



DOI: [10.71167/uaceg.2026.590102](https://doi.org/10.71167/uaceg.2026.590102)

Получена: 03.09.2025 г.

Приета: 12.01.2026 г.

НОВАТА ВЕРСИЯ prEN 1992-1-2:2021E ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ КОНСТРУКЦИИ ЗА ПОЖАРНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Б. Захариева-Георгиева¹

Ключови думи: стоманобетонни елементи, огнеустойчивост

РЕЗЮМЕ

Статията разглежда основните промени в предварителния европейски стандарт prEN 1992-1-2:2021E за проектиране на стоманобетонни конструкции, подложени на пожарно въздействие. Направен е кратък обзор и анализ на някои основни постановки за изчисляване на стоманобетонни елементи при пожарна ситуация.

1. Въведение

Част 1-2 на Еврокод 2 описва изискванията и правилата за конструктивно проектиране на стоманобетонни сгради за пожарна ситуация. Документът дава допълнителни принципи и правила за приложение спрямо проектирането за нормална температура. В проекта на европейски стандарт за проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции, изложени на пожарно въздействие [1], са залегнали редица промени в сравнение със съществуващия стандарт [2].

В настоящата статия е направен кратък обзор и анализ на някои основни постановки в проектостандарта [1], приложени са коментари и изводи.

¹ Борянка Захариева-Георгиева, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: boriana_fce@uacg.bg

2. Структура на новата версия на част 1-2 на Еврокод 2

Новата версия на част 1-2 на Еврокод 2 [1] се прилага за бетонни и стоманобетонни конструкции, които трябва да изпълняват носеща функция, разделителна функция, или и двете функции и които за нормална температура са проектирани съгласно част 1-1 на Еврокод 2 [3].

Проектостандартът [1] съдържа 75 страници, за разлика от действащия в момента стандарт [2], който се състои от 97 страници. Това намаляване на обема е в резултат на по-стройното излагане на принципите и правилата за проектиране на конструкции срещу въздействие от пожар и облекчава работата на проектантите.

Документът [1] съдържа следните глави:

0. Въведение
1. Обхват
2. Позовавания
3. Термини, определения и символи
4. Основи на проектирането
5. Характеристики на материалите
6. Таблични данни
7. Опростени изчислителни методи
8. Усъвършенствани изчислителни методи
9. Конструиране
10. Правила против разцепване

В [1] са включени и 3 броя приложения, които третират специфични въпроси в проектантската и строителната практика [3]:

Приложение А (нормативно): Характеристики на армиран със стоманени влакна бетон при висока температура;

Приложение В (информационно): Конструкции от бетон с рециклирани добавъчни материали;

Приложение С (нормативно): Изкълчване на колони при пожар.

Прави впечатление, че от основната част на [1] е премахната главата за високоякостен бетон, която в действащия понастоящем стандарт [2] дава допълнителни изисквания за проектиране на стоманобетонни елементи и конструкции, изготвени от бетон с клас, по-висок от C50/60. Освен това в [1] липсват по-голяма част от приложенията на съществуващия стандарт [2]: не е дадено приложение с температурни профили за плочи, греди и колони; отпаднали са двете приложения за опростени изчислителни методи, както и приложението за изчисляване на стоманобетонни елементи на срязване, усукване и за изчисляване на дължината на закотвяне. Новите приложения А и В касаят по-специални случаи, които са разгледани и в [3].

3. Основни промени в новата версия на част 1-2 на Еврокод 2

Общите правила за проектиране при пожарна ситуация се запазват. Когато се изисква носимоспособност при пожар, бетонните и стоманобетонните конструкции се проектират и конструират по такъв начин, че да запазят своята носеща функция през цялото изисквано време на съответното пожарно въздействие. Когато се изисква разделяне, елементите, оформящи границите на пожарния сектор, включително фугите, трябва да бъдат проектирани и изградени по такъв начин, че да поддържат своята

разделителна функция по време на въздействието от пожар. Това гарантира, че не възниква нарушение на целостта на елементите и не възниква гранично състояние по изолираща способност.

За доказване на носимоспособността могат да се използват познатите методи за проектиране при пожарно въздействие:

- таблични данни за отделни видове елементи;
- опростени изчислителни методи за отделни видове елементи;
- усъвършенствани изчислителни методи за анализ на елементи, части от конструкцията или цялата конструкция.

Методите, дадени в съществуващия стандарт [2], са приложими за бетон с нормална плътност и клас по якост на натиск до C90/105 и за бетони с леки добавъчни материали с класове до LC55/60. В новата версия [1] е включен и допълнителен клас високоякостен бетон C100/115 [3 – 4], а за бетоните с леки добавъчни материали ограничението е до клас LC50/60.

