



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΡΓΩΝ
ΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΚΑΤΑ ΕΝ 1992-1-2:2004 ΚΑΙ
prEN 1992-1-2:2021**

Μαντόγιαννη Κωνσταντίνα

**Επιβλέπων: Χρήστος Ζέρης, Καθηγητής
ΕΜΠ**

Αθήνα, Μάρτιος 2023

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	4
1. Εισαγωγή – Γενικά στοιχεία Κανονισμών	5
2. Βασικές αρχές σχεδιασμού	6
2.1 Γενικά	6
2.2 Ονομαστική έκθεση στη φωτιά	6
2.3 Έκθεση σε φυσική φωτιά	7
2.4 Τιμή σχεδιασμού για τις ιδιότητες των υλικών	7
2.5 Μέθοδοι ελέγχου και ανάλυσης	8
3. Ιδιότητες των υλικών	10
3.1 Σκυρόδεμα	10
3.1.1 Θερμική αγωγιμότητα	10
3.1.2 Ειδική θερμότητα	11
3.1.3 Πυκνότητα σκυροδέματος	12
3.1.3 Σκυρόδεμα υπό θλίψη	13
3.1.4 Σκυρόδεμα σε εφελκυσμό	17
3.1.5 Θερμοκρασιακή διαστολή του σκυροδέματος	17
3.2 Χάλυβας οπλισμού	18
3.2.1 Αντοχή και παραμόρφωση	18
3.2.2 Θερμοκρασιακή διαστολή χάλυβα οπλισμού	21
3.3 Χάλυβας προέντασης	22
3.3.1 Αντοχή και παραμόρφωση	22
3.3.2 Θερμοκρασιακή διαστολή χάλυβα προέντασης	26
4. Σχεδιασμός με χρήση Πινάκων	27
4.1 Γενικά	27
4.2 Κανόνες σχεδιασμού	27
4.3 Τοιχία	30
4.3.1 Τοιχία μη φέροντα	30
4.3.2 Φέροντα τοιχία	31
4.3.3 Τοίχοι πυροδιαμερισμάτων	33
4.4 Εφελκυσόμενα Μέλη	33
4.5 Δοκοί	33
4.5.1 Γενικοί κανόνες για τις δοκούς	33
4.5.2 Απλά εδραζόμενες δοκοί	35
4.5.3 Συνεχείς δοκοί	35
4.5.4 Δοκός εκτιθέμενη σε πυρκαγιά σε όλες τις πλευρές	40
4.6 Πλάκες	40

4.6.1	Γενικά στοιχεία.....	40
4.6.2	Πλάκες με απλή στήριξη.....	40
4.6.3	Συνεχείς συμπαγείς πλάκες.....	41
4.6.4	Ολόσωμες πλάκες.....	42
4.6.5	Δοκιδωτές πλάκες.....	43
4.7	Υποστυλώματα.....	45
4.7.1	Γενικά στοιχεία.....	45
4.7.2	Χρήση της μεθόδου Α.....	45
4.7.3	Χρήση της μεθόδου Β.....	48
5.	Απλοποιημένη μέθοδος ανάλυσης.....	51
5.1	Θερμοκρασιακά προφίλ.....	51
5.1.1	Βασική λύση για μία πλευρά εκτιθέμενη σε πυρκαγιά κατά prEN 1992-1-2:2021	52
5.1.2	Τοιχία, πλάκες και ορθογωνικές διατομές κατά prEN 1992-1-2:2021	53
5.1.3	Κυκλικές διατομές κατά prEN 1992-1-2:2021	56
5.2	Κάμψη και αξονικό φορτίο	57
5.2.1	Απομειωμένη διατομή κατά prEN 1992-1-2:2021.....	57
5.2.2	Κάμψη κατά prEN 1992-1-2:2021	60
5.2.3	Κάμψη και αξονικό φορτίο κατά prEN 1992-1-2:2021	62
5.2.4	Μείωση αντοχής των υλικών κατά EN 1992-1-2:2004.....	66
5.2.5	Απλοποιημένοι μέθοδοι υπολογισμού κατά EN 1992-1-2:2004	69
5.2.6	Σύγκριση των δύο Κανονισμών στις απλοποιημένες μεθόδους αντιμετώπισης κάμψης και αξονικού φορτίου.....	77
5.2.7	Λυγισμός υποστυλωμάτων υπό συνθήκες πυρκαγιάς.....	77
5.3	Διάτμηση, στρέψη και αγκύρωση.....	82
5.3.1	Αντοχή σε διάτμηση μέλους που εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος κατά prEN 1992-1-2:2021.....	82
5.3.2	Αντοχή σε διάτμηση και διάτρηση μέλους με οπλισμό διάτμησης κατά prEN 1992-1-2:2021	82
5.3.3	Αντοχή σε διάτμηση κατά EN 1992-1-2:2004.....	83
5.3.4	Αντοχή σε στρέψη μέλους με οπλισμό διάτμησης.....	83
5.3.5	Αγκύρωση	84
6.	Προχωρημένες μέθοδοι υπολογισμού.....	86
6.1	Θερμική ανάλυση.....	86
6.2	Μηχανική ανάλυση	87
6.3	Επαλήθευση προηγμένων μεθόδων υπολογισμού	88
7.	Στηρίξεις	89
8.	Συστήματα πυροπροστασίας.....	90
9.	Συνδέσεις.....	91

