на ефективната опънна зона на бетона (фиг. 2).

При елементи, подложени на централен опън,  $k_{fl} = 1$ .

Коефициентът  $k_b$  отчита позицията на надлъжните опънни пръти при бетониране, която оказва влияние върху сцеплението между бетона и армировката и върху разстоянието между образуваните нормални пукнатини в елементите. Проведени експериментални изследвания на стоманобетонни греди, подложени на огъване [4], показват, че по долната опъната страна на елементите (долната надлъжна армировка е бетонирана при добри условия на сцепление) се образуват повече на брой по-близко разположени пукнатини, отколкото по горната страна, когато тя е опъната. Ето защо в [1] са заложили следните стойности на коефициента  $k_b$ , които съответстват на

експериментално получените резултати за  $s_{rm,cal}$ :  $k_b = 0,9 + 0,6 \frac{\phi}{c}$  – при недобри (лоши) условия на сцепление;  $k_b = 0,9$  – при добри условия на сцепление.

Първото събираемо във формула (4) отчита влиянието на бетонното покритие върху стойността на  $s_{rm,cal}$ , а второто събираемо взема предвид влиянието на сцеплението между бетона и надлъжните опънни пръти и на отношението  $\phi / \rho_{p,eff}$ .

Когато разстоянието между центровете на прътите на армировката в опънната зона, работеща със сцепление с бетона, е  $s > 10\phi$ , или когато армировката в опънната зона няма с сцепление с бетона, средното разстояние между пукнатините се изчислява по формула (6):

$$s_{rm,cal} = 1,3(h - x). \quad (6)$$

В табл. 2 е направено сравнение между формулите за разстоянието между нормалните пукнатини, дадени в проекта за нова версия на Еврокод 2 [1] и в съществуващия стандарт [2].

**Таблица 2. Разстояние между нормалните пукнатини**

Според новата версия на Еврокод 2 [1]		Според съществуващия стандарт [2]
Средно разстояние $s_{rm,cal}$	Максимално разстояние $s_{r,max}$	Максимално разстояние $s_{r,max}$
<p>1. При <math>s \leq 10\phi</math>:</p> $s_{rm,cal} = 1,5c + \frac{k_{fl} k_b}{7,2} \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}};$ $s_{rm,cal} \leq 1,3(h - x)$	$s_{r,max} = 1,7s_{rm,cal}$	<p>1. При <math>s \leq 5(c + \phi / 2)</math>:</p> $s_{r,max} = 3,4c + 0,34k_2 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}$ <p><math>k_2 = 0,5</math> при огъване; <math>k_2 = 1,0</math> при централен опън</p>
<p>2. При <math>s &gt; 10\phi</math>:</p> $s_{rm,cal} = 1,3(h - x)$		<p>2. При <math>s &gt; 5(c + \phi / 2)</math>:</p> $s_{r,max} = 1,3(h - x)$

Сравнението между формулите за изчисляване на широчината на нормалните пукнатини, залегнали в [1] и в [2], показва, че в проекта за нов стандарт за проектиране на стоманобетонни конструкции [1] са заложили следните промени:

1) Широчината на нормалните пукнатини  $w_{k,cal}$  в [1] се изчислява за най-опънатата повърхност на елемента, а в съществуващия стандарт [2] се определя широчината  $w_k$  на ниво център на тежестта на опънатата армировка ( $w_{k,cal} = k_{1/r} w_k$ ). Ето защо в [1] граничната стойност  $w_{lim,cal}$  на изчислителната широчина на пукнатината се отнася за повърхността на стоманобетонния елемент.

2) Включен е нов коефициент  $k_{1/r}$  за отчитане на влиянието на кривината (увеличаване на широчината на пукнатината от нивото на центъра на опънатата армировка към най-опънатата повърхност в елементи, подложени на огъване със или без осова сила).

3) За коефициента  $k_f$ , зависещ от продължителността и характера на натоварването, са допълнени и други възможности за натоварването (табл. 1).