Таблица 1. Стойности на основните параметри на зависимостите „напрежения-деформации“ за обикновен бетон със силициеви или варовикови добавъчни материали при високи температури

Температура на бетона θ , °C	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_{ck}$			$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
	$f_{ck} < 70$ МПа		$f_{ck} \geq 70$ МПа за всеки вид добавъчни материали		
	Силициеви добавъчни материали	Варовикови добавъчни материали			
20	1,00	1,00	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	1,00	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,97	0,75	0,0055	0,0250
300	0,85	0,91	0,75	0,0070	0,0275
400	0,75	0,85	0,75	0,0100	0,0300
500	0,60	0,74	0,60	0,0150	0,0325
600	0,45	0,60	0,45	0,0250	0,0350
700	0,30	0,43	0,30	0,0250	0,0375
800	0,15	0,27	0,15	0,0250	0,0400
900	0,08	0,15	0,08	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,06	0,04	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,02	0,01	0,0250	0,0475
1200	0,00	0,00	0,00	–	–

Зависимостите напрежения-деформации за бетон, подложен на едноосов натиск при високи температури се определят от три параметъра: якостта на натиск $f_{c,\theta}$ при температура θ ; деформацията $\varepsilon_{c1,\theta}$, съответстваща на напрежение $f_{c,\theta}$, и граничната деформация $\varepsilon_{cu1,\theta}$. Докато в действащия понастоящем стандарт [2] са дадени две таблици

за характеристиките на бетона при високи температури – една за бетони с класове до C50/60 и друга за високоякостни бетони, които са разделени в три класа, в новия вариант на част 1-2 на Еврокод 2 [1] е приложена само една таблица (табл. 1), което е улеснение за проектантите. В табл. 1 стойностите на редукиционния коефициент $k_{c,\theta}$ за намаляване на характеристичната цилиндрична якост на бетона f_{ck} при пожарно въздействие зависят от вида на добавъчните материали (силициеви или варовикови) при бетони с класове до C60/75, а за бетон клас C70/85 и по-висок стойностите на $k_{c,\theta}$ се отнасят за всеки вид добавъчни материали. Линейните деформации $\varepsilon_{c1,\theta}$ и $\varepsilon_{cu1,\theta}$ зависят само от температурата θ на бетона и не се влияят от класа на бетона и от вида на добавъчните материали.

Новост в проекта за европейски стандарт [1] е въвеждането на формула (1) за определяне на якостта на натиск на бетона $f_{c,\theta,20^\circ\text{C}}$, нагрят до максимална температура $\theta_{c,\text{max}}$ след охлаждане до температура $\theta_c = 20^\circ\text{C}$ (отчитане на фазата на охлаждане) [5]:

$$f_{c,\theta,20^\circ\text{C}} = \varphi \cdot f_{ck}, \quad (1)$$

където φ е редукиционен коефициент за якостта на натиск на бетона при охлаждане, който зависи от максималната температура $\theta_{c,\text{max}}$ на нагряване на бетона, от вида на добавъчните материали и от класа на бетона [5].

За армировъчната стомана в [1] е приложена таблица със стойности на параметрите, описващи зависимостите „напрежения-деформации“ при опън или натиск при високи температури. Тези стойности са различни за горещовалцувана и за студено деформирана армировка. Друга таблица дава стойностите на съответните параметри за високоякостна стомана за предварително налягане, като теловете и въжетата са отделени от високоякостните пръти. В действащия понастоящем стандарт [2] стойностите на редукиционния коефициент $k_{sy,\theta}$ за намаляване на характеристичната граница на провлачане на армировъчната стомана при високи температури за натискова армировка в колони и стени и за натискови зони на греди и плочи са различни от тези, които се отнасят до опънна армировка, в която линейните деформации при пожарно въздействие са $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$. В проекта за европейски стандарт липсва такова разграничаване на армировката (на опънна и натискова) по отношение на стойностите на редукиционния коефициент $k_{sy,\theta}$ [5].

Табличните данни за проектиране се отнасят за анализ на отделни елементи и се прилагат само за въздействие от стандартен пожар. Табличните данни са в полза на сигурността в сравнение със съответните експерименти и с опростените или усъвършенствани изчислителни методи и се прилагат в допълнение към конструктивните правила, дадени в [3]. Екстраполация извън обхвата на таблиците не трябва да се прилага. Дадените в таблиците изисквания за минимални размери на напречното сечение на елементите и за минимално осово разстояние на надлъжните пръти до пряко нагряваната бетонна повърхност гарантират удовлетворяване на условието за огнеустойчивост на елементите по показателя „носимоспособност“. Табличните данни се основават на базово ниво на натоварване при пожарна ситуация $\eta_{fi} = 0,7$. За високоякостни бетони с $f_{ck} \geq 70\text{MPa}$ не трябва да се използват таблични данни при изисквана граница на огнеустойчивост $R \geq 180$. Когато се спазват минималните размери, дадени в таблиците, не са необходим допълнителни проверки за срязване, усукване и закотвяне.