10.	Αποφλοίωση	92
10.1	Εκρηκτική αποφλοίωση κατά EN 1992-1-2:2004	92
10.2	Αστοχία-πτώση σκυροδέματος κατά EN 1992-1-2:2004	92
10.3	Αποφλοίωση σε σκυρόδεμα υψηλής αντοχής κατά EN 1992-1-2:2004	93
10.4	Αποφλοίωση κατά prEN 1992-1-2:2021.....	93
11.	Σκυροδέματα υψηλής αντοχής	96
12.	Συμπεράσματα.....	99
13.	Αριθμητικές εφαρμογές: Σύγκριση EN1992-1-1 και prEN 1992-1-2:2021	101
13.1	Διάχυση θερμοκρασίας σε διατομή.....	101
13.2	Υπολογισμός με τη μέθοδο της απομειωμένης διατομής	103
14.	Βιβλιογραφία	107

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την συγκριτική ανάλυση των κανόνων σχεδιασμού κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς κατά EN 1992-1-2:2004 και prEN 1992-1-2:2021. Ο EN 1992-1-2:2004 είναι το Μέρος 1-2 του Ευρωκώδικα 2, το οποίο εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα. Ο prEN 1992-1-2:2021 είναι η ώριμη, προς την τελική ψήφιση, έκδοση του καινούριου Ευρωκώδικα 2 Μέρος 1-2, ο οποίος θα αντικαταστήσει τον EN 1992-1-2:2004. Στην παρούσα διπλωματική συγκρίνονται οι κανόνες σχεδιασμού των δύο κανονισμών και παρουσιάζονται μερικές αριθμητικές εφαρμογές στον σχεδιασμό κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς.

1. Εισαγωγή – Γενικά στοιχεία Κανονισμών

Ο EN 1992-1-2:2004 είναι το μέρος του Ευρωκώδικα, που ισχύει μέχρι και σήμερα και αφορά τον σχεδιασμό των κατασκευών από σκυρόδεμα για την περίπτωση της πυρκαγιάς. Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 αποτελεί την ώριμη έκδοση (προς τελική ψήφιση μετά την ενσωμάτωση των σχολίων) του καινούριου Ευρωκώδικα 2 Μέρος 1-2, ο οποίος θα αντικαταστήσει τον EN 1992-1-2:2004.

Οι δύο παραπάνω Κανονισμοί έχουν ως στόχο να ορίσουν το πλαίσιο σχεδιασμού, το οποίο θα πρέπει να εφαρμόζεται κατά τον σχεδιασμό των κατασκευών από σκυρόδεμα σε περίπτωση έκθεσης τους σε πυρκαγιά. Ως γνωστόν, το σενάριο σχεδιασμού έναντι πυρκαγιάς εντάσσει την πυρκαγιά στις τυχηματικές δράσεις. Οι μέθοδοι που δίνονται στον EN 1992-1-2:2004 αφορούν κατασκευές οι οποίες έχουν μελετηθεί με σκυρόδεμα κατηγορίας αντοχής μέχρι C90/105 και με ελαφροσκυρόδεμα μέχρι LC55/60. Η καινούρια έκδοση του Ευρωκώδικα έχει διευρύνει το εύρος χρήσης του Κανονισμού, αφού αφορά κατασκευές με σκυρόδεμα μέχρι C100/115 και με ελαφροσκυρόδεμα μέχρι LC50/60.