4) Въведен е коефициентът  $k_p$  на базата на експериментални изследвания, доказващи, че позицията на бетонирането има силно влияние върху разстоянието между пукнатините, увеличавайки го, когато опънните пръти са бетонирани при „недобри“ условия на сцепление с бетона [4].

5) Разстоянието между центровете на прътите на армировката в опънатата зона, което определя по коя формула да се изчислява средното разстояние между нормалните пукнатини, в новата версия на Еврокод 2 [1] е в зависимост само от диаметъра на прътите ( $s \leq 10\phi$  или  $s > 10\phi$ ), а не и от бетонното покритие, както е заложило в съществуващия стандарт  $s \leq 5(c + \phi/2)$  или  $s > 5(c + \phi/2)$  [2] за определяне на максималното разстояние между пукнатините. Всъщност граничната стойност  $s = 5(c + \phi/2)$  по [2] означава пет пъти разстоянието между най-опънатия ред армировка и най-опънатия рѐб на сечението.

6) При гъсто разположени пръти ( $s \leq 10\phi$ ) формулите за определяне на разстоянието между нормалните пукнатини, залегнали в [1] и в [2], са различни (табл. 2).

7) При едно и също напречно сечение и еднакво количество вложена армировка по [1] и по [2] се получават различни стойности за ефективния коефициент на армиране в опънатата зона на бетона  $\rho_{p,eff}$ , тъй като в проекта за европейски стандарт [1] е променен начинът за определяне на ефективната площ на бетона в опънатата зона  $A_{c,eff}$ .

При определяне на височината на ефективната опъната зона  $h_{c,eff}$  в [1] отпада ограничението  $h_{c,eff} \leq (h-x)/3$ , дадено в [2], защото то може да доведе до абсурдния резултат, че армировъчните пръти са извън ефективната зона при големи бетонни покрития и големи коефициенти на армиране [4].

Височината на ефективната опъната зона  $h_{c,eff}$  в [1] се изчислява по формула (7) или формула (8):

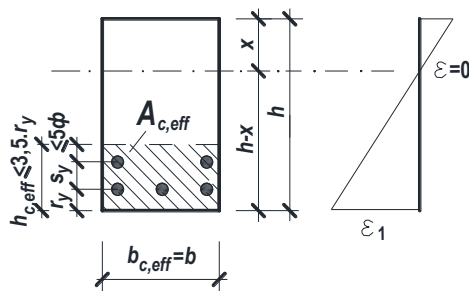
– за опъната армировка в един ред:

$$h_{c,eff} = \min(r_y + 5\phi; 10\phi; 3,5r_y) \leq |h-x|; \quad (7)$$

– за опънна армировка в  $n$  броя редове:

$$h_{c,eff} = \min(r_y + 5\phi; 10\phi; 3,5r_y) + (n-1)s_y \leq |h-x|, \quad (8)$$

където  $r_y = c + \phi/2$  е разстоянието от най-опънатата бетонна повърхност до центъра на прътите в най-външен ред, mm, а  $s_y$  е разстоянието между центровете на прътите в отделни съседни редове, mm (фиг. 3).

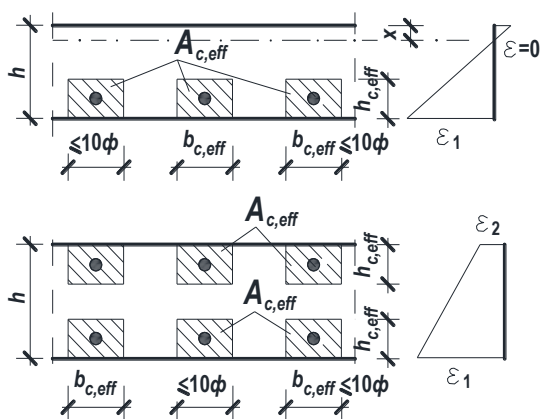


Фиг. 3. Определяне на  $A_{c,eff}$  за група от пръти според [1]

Когато ефективните площи на опън на отделните пръти се припокриват, се разглежда група от пръти. При правоъгълно напречно сечение за група от пръти широчината на ефективната опънна зона е  $b_{c,eff} = b$  (фиг. 3). Широчината на ефективната опънна зона  $b_{c,eff}$  на отделен прът (фиг. 4) се определя по формула (9):

$$b_{c,eff} = \min(r_x + 5\phi; 10\phi; 3,5r_x), \quad (9)$$

където  $r_x$  е хоризонталното разстояние от ъгловия прът до бетонната повърхност.