Оценката на огнеустойчивостта на стоманобетонни колони може да се направи чрез използване на два таблични метода – метод А и метод В [1]. Метод А се прилага само за укрепени конструкции. Метод В, даден в Приложение С, може да се използва и за неукрепени конструкции. В метод А са дадени две таблици – за колони с правоъгълни или кръгли сечения, изложени на пожарно въздействие от четири страни и за правоъгълни колони, подложени на пожарно въздействие от едната страна (табл. 2). Табл. 2 е изцяло нова в част 1-2 на Еврокод 2. В нея са разгледани три нива на натоварване при пожарна ситуация $\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$, където $N_{Ed,fi}$ е изчислителната стойност на осовата натискава сила при пожар, а N_{Rd} е изчислителната носимоспособност на колоната на натиск при нормална температура, която се определя по [3] с начален ексцентрицитет, равен на ексцентрицитета на $N_{Ed,fi}$ и с отчитане на ефектите от втори ред. Метод В обхваща оценката на стоманобетонни колони с правоъгълна или кръгла форма на напречните сечения в укрепени или неукрепени конструкции, като дава максимално допустимата ефективна (изкълчвателна) дължина на колоната l_0 при нормална температура, за да се осигури необходимата стандартна огнеустойчивост на елементите при пожарна ситуация. Таблиците в Приложение С могат да се прилагат, ако изкълчвателната дължина на колоните при пожарно въздействие е $l_{0,fi} = l_0$ или $l_{0,fi} = 0,7l_0$.

Таблица 2. Минимални размери на колоните и осови разстояния за правоъгълни колони, подложени на пожарно въздействие от едната страна с $l_0 \leq 6$ m за нормална температура и $l_{0,fi} \leq 3$ m за пожарна ситуация

Огнеустойчивост при стандартен пожар	Минимални размери, mm		
	Ширина на колоната b_{min} / осово разстояние a на надлъжните пръти		
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$
R 30	100/10	120/15	130/25
R 60	110/10	130/15	140/25
R 90	120/20	140/25	155/25
R 120	150/25	160/30	175/35
R 180	185/45	200/50	230/55
R 240	230/60	240/65	290/70

В [1] са дадени две таблици за носещи плътни стени (табл. 3 и табл. 4).

Включването в проектостандарта [1] на две таблици за носещи стоманобетонни стени, вместо една, дадена в сегашния стандарт [2], улеснява работата на проектантите. Таблиците се отнасят за стени, изложени на пожарно въздействие от едната дълга страна или от двете дълги страни, като са дадени три нива на натоварване; два варианта на изкълчвателна дължина на елементите и два варианта на изисквана огнеустойчивост – удовлетворяване на критериите за преграждащи носещи елементи REI или само на критерия за носимоспособност R. Необяснимо е, защо когато стените имат само носеща функция (изпълняват критерия R), за тях се изисква по-голяма дебелина и по-голямо бетонно покритие в сравнение със случая, когато трябва да изпълняват изискванията и на трите основни критерия за огнеустойчивост (REI).

Таблица 3. Минимални размери и осови разстояния за носещи стоманобетонни стени, подложени на пожарно въздействие от едната дълга страна или от двете дълги страни с $l_0 \leq 4,5$ m за нормална температура и $l_{0,fi} \leq 2,25$ m за пожарна ситуация

Огне-устойчивост при стандартен пожар	Минимални размери, mm Дебелина на стената h_w /осово разстояние a			Огне-устойчивост при стандартен пожар	Минимални размери, mm Дебелина на стената h_w /осово разстояние a		
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$		$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,5$
REI 30	100/10	110/10	120/10	R 30	100/10	120/10	130/10
REI 60	110/10	120/15	130/20	R 60	120/15	155/20	170/25
REI 90	120/20	135/25	140/30	R 90	140/20	185/30	210/35
REI 120	135/25	150/30	160/35	R 120	165/30	210/40	240/45
REI 180	155/35	170/40	180/45	R 180	200/45	250/50	280/55
REI 240	180/40	200/45	210/50	R 240	250/50	305/55	340/60

Таблица 4. Минимални размери и осови разстояния за носещи стоманобетонни стени, подложени на пожарно въздействие от едната дълга страна или от двете дълги страни с $l_0 \leq 2,5$ m за нормална температура и $l_{0,fi} \leq 1,25$ m за пожарна ситуация