2. Βασικές αρχές σχεδιασμού

2.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα έναντι πυρκαγιάς και για τις δύο εκδόσεις του Κανονισμού πραγματοποιείται όταν απαιτείται και πρέπει οι κατασκευές να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να διατηρούν τη φέρουσα λειτουργία τους.

Αν απαιτείται να γίνει διαχωρισμός της κατασκευής σε τμήματα (διαμερίσματα) τότε τα σύνορα του κάθε τμήματος, συμπεριλαμβανομένων των αρμών, αποτελούν τα όρια της φωτιάς κατά το σχεδιασμό. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται ούτως ώστε κατά τη διάρκεια της φωτιάς να διατηρείται ο διαχωρισμός των διαμερισμάτων. Με βάση τα παραπάνω πρέπει να διασφαλίζεται η απουσία αστοχίας της ακεραιότητας και της μόνωσης της κατασκευής, ενώ επιτυγχάνεται και ο περιορισμός της θερμικής ακτινοβολίας στην πλευρά του διαμερίσματος που δεν εκτίθεται στην φωτιά.

2.2 Ονομαστική έκθεση στη φωτιά

Για την πρότυπη έκθεση σε φωτιά, όπως ορίζεται στον EN 1991-1-2:2004 και αντίστοιχα prEN 1991-1-2:2021 τα στοιχεία θα πρέπει να ικανοποιούν ένα ή περισσότερα από τα κριτήρια φέρουσας ικανότητας (R), ακεραιότητας (E) και μόνωσης (I), κατά περίπτωση, κατά τον απαιτούμενο χρόνο έκθεσης στη φωτιά. Συγκεκριμένα τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται ανάλογα με τον έλεγχο είναι:

- Για την φέρουσα λειτουργία μόνο, το κριτήριο φέρουσας ικανότητας (R)
- Για την λειτουργία των πυροδιαμερισμάτων μόνο, το κριτήριο ακεραιότητας (E) και, αν ζητηθεί, και το κριτήριο μόνωσης (I)
- Για την λειτουργία του φέροντα οργανισμού και των πυροδιαμερισμάτων, τα κριτήρια φέρουσας ικανότητας (R) και ακεραιότητας (E) και, αν ζητηθεί, το κριτήριο μόνωσης (I)

Το κριτήριο φέρουσας ικανότητας (R) θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν η φέρουσα λειτουργία της κατασκευής διατηρείται κατά την απαιτούμενη χρονική διάρκεια έκθεσης της στη φωτιά. Αντίστοιχα το κριτήριο της μόνωσης (I) ικανοποιείται όταν η μέση θερμοκρασία που θα αναπτυχθεί στην επιφάνεια που δεν είναι εκτεθειμένη στη φωτιά δεν ξεπερνά τους 140°C και σε οποιοδήποτε σημείο της η μέγιστη θερμοκρασία σε καμία χρονική στιγμή δεν υπερβαίνει τους 180°C. Επίσης για το κριτήριο της ακεραιότητας (E) ο Κανονισμός prEN 1992-1-2:2021 αναφέρει ότι, για να ικανοποιηθεί, τα διαχωριστικά στοιχεία της κατασκευής πρέπει κατά την φωτιά να μην επιτρέπουν να περνάνε φλόγες και θερμά αέρια στην πλευρά που δεν είναι εκτεθειμένη στη φωτιά. Οι ίδιες λειτουργίες πρέπει να ισχύουν και στην περίπτωση έκθεσης σε εξωτερική φωτιά (συμβολίζεται με "ef") και για έκθεση σε πυρκαγιά υδρογονανθράκων (συμβολίζεται με "HC"). Τέλος, σύμφωνα και με τους δύο Κανονισμούς, ένα κατακόρυφο διαχωριστικό στοιχείο, ανεξάρτητα από το αν αποτελεί

μέρος της φέρουσας λειτουργίας της κατασκευής, απαιτείται να αντέχει σε εγκάρσιο οριζόντιο φορτίο κρούσης, όπως το καθορίζει το EN 1363-2.