Фиг. 4. Определяне на  $A_{c,eff}$  за отделни пръти при елементи, подложени на огъване без и със нормална опънна сила, според [1]

### 3. Числен пример

Изчислена е широчината на нормалните пукнатини в етапа на стабилизирано напукване според [1 и 2] в стоманобетонна греда, подложена на огъване, с правоъгълно напречно сечение с размери  $h/b = 400/250$  mm, изпълнена с бетон клас C25/30 и армировъчна стомана клас B500B. Долната надлъжна опънна армировка е от 4 броя пръти, разположени в един ред, с бетонно покритие  $c = 35$  mm. Разгледани са различни диаметри на прътите (табл. 3). Напрежението в опънната армировка при квазипостоянна комбинация на въздействията е  $\sigma_s = 200$  МПа. Крайният коефициент на пълзене на бетона е  $\varphi = 3,0$ .

**Таблица 3. Характеристики на сечението на стоманобетонната греда в разглеждания числен пример**

Пръти	$A_s$ , mm <sup>2</sup>	$d$ , mm	$b_{c,eff}$ , mm	$h_{c,eff}$ , mm			$\rho_{p,eff}$		
				според [1]	според [2]	разлика, %	според [1]	според [2]	разлика, %
4φ10	314,2	360	250	90	92	-2,2	0,01396	0,01366	2,2
4φ12	452,4	359		101	86	17,4	0,01792	0,02104	-17,4
4φ14	615,8	358		112	81	38,3	0,02199	0,03041	-38,3
4φ16	804,2	357		123	76	61,8	0,02615	0,04233	-61,8
4φ18	1017,9	356		134	71	88,7	0,03039	0,05735	-88,7
4φ20	1256,6	355		145	67	116,4	0,03466	0,07502	-116,4
4φ22	1520,5	354		156	63	147,6	0,03899	0,09654	-147,6

Анализът на резултатите в табл. 3 за разглеждания пример показва разлики от 2,2% ÷ 147,6% в стойностите на височината на ефективната опънна зона  $h_{c,eff}$  и на ефективния коефициент на армиране в опънната зона на бетона  $\rho_{p,eff}$ , определени според [1 и 2], при нарастване на диаметъра на прътите  $\phi$  и площта на надлъжната опънна армировка  $A_s$ . Процентната разлика се увеличава при увеличаване на  $A_s$ , защото с увеличаване на диаметъра  $\phi$  нараства височината  $h_{c,eff}$  според формулите, дадени в [1], а според формулите на [2]  $h_{c,eff}$  намалява с увеличаване на площта  $A_s$ . Това се дължи на факта, че в примера резултатите за  $h_{c,eff}$ , определени според съществуващия стандарт [2], се изчисляват по формулата  $h_{c,eff} = (h - x) / 3$ , която е отпаднала в проекта за нов европейски стандарт [1], защото по нея стойностите за  $h_{c,eff}$  са малки при големи коефициенти на армиране и може да се получи абсурдният резултат, че надлъжните армировъчни пръти са извън ефективната опънна зона на бетона, когато бетонното покритие на армировката  $c$  и диаметърът на прътите  $\phi$  са големи. В новата версия на Еврокод 2 [1] височината на ефективната опънна зона на бетона  $h_{c,eff}$  нараства линейно с увеличаване на диаметъра на опънните пръти  $\phi$ , което е логично, защото

равнодействащата сила на напреженията на сцепление между бетона и надлъжните пръти е правопропорционална на диаметъра на прътите и при по-големи диаметри се получава по-голяма площ на ефективната зона от бетон около армировъчните пръти.