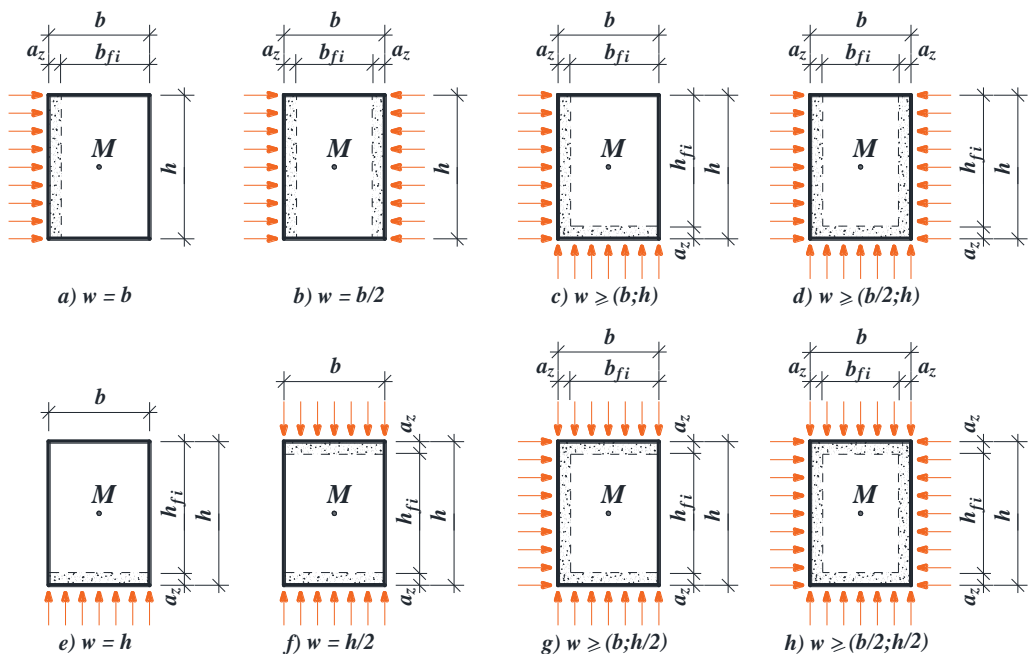
Огне-устойчивост при стандартен пожар	Минимални размери, mm Дебелина на стената h_w /осово разстояние a			Огне-устойчивост при стандартен пожар	Минимални размери, mm Дебелина на стената h_w /осово разстояние a		
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$		$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$
REI 30	80/10	90/10	100/10	R 30	90/10	100/10	110/10
REI 60	90/10	100/10	110/15	R 60	110/10	125/15	140/20
REI 90	100/10	110/15	120/20	R 90	125/15	155/25	170/30
REI 120	120/15	120/20	130/25	R 120	140/25	175/35	200/40
REI 180	150/20	150/25	150/30	R 180	175/30	215/40	240/45
REI 240	170/25	175/30	175/35	R 240	200/35	250/45	280/50

Огнеустойчивостта на греди от обикновен или предварително напрегнат стоманобетон може да се приеме за достатъчна, ако се прилагат ограниченията за размерите, дадени в съответните таблични данни. Включени са три броя таблици за стоманобетонни греди (за ставно подпрени греди; за непрекъснати греди и за увеличена широчина на гредата и дебелина на стеблото на непрекъснати I-греди при първа вътрешна опора с граница на огнеустойчивост при стандартен пожар R120 до R240) [1]. В съществуващия стандарт [2] е записано, че таблиците се прилагат за греди, които могат да са тристранно нагривани при пожар (горната повърхност е изолирана), а при допълнителни условия – и при греди, нагривани по всички страни. В новата версия на стандарта [1] е посочено, че табличните данни са за греди, нагривани по една, две или три страни, а при определени условия – и по четирите страни.

По отношение на табличните данни за плочи няма промяна – приложени са таблици за ставно подпрени еднопосочно или кръстосано армирани монолитни плочи; за безгредови плочи; за кръстосано армирани ставно подпрени оребрени плочи и за кръстосано армирани оребрени плочи с поне един запънат край.

При използването на табличните данни за проектиране на стоманобетонни елементи няма възможност за намаляването на минималния размер, когато е прието по-голямо осово разстояние или обратно – за намаляване на осовото разстояние при приемане на по-големи размери на напречното сечение.

Значителни промени в [1] са направени в глава 7, регламентираща прилагането на опростени изчислителни методи за проектиране. На практика в проектостандарта е отпаднал опростеният метод „Изотерма 500 °С“. Вместо ограничен брой температурни профили, дадени в [2] за няколко размера на напречните сечения на колони, греди и плочи, в проекта за нов евростандарт [1] са залегнали формули за определяне на температурата на бетона във всяка точка от сечението на елемента, подложен на въздействие от стандартен пожар. Това би стимулирало проектантите да използват опростени изчислителни методи за доказване на носимоспособност на стоманобетонните елементи при пожарна ситуация, тъй като понастоящем българските проектанти прилагат само табличните методи, които са много лесни, но са консервативни. Опростените аналитични формули за определяне на температурните профили в напречните сечения на конкретни елементи се отнасят за: правоъгълни сечения, нагрявани от едната страна (например плочи); правоъгълни сечения, нагрявани от двете дълги страни (например стени или плочи без изолация отгоре); правоъгълни сечения, нагрявани от три или от четири страни (греди или колони); кръгли напречни сечения, нагрявани от всички страни. За стоманобетонни елементи, изложени на пожарно въздействие от три или от четири страни, се отчита и локалният ефект в ъглите (температурните концентрации в ъглите, нагрявани от две съседни страни). Температурата на надлъжната армировка се изчислява в центъра на всеки надлъжен прът. Тя е равна на температурата на бетона в съответната точка от напречното сечение.