2.3 Έκθεση σε φυσική φωτιά

Η φέρουσα λειτουργία της κατασκευής πρέπει να διασφαλίζεται καθ' όλη την διάρκεια της φωτιάς, δηλαδή κατά την διάρκεια της φάσης θέρμανσης και της φάσης ψύξης, ή για μία απαιτούμενη χρονική περίοδο, η οποία στην καινούρια έκδοση του Ευρωκώδικα ορίζεται σύμφωνα με τον prEN 1991-1-2:2021. Για την διασφάλιση της σωστής λειτουργίας των πυροδιαμερισμάτων, και θεωρώντας ότι η θερμοκρασία υπό κανονικές συνθήκες είναι 20°C, πρέπει αυτό να ισχύει στην πλευρά της κατασκευής που δεν εκτίθεται στην πυρκαγιά:

- κατά την διάρκεια της φάσης θέρμανσης η μέση διαφορά θερμοκρασίας πρέπει να περιορίζεται μέχρι τους 140°C και η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας να μην ξεπερνά τους 180°C
- κατά την διάρκεια της φάσης ψύξης η μέση διαφορά θερμοκρασίας να περιορίζεται μέχρι τους 200 °C και η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας να μην ξεπερνά τους 240 °C .

Ο EN 1992-1-2:2004 δίνει την δυνατότητα σε κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης με το Εθνικό της Προσάρτημα να αλλάξει τις επιτρεπτές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της φάσεως ψύξης και οι ανωτέρω τιμές είναι πλέον μόνο προτεινόμενες, σε αντίθεση με τον prEN 1992-1-2 όπου οι τιμές αυτές αποτελούσαν απαίτηση του Κανονισμού.

2.4 Τιμή σχεδιασμού για τις ιδιότητες των υλικών

Η τιμή σχεδιασμού στην περίπτωση της πυρκαγιάς για τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών (αντοχή και παραμόρφωση) και για τις δύο εκδόσεις του Κανονισμού υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$X_{d,\theta} = \frac{k_{\theta} X_k}{\gamma_{M,fi}}$$

όπου:

X_k είναι η χαρακτηριστική τιμή της ιδιότητας (συνήθως f_k ή E_k) για συνήθη θερμοκρασία σχεδιασμού

k_{θ} είναι μειωτικός συντελεστής για την αντοχή ή παραμόρφωση, ο οποίος εξαρτάται από την θερμοκρασία του υλικού ($X_{k,\theta}/X_k$)

$\gamma_{M,fi}$ είναι ο επι μέρους συντελεστής ασφαλείας για το συγκεκριμένο υλικό στην περίπτωση της πυρκαγιάς.

Η τιμή σχεδιασμού για τις θερμικές ιδιότητες των υλικών στην περίπτωση της πυρκαγιάς εξαρτάται από την έκδοση του Ευρωκώδικα.

Ο EN 1992-1-2:2004 ορίζει ότι αν η αύξηση της τιμής της ιδιότητας που υπολογίζεται είναι υπέρ της ασφαλείας της κατασκευής, τότε υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$X_{d,fi} = \frac{X_{k,\theta}}{\gamma_{M,fi}}$$

Αντίθετα, αν η αύξησή της είναι κατά της ασφαλείας, τότε υπολογίζεται από την σχέση:

$$X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} X_{k,\theta}$$

όπου:

$X_{k,\theta}$ είναι η τιμή σχεδιασμού του υλικού σε περίπτωση πυρκαγιάς, η οποία γενικά εξαρτάται από την θερμοκρασία του υλικού.

Από την άλλη πλευρά ο prEN1992-1-2:2021 ορίζει ότι οι τιμές σχεδιασμού των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών θα είναι ίσες με τις χαρακτηριστικές τιμές των ιδιοτήτων αυτών, δηλαδή $X_{d,fi} = X_{k,\theta}$.

Τέλος ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας στην περίπτωση της πυρκαγιάς $\gamma_{M,fi}$ ορίζεται ως 1,0 όταν το Εθνικό Προσάρτημα της χώρας δεν δίνει διαφορετική τιμή, και για τους δύο Κανονισμούς.

2.5 Μέθοδοι ελέγχου και ανάλυσης

Η μηχανική αντοχή του συστήματος της κατασκευής κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς θα πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω σχέση.

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$$

όπου

$E_{d,fi}$ είναι η δράση σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς, συμπεριλαμβανομένων των θερμικών διαστολών και παραμορφώσεων

$R_{d,t,fi}$ είναι η αντίστοιχη αντοχή σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς

Οι δράσεις πρέπει να προσδιορίζονται στο χρόνο $t = 0$ χρησιμοποιώντας τους συνδυαστικούς συντελεστές $\psi_{1,1}$ ή $\psi_{1,2}$ τόσο στην ανάλυση μέλους όσο και στην ανάλυση της κατασκευής.