В табл. 4 максималното разстояние между нормалните пукнатини според проекта за нов стандарт [1] е определено по формулата  $s_{r,max} = 1,7s_{r,cal}$ . За разглеждания пример разликата в стойностите на  $s_{r,max}$ , изчислени по двата стандарта, са в границите 0,3 % ÷ 17,5 %, като и при двата варианта на Еврокод 2 се наблюдава намаляване на разстоянието между нормалните пукнати с увеличаване на диаметъра на прътите  $\phi$  и на площта на опънната армировка  $A_s$ . Разликата между средните деформации на опънната армировка и на бетона на нивото на армировката ( $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ ) нараства с увеличаване на диаметъра  $\phi$  и на площта на надлъжната армировка  $A_s$ , като по съществуващия стандарт [2] се получават с до 10,1 % по-големи стойности от определените по [1]. При армиране на стоманобетонната греда с опънна армировка от  $4\phi 10$  и по двата стандарта се получава  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,6\sigma_s / E_s = 6,0 \cdot 10^{-4}$ .

**Таблица 4. Разстояние между нормалните пукнатини и разлика между средните деформации на армировката и бетона в стоманобетонната греда от примера**

Пръти	$k_{fl}$ според [1]	$s_{r,cal}$ , mm според [1]	$s_{r,max}$ , mm			$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \cdot 10^4$		
			според [1]	според [2]	разлика, %	според [1]	според [2]	разлика, %
4 $\phi$ 10	0,7750	121,9	207,2	243,5	-17,5	6,00	6,00	0,0
4 $\phi$ 12	0,7475	115,1	195,6	216,0	-10,4	6,77	7,20	-6,4
4 $\phi$ 14	0,7200	109,8	186,7	197,3	-5,7	7,31	7,96	-8,9
4 $\phi$ 16	0,6925	105,5	179,3	183,3	-2,2	7,68	8,44	-9,9
4 $\phi$ 18	0,6650	101,7	172,9	172,4	0,3	7,96	8,76	-10,1
4 $\phi$ 20	0,6375	98,5	167,4	164,3	1,9	8,17	8,98	-9,9
4 $\phi$ 22	0,6100	95,5	162,4	157,7	3,0	8,34	9,13	-9,5

В табл. 5 са дадени резултатите за широчината на нормалните пукнатини в разглежданата стоманобетонна греда на ниво център на тежестта на опънната армировка  $w_k$ , изчислени според [1 и 2], както и широчината на повърхностната пукнатина  $w_{k,cal} = k_{1/r} w_k$ , определена по [1]. Разликите между стойностите за широчината  $w_k$ , получени по двата стандарта, са в границите 6,7 ÷ 18,2 %. За разглеждания пример не се забелязва ясна тенденция за нарастване или намаляване на стойностите на  $w_k$ , изчислени според [1 и 2], с увеличаване на диаметъра на надлъжните пръти  $\phi$  и площта на надлъжната опънна армировка  $A_s$ . Стойностите на широчината на повърхностната пукнатина  $w_{k,cal}$  се увеличават с нарастване на диаметъра на прътите  $\phi$  и площта на надлъжната опънна армировка  $A_s$ .

**Таблица 5. Широчина на нормалните пукнатини в стоманобетонната греда от разглеждания пример**

Пръти	$k_{1/r}$ според [1]	$w_k$ , mm			$w_{k,cal} = k_{1/r} w_k$ , mm според [1]
		според [1]	според [2]	разлика, %	
4φ10	1,169	0,124	0,146	-17,7	0,145
4φ12	1,188	0,132	0,156	-18,2	0,157
4φ14	1,210	0,136	0,157	-15,4	0,165
4φ16	1,234	0,138	0,155	-12,3	0,170
4φ18	1,260	0,138	0,151	-9,4	0,173
4φ20	1,288	0,137	0,148	-8,0	0,176
4φ22	1,322	0,135	0,144	-6,7	0,179