Фиг. 1. Редуциране на напречните сечения при пожарно въздействие

При опростените изчислителни методи проверката за огнеустойчивост по показателя „носимоспособност“ се извършва като за нормална температура съгласно [3], но с редуцирано напречно сечение и с редуцирани якостни характеристики на материалите. Редуцираните размери на напречното сечение b_{fi} и h_{fi} могат да бъдат определени чрез пренебрегване на ръбовата зона с дебелина a_z (дебелина на повредения бетон) при нагнетите от пожар страни (фиг. 1).

За правоъгълни напречни сечения и кръгли сечения или правоъгълни части от напречни сечения дебелината на повредената зона от ръба a_z , m може да се определи с помощта на новата формула (2):

$$a_z = \begin{cases} 0,011 \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{fi} - 27}{27}} \cdot \sqrt{\frac{w}{0,0125}} & \text{за } 0,075 \leq w < 0,20 \\ 0,011 \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \frac{R_{fi} - 27}{27}} & \text{за } w \geq 0,20 \end{cases}, \quad (2)$$

където R_{fi} е изискваната граница на огнеустойчивост на елемента по критерия за носеща способност при пожарна ситуация, \min , а w е размерът на напречното сечение, използван за получаване на редуцираното сечение в зависимост от нагряването при пожар, m (фиг. 1).

Когато се влага високоякостен бетон с $f_{ck} \geq 70$ МПа, дебелината на повредената зона от ръба, определена с формула (2), трябва да се увеличи с коефициент 1,15. Анализът на формула (2) показва, че дебелината a_z се влияе основно от продължителността на пожарното въздействие (разлика до 376 % между съответните стойности на a_z за R30 и R240); увеличаването на размера w ($w = 0,075 \div 0,30$ m) довежда до увеличаване на дебелината a_z най-много с 26,6 % [6]. При стойности на $w \geq 0,20$ m дебелината на повредения слой бетон зависи само от продължителността на пожарната експозиция.

За други форми на напречните сечения, различни от правоъгълни или кръгли, подложени на пожарно въздействие от една или от две противоположни страни, повредената зона от ръба a_z може да се изчисли с помощта на други формули, дадени в [1], след разделяне на напречното сечение на успоредни зони с еднаква дебелина (на практика се прилага „Зонов метод“, описан подробно в [2], без да се споменава името на метода).

За стоманобетонни плочи и греди може да се приложи опростена оценка на огнеустойчивостта им, ако височината на натисквата зона на бетона при нормална температура е ограничена до $x < 0,25d$ (d е полезната височина на сечението). Когато армировката е само в един ред, може да се използва формула (3) за изчисляване на носимоспособността на огъване при пожарна ситуация $M_{Rd,fi}$ на плочи и греди, при които опънатата страна на напречното сечение е подложена на пожарно въздействие:

$$M_{Rd,fi} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \cdot \frac{\sum_1^{n_{st}} f_{sy, \theta i}}{n_{st} \cdot f_{yk}} \cdot M_{Ed} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}}, \quad (3)$$

където n_{st} е брой на надлъжните армировъчни пръти в опънатата зона на елемента;

$f_{sy,\theta i}$ – максимално напрежение във всеки армировъчен прът при висока температура;

$A_{s,prov}$ – площ на напречното сечение на надлъжната армировка, вложена в опънната зона;

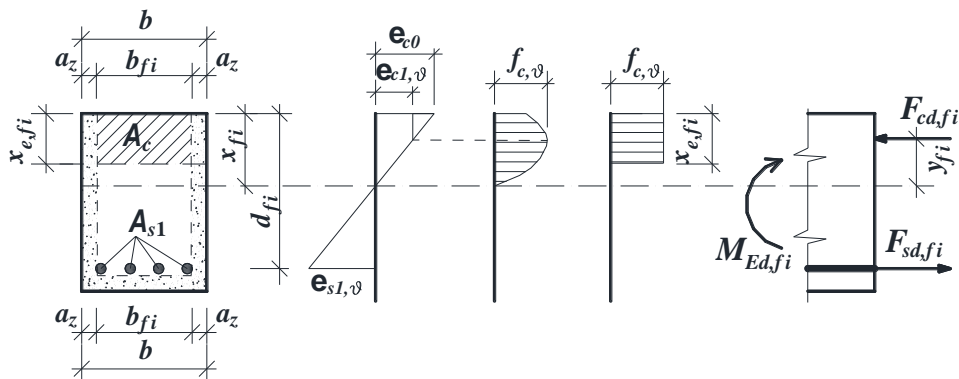
$A_{s,req}$ – необходима площ на напречното сечение на надлъжната опънна армировка при проектирането за нормална температура съгласно [3];

γ_s – частен коефициент за характеристиките на армировъчната стомана: за крайни гранични състояния при дълготрайни и краткотрайни изчислителни ситуации $\gamma_s = 1,15$;

$\gamma_{s,fi}$ – частен коефициент за механичните характеристики на армировъчната стомана при пожарна ситуация: $\gamma_{s,fi} = 1,0$.

За плочи и греди, при които натиснатата страна на напречното сечение е подложена на пожарно въздействие, носимоспособността на огъване се изчислява съгласно формула (3), но се умножава с коефициент $(d - a_z) / d$.

В действителност опростената оценка в [1] на огнеустойчивостта на плочи и греди представлява опростеният изчислителен метод на приложение Е, даден в [2].



Фиг. 2. Напрегнато и деформирано състояние на елемент, подложен на огъване при пожарна ситуация

За елементи, подложени на огъване, може да се приложи по-точна оценка на огнеустойчивостта им (фиг. 2). Използват се предпоставките на [3] за носимоспособност на нормални сечения при нормална температура, но се работи с редуцирано напречно сечение, отчитат се якостните характеристики на армировката при високи температури, а якостта на натиск на бетона се приема, че е равна на $f_{c,\theta}(\theta_M)$, където θ_M е температурата в центъра М на напречното сечение (фиг. 1) [1]. Носимоспособността на огъване при пожарно въздействие $M_{Rd,fi}$ се определя от равновесните условия за нормалните сечения на елемента (фиг. 2). При изчисляване на елементи с правоъгълни, Т-образни или I-образни напречни сечения, подложени на огъване, могат да се използват формула (4), формула (5) и формула (6):

$$|\varepsilon_{c0}| = 1,4 \cdot \varepsilon_{c1,\theta} ; \quad (4)$$

$$x_{e,fi} = 0,70 \cdot x_{fi}; \quad (5)$$

$$y_{fi} = 0,60 \cdot x_{fi}, \quad (6)$$

където ε_{c0} е деформация в бетона в най-натиснатия ръб на елемента;

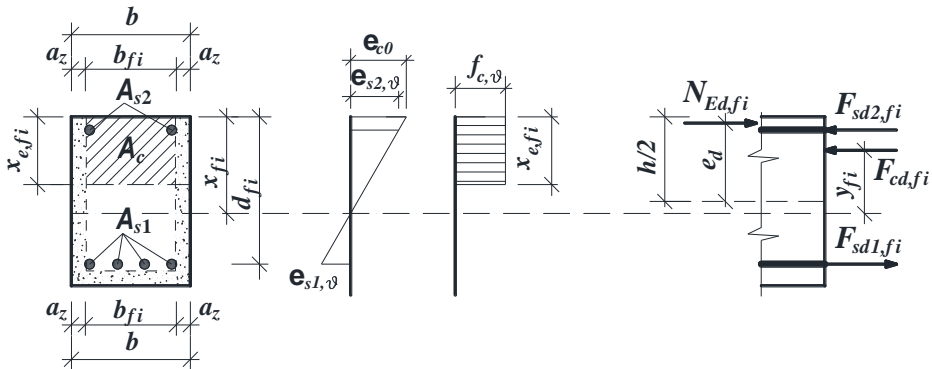
$x_{e,fi}$ – ефективна височина на натисквата зона на бетона при пожарна ситуация;

y_{fi} – разстояние от центъра на натисквата зона на бетона до нулевата линия.

За разлика от проектирането при нормална температура, когато при прилагане на правоъгълна диаграма на натисквите напрежения на бетона височината на натисквата зона на елементи, натоварени на огъване, винаги се приема $0,8 \cdot x$ [3], при пожарна ситуация според формула (5) ефективната височина на натисквата зона е $x_{e,fi} = 0,70 \cdot x_{fi}$.

Освен това би трябвало равнодействащата на натисквите напрежения в бетона $F_{cd,fi}$ да е приложена в средата на правоъгълния блок, т.е. на разстояние $0,65 \cdot x_{fi}$ от нулевата линия, а според формула (6) тя е на разстояние $y_{fi} = 0,60 \cdot x_{fi}$. Вероятно тези разминавания се дължат на по-точни изчисления чрез използване на зависимостите „напрежения-деформации“ на бетон, натоварен на едноосов натиск при високи температури.