По-категорични изводи относно новата формула за определяне на изчислителната широчина на нормалните пукнатини на повърхността на стоманобетонните елементи, залегнала в проекта на европейски стандарт за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции [1] могат да се направят след допълнителни теоретични анализи и сравнение с проведени експериментални изследвания на стоманобетонни елементи, подложени на огъване, центричен или нецентричен опън или нецентричен натиск (при наличие и на опънна зона в сеченията). Експериментални изследвания у нас за отваряне на пукнатини в стоманобетонни греди, подложени на огъване, са проведени и докладвани в [9 – 13]. Резултатите от проведените експерименти у нас и в чужбина показват, че изчислителната широчина (максимална и средна) на нормалните пукнатини обикновено се различава от измерената широчина на пукнатините поради неотчетения в изчисленията ефект на съсъхване на бетона, възникващ преди изпитването, а също поради разсейване на получените стойности. Следователно не е възможно да се направи точно сравнение между изчислителните модели и експерименталните бази данни по отношение на широчината на нормалните пукнатини [4].

#### 4. Заключение

В резултат на направените анализи, сравнения и констатации в настоящата статия могат да се направят следните изводи:

Заманата на формулата за широчината на нормалните пукнатини в стоманобетонни елементи на ниво център на опънната армировка  $w_k$  според съществуващия стандарт Еврокод 2 [2] с формула за изчислителната широчина на пукнатината  $w_{k,cal} = k_{1/r} w_k$  на най-опънатата повърхност на елемента в новата версия на европейския стандарт за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции [1] позволява по-лесно сравнение на изчислителните с експерименталните резултати. В [1] граничната стойност  $w_{lim,cal}$  на изчислителната широчина на пукнатината се отнася за повърхността на стоманобетонния елемент, което означава по-строг контрол на отварянето на нормални пукнатини, защото в общия случай широчината на повърхностните пукнатини е по-голяма от широчината им на ниво център на тежестта на опънната армировка.

Във формула (1) за определяне на  $w_{k,cal}$  е включен нов коефициент  $k_{1/r}$  за отчитане на влиянието на кривината на елемента.

За коефициента  $k_c$ , зависещ от продължителността и характера на натоварването, са допълнени и други възможности за натоварването (табл. 1).

Във формула (1) е въведен коефициент  $k_b$ , който взема под внимание позицията на бетонирването, която влияние върху разстоянието между пукнатините, увеличавайки го, когато опънните пръти са бетонирани при „недобри“ условия на сцепление с бетона [4].

Разстоянието между центровете на прътите на армировката в опънната зона, което определя по коя формула да се изчислява средното разстояние между нормалните пукнатини, в новата версия на Еврокод 2 [1] е в зависимост само от диаметъра на прътите ( $s \leq 10\phi$  или  $s > 10\phi$ ), а не и от бетонното покритие.

При гъсто разположени пръти ( $s \leq 10\phi$ ) формулите за определяне на разстоянието между нормалните пукнатини, залежали в [1] и в [2], са различни (табл. 2).

В проекта за европейски стандарт [1] е променен начинът за определяне на ефективната площ на бетона в опънната зона  $A_{c,eff}$ , поради което при едно и също напречно сечение и еднакво количество вложена армировка по [1] и по [2] се получават различни стойности за ефективния коефициент на армиране в опънната зона на бетона  $\rho_{p,eff}$ .