При стоманобетонни колони, подложени на пожарно въздействие, ефектите от втори ред винаги трябва да се вземат предвид. В условия на пожар повредата на външните слоеве на елемента, дължаща се на високи температури, комбинирана с намаляването на модула на еластичност във вътрешните слоеве, води до намаляване на коравината на конструктивните елементи при пожар. Поради това при пожарна ситуация ефектите от втори ред могат да бъдат значителни дори при колоните, при които техният ефект е незначителен при нормална температура.



Фиг. 3. Напрегнато и деформирано състояние на елемент, подложен на нецентричен натиск при пожарна ситуация

При изчисляване на елементи с правоъгълни напречни сечения, подложени на нецентричен натиск, могат да се използват формули, базирани на фиг. 3, като максималният ексцентрицитет e_d на натисквата сила $N_{Ed,fi}$ спрямо деформираната ос на натиснатия елемент се определя по формула (7) [1]:

$$e_d = e_0 + e_i + e_2 + e_{thermal}, \quad (7)$$

където e_0 е ексцентрицитет от първи ред;

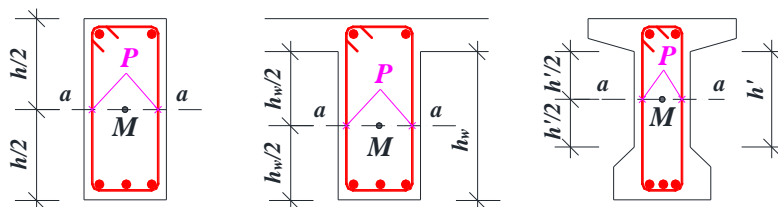
e_i – случаен ексцентрицитет, отчитащ ефектите от геометричните несъвършенства;

e_2 – ексцентрицитет вследствие от деформиране на елемента (ефекти от втори ред);

$e_{thermal}$ – ексцентрицитет, породен от топлинните ефекти.

Оценката на огнеустойчивостта на стоманобетонни елементи, подложени на нецентричен натиск с постоянна нормална сила $N_{Ed,fi}$, може да бъде направена и по метод, основаващ се на оценка на кривината.

При използване на опростените изчислителни методи за проектиране на стоманобетонни елементи при пожарна ситуация трябва да се правят и проверки за носимоспособност на срязване и евентуално на усукване, както и за закотвяне на армировката при пожарно въздействие. Носимоспособността на срязване на стоманобетонни елементи с напречна армировка (предимно греди) при въздействие от пожар може да се изчисли по фермовия модел от част 1-1 на Еврокод 2 [3], като се използват редуцирани характеристики на материалите при високи температури и редуцирано напречно сечение на елементите. Особено важно е определяне на температурата в стрemenата. Стремената преминават през зони с различни температури: в ъглите на напречното сечение се получават температурни концентрации, а долната част на гредите е по-гореща от горната. Стремената разпределят топлината от по-топлата към по-хладната зона, поради което температурата на стремето е по-ниска от тази на заобикалящия го бетон и се стреми да стане равномерна по цялата си дължина. Освен това стремето не се деформира равномерно по дължината си: максималното напрежение възниква близо до пукнатина от срязване. Ето защо за изчисляване на напрежението в стрemenата при пожарно въздействие се определя базова температура в стрemenата θ_P , приета на значимо място в напречното сечение – в точка P на фиг. 4 [1].



Фиг. 4. Базови температури θ_M и θ_P , определени по линия „а-а“ съответно в точки М и Р, за изчисляване на носимоспособността на срязване при пожарна ситуация

Местоположението на линия „а-а“ е променено в [1]. Докато в съществуващия стандарт [2] линия „а-а“ се определя от височината $h_{c,eff}$ на ефективната опънна зона на бетона, в [1] тя минава по средата на правоъгълно напречно сечение или през половината от височината на стеблото при Т- или I-образни напречни сечения.

По отношение на определяне на носимоспособността на стоманобетонни елементи на усукване при пожарно въздействие в проектостандарта няма промяна.

Закотвящата дължина $l_{bd,fi}$ и дължината на снаждане $l_{sd,fi}$ на армировката, необходима при пожарна ситуация, могат да се приемат равни съответно на l_{bd} и l_{sd} , дадени в част 1-1 на Еврокод 2 [3], с коефициент k_{lb} за характеристикната закотвяща дължина. Препоръчителната стойност е $k_{lb} = 36$. Когато не е осигурена минимална армировка за срязване (например при плочи), трябва да се приемат недобри условия на сцепление при пожар, независимо от действителната позиция на армировката при бетониране.

За непрекъснати плътни плочи и непрекъснати оребрени плочи трябва да се осигури минимална площ на горната армировка над междинни опори $A_s \geq 0,005 A_c$, когато се използва армировъчна стомана с клас по дуктилност А или плочите са непрекъснати еднопосочно армирани; A_c е площта на напречното сечение на бетона.

В проекта за нов европейски стандарт [1] е отделена специална глава за допълнителни правила срещу разцепване на бетона при високи температури. Това е особено важно за елементи, изготвени от високоякостен бетон, който може да има взривно разрушаване при пожар.

4. Заключение

В резултат на анализиране на промените в новата версия на част 1-2 на Еврокод 2 за проектиране на стоманобетонни конструкции за пожарно въздействие могат да се направят следните изводи:

В проектостандарта последователно и стройно са изложени принципите и правилата за проектиране на стоманобетонни елементи и конструкции за пожарна ситуация. Обемът на документа е намален, което е облекчение за проектантите.

В обхвата е включен и допълнителен клас високоякостен бетон C100/115, а за бетоните с леки добавъчни материали ограничението е до клас LC50/60.

Новост е въвеждането на формула за определяне на якостта на натиск на бетона, нагрят до максимална температура $\theta_{c,max}$ след охлаждане до температура $\theta_c = 20^\circ\text{C}$ (отчитане на фазата на охлаждане).

За стоманобетонни колони и носещи стоманобетонни стени са дадени допълнителни таблици, вземащи под внимание влиянието на повече параметри. Табличен метод В може да се прилага и за неукрепени колони.

Значителни промени са направени при опростените изчислителни методи за проектиране. В проектостандарта е отпаднал опростеният метод „Изотерма 500 °C“.

Вместо ограничен брой температурни профили в проекта за нов евростандарт са залегнали опростени аналитични формули за определяне на температурата на бетона във всяка точка от сечението на елемента при въздействие от стандартен пожар. Това би стимулирало проектантите да използват по-точните опростени изчислителни методи за доказване на носимоспособност на стоманобетонните елементи при пожарна ситуация, защото табличните методи, които са много лесни за употреба, са консервативни.

В новата версия на евростандарта са дадени нови формули за определяне на дебелината на повредената зона на бетона при пожарно въздействие. Променени са формулите за определяне на напрегнатото и деформирано състояние на елемент, подложен на огъване без или със натискава осова сила при пожарна ситуация. При оценка на носимоспособността на срязване на греди с напречна армировка е променено местоположението на линията, определяща точката с базова температура в стремената.

В проекта за нов европейски стандарт е отделена специална глава за допълнителни правила срещу разцепване на бетона при високи температури. Това е особено важно за елементи, изготвени от високоякостен бетон, който може да има взривно разрушаване при пожар.

Изменен е и начинът на определяне на необходимата дължина на закотвяне при пожарно въздействие и дължината на снаждане на прътите чрез застъпване.

Въвеждането на новата версия на част 1-2 на Еврокод 2 [1] у нас трябва да стане след въвеждането на новия вариант на част 1-1 на Еврокод 2 [3].

БИБЛИОГРАФИЯ

1. prEN 1992-1-2:2021E – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design, 2021.

2. BDS EN 1992-1-2:2005 – Evrokod 2: Proektirane na betonni i stomanobetonni konstruktсии. Chast 1-2: Obshti pravila – Proektirane na konstruktсии sreshtu vazdeystvie ot pozhar, 2006.

3. 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.

4. *Neshev, H., Gueorguieva, M.* EC2. Yakostni i deformatsionni karakteristiki na betona saglasno predvaritelniya evropeyski standart prEN 1992-1-1:2021E. XXIII International scientific conference VSU'2023, volume II, Sofia, Bulgaria, p. 201 – 210.

5. *Gueorguieva, M.* Yakostni i deformatsionni karakteristiki na betona i armirovachnata stomana saglasno prEN 1992-1-2:2021E. Sbornik dokladi ot godishna universitetska nauchna konferentsiya, 03 ÷ 04.10.2024, NVU „Vasil Levski”, tom 3, ISSN 1314-1937, p. 31 – 40.

6. *Gueorguieva, M.* Otsenka na ogneustoychivostta na stavno podpreni gredi ot predvaritelno napregnat stomanobeton saglasno prEN 1992-1-2:2021E. Sbornik dokladi ot godishna universitetska nauchna konferentsiya, 03 ÷ 04.10.2024, NVU „Vasil Levski”, tom 3, ISSN 1314-1937, p. 41 – 50.

NEW VERSION prEN 1992-1-2:2021E FOR THE DESIGN OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES FOR FIRE RESISTANCE

B. Zaharieva-Gueorguieva¹

Keywords: reinforced concrete elements, resistance in the fire situation

ABSTRACT

The paper examines the main changes in the draft European standard prEN 1992-1-2:2021E for the design of reinforced concrete structures subjected to fire. A brief overview and analysis of some basic assumptions for the calculation of reinforced concrete elements in a fire situation are made.

¹ Borianka Zaharieva-Gueorguieva, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: boriana_fce@uacg.bg