По-задълбочени изводи относно новата формула за определяне на изчислителната широчина на нормалните пукнатини на повърхността на стоманобетонните елементи, залежала в проекта на европейския стандарт за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции [1], могат да се направят след допълнителни теоретични анализи и сравнение с проведени експериментални изследвания на стоманобетонни елементи, подложени на центричен опън или на огъване със или без нормална сила.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. prEN 1992-1-1:2021E – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules – Rules for buildings, bridges and civil engineering structures, 2021.
2. BDS EN 1992-1-1:2005 – Evrokod 2: Projektirane na betonni i stomanobetonni konstruktсии. Chast 1-1: Obshti pravila i pravila za sgradi, 2007.
3. Gueorguieva, M. Minimalna plosht na nadlazhnata armirovka v opannata zona na stomanobetonni elementi za control na puknatinitе. Sbornik dokladi ot godishna universitetska nauchna konferenciya, 05 ÷ 06.06.2025, NVU „Vasil Levski”, tom 4, ISSN 1314-1937, p. 87-96.
4. Pérez Caldentey, A., Garcia, R., Gribniak, V., Rimkus, A. Refined control of cracking. Background Document for prEN 1992-1-1, CEN/TC 250/SC 2 N2087, p. 371 – 383.
5. Rusev, K. Stomanobeton – NPBSK i EC. ABC Tehnika, 2008, ISBN 954-8873-86-4.
6. Ganz, H. Design of concrete structures. Eurocode Conference, Berlin, 24 may 2023.
7. Gueorguieva, M. Efektivna plosht na betona v opannata zona na stomanobetonni elementi. Sbornik dokladi ot godishna universitetska nauchna konferentsiya, 05 ÷ 06.06.2025, NVU „Vasil Levski”, tom 4, ISSN 1314-1937, p. 77 – 85.
8. Gueorguieva, M. Maksimalno dopustimo naprezhenie v nadlajnata armirovka na stomanobetonni elementi, podlozheni na tsentrichen opan, za control na shirochinata na puknatinitе. Sbornik dokladi ot godishna universitetska nauchna konferentsiya, 05 ÷ 06.06.2025, NVU „Vasil Levski”, tom 4, ISSN 1314-1937, p. 97 – 106.
9. Ivanchev, I. Investigation of the Influence of Concrete Cover on the Crack Width and Spacing for Reinforced Concrete Elements Subjected to Bending, Symposium 2016 of the Association of Structural Engineers of Serbia, Zlatibor, Serbia, ISBN 978-86-7892-839-0, 2016, p. 163 – 172.

10. *Ivanchev, I.* Eksperimentalno opredelyane na vliyanieto na otnoshenieto  $\phi / \rho_{eff}$  varhu shirochinata na puknatinite i razstoyaniето mezhdu tyah pri stomanobetonni elementi, podlozheni na ogavane. „Kontakti”, 01(105), 2017, ISSN 1311-7939, p. 50 – 55.

11. *Ivanchev, I.* Comparison of the Experimentally Determined Crack Width in RC Elements, Subjected to Bending and Crack Width Obtained According to Different Building Codes, 17th International Scientific Conference VSU'2017, Sofia, 2017, ISSN: 1314-071X, p. 213 – 218.

12. *Ivanchev, I.* Experimental Determination of the Crack Widths in RC Elements, Subjected to Bending, 17th International Scientific Conference VSU'2017, Sofia, 2017, ISSN: 1314-071X, p. 207 – 212.

13. *Ivanchev, I.* Experimental Determination of Crack Widths in Reinforced Concrete Elements, Subjected to Repeated Loads, Proceedings of the 16th International Conference on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, October 2018, Bratislava, Slovakia, Faculty of Civil Engineering, STU Bratislava, 2018, ISBN 978-80-227-4845-2, p. 71 – 80.

## **CALCULATION OF THE WIDTH OF NORMAL CRACKS IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS ACCORDING TO THE DRAFT EUROPEAN STANDARD prEN 1992-1-1:2021E**

**M. Gueorguieva<sup>1</sup>**

*Keywords: reinforced concrete elements, cracks*

### **ABSTRACT**

The paper discusses the new formula for determining the design width of normal cracks on the surface of reinforced concrete elements. The reasons for including new parameters and their influence on the design values of the width of surface cracks are studied. Analyses, comparisons, comments and conclusions are made.

---

<sup>1</sup> Maria Gueorguieva, Assist. Prof. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [m.georgieva\\_fce@uacg.bg](mailto:m.georgieva_fce@uacg.bg)