Στην περίπτωση ανάλυσης μέλους η δράση σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς υπολογίζεται ως:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d$$

όπου

E_d είναι η δράση σχεδιασμού σε συνήθεις θερμοκρασίες για ένα θεμελιώδη συνδυασμό

η_{fi} είναι μειωτικός συντελεστής για το φορτίο σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς.

Ο μειωτικός συντελεστής η_{fi} κατά την νεότερη έκδοση του Ευρωκώδικα (prEN 1992-1-2:2021) ορίζεται για απλοποίηση ίσος με 0,7.

Από την άλλη πλευρά, κατά τον Ευρωκώδικα EN 1992-1-2:2004 ο μειωτικός συντελεστής υπολογίζεται ανάλογα με το θεμελιώδη συνδυασμό που θα χρησιμοποιηθεί με μία από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

ή ως η μικρότερη τιμή των παρακάτω δύο εξισώσεων

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\xi \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}}$$

όπου:

G_k είναι η χαρακτηριστική τιμή για μόνιμη δράση

$Q_{k,1}$ είναι η θεμελιώδης τιμή του κινητού φορτίου

$\gamma_G, \gamma_{Q,1}$ είναι συντελεστές για το μόνιμο και το κινητό φορτίο αντίστοιχα

ψ_{fi} είναι ο συνδυαστικός συντελεστής για τις συχνές ή οίωνοι μόνιμες δράσεις

ξ είναι μειωτικός παράγοντας για τη δυσμενή μόνιμη δράση G_k .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω ο EN 1992-1-2:2004 δίνει επίσης σε γραφική απεικόνιση την τιμή του μειωτικού συντελεστή η_{fi} συναρτήσει της αναλογίας δράσεων ($Q_{k,1}/G_k$). Τέλος, σημειώνεται ότι ως μια απλοποίηση, ο Κανονισμός επιτρέπει να λαμβάνεται η τιμή 0,7 για τον μειωτικό συντελεστή, δηλαδή η τιμή που ορίστηκε στη νεότερη έκδοσή του ως η τιμή του συντελεστή.

3. Ιδιότητες των υλικών

Οι τιμές που δίνονται από τους Κανονισμούς μπορούν να θεωρηθούν ως χαρακτηριστικές τιμές των υλικών και να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις μεθόδους που αναφέρουν αμφότεροι οι Κανονισμοί.

3.1 Σκυρόδεμα

3.1.1 Θερμική αγωγιμότητα

Ο EN1992-1-2:2004 ορίζει ότι η θερμική αγωγιμότητα για κανονικά σκυροδέματα βρίσκεται μεταξύ ενός ανώτερου και ενός κατώτερου ορίου. Το ανώτερο όριο υπολογίζεται συναρτήσει της θερμοκρασίας του σκυροδέματος θ_c σύμφωνα με την σχέση:

$$\lambda_c = 2 - 0,2451 \left(\frac{\theta_c}{100} \right) + 0,0107 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 W/(m K), \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}$$

Αντίστοιχα το κατώτερο όριο υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$\lambda_c = 1,36 - 0,136 \left(\frac{\theta_c}{100} \right) + 0,0057 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 W/(m K), \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}.$$

Στην περίπτωση σκυροδέματος υψηλής αντοχής τα παραπάνω όρια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν, αλλά η θερμική αγωγιμότητα τους στην πραγματικότητα μπορεί να έχει υψηλότερη τιμή από αυτή του κανονικού σκυροδέματος. Τέλος η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας μπορεί να δοθεί μέσα από το Εθνικό Προσάρτημα της χώρας με την προϋπόθεση ότι η τιμή αυτή βρίσκεται ανάμεσα στα παραπάνω όρια.

Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 δεν υπολογίζει τα όρια μεταξύ των οποίων ορίζεται η θερμική αγωγιμότητα αλλά υπολογίζει την τιμή της για όλα τα είδη σκυροδέματος (κανονικά σκυροδέματα, σκυροδέματα υψηλής αντοχής και ελαφροσκυροδέματα). Η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας του σκυροδέματος θ_c για τα σκυροδέματα εκτός των ελαφροσκυροδεμάτων δίδεται από:

$$\lambda_c = 2 - 0,2451 \left(\frac{\theta_c}{100} \right) + 0,0107 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 W/(m K), \quad \text{για } \theta_c \leq 140^\circ\text{C}$$

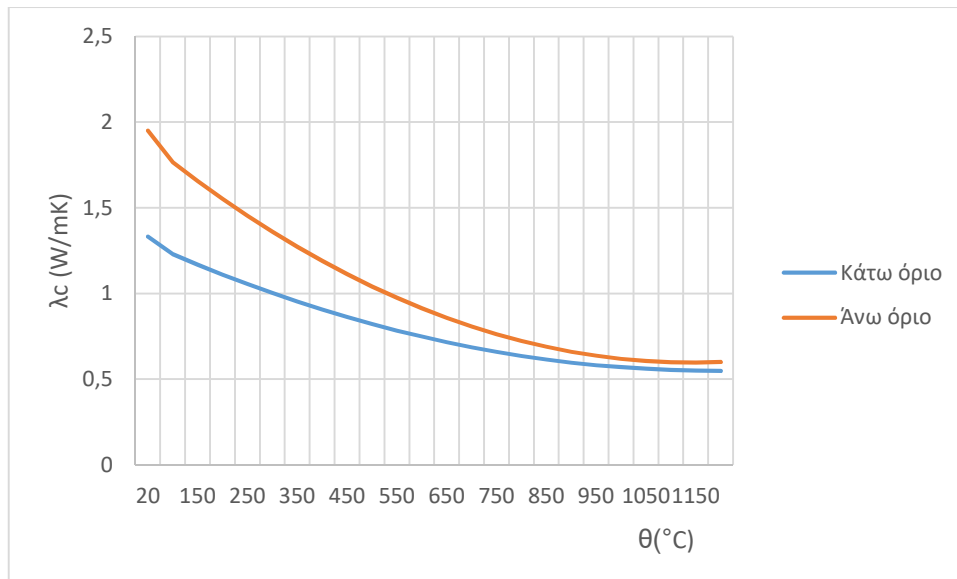
$$\lambda_c = -0,02604\theta_c + 5,324 W/(m K), \quad \text{για } 140^\circ\text{C} < \theta_c < 160^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = 1,36 - 0,136 \left(\frac{\theta_c}{100} \right) + 0,0057 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 W/(m K), \quad \text{για } 160^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}.$$

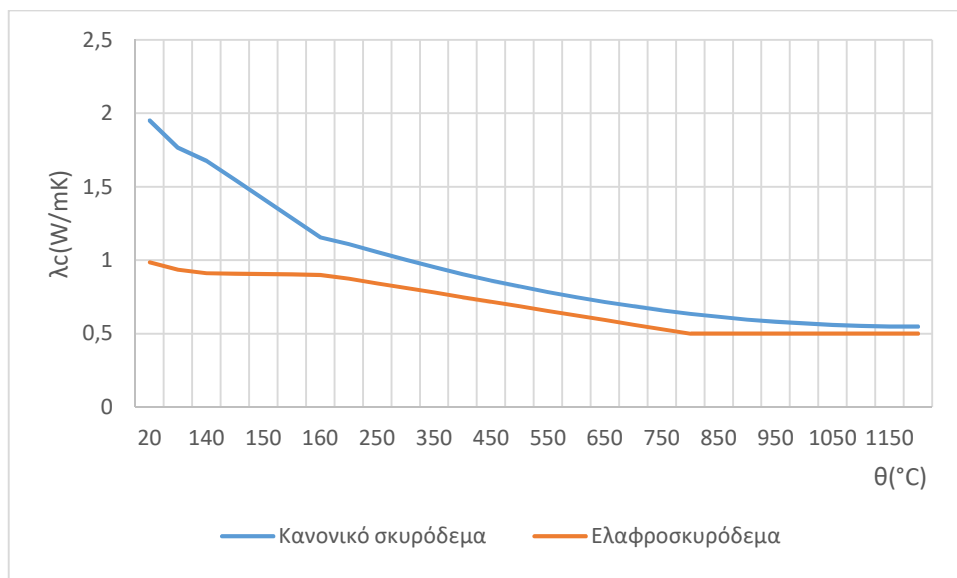
Για τα ελαφροσκυροδέματα η θερμική αγωγιμότητα θα πρέπει να υπολογίζεται ως εξής:

$$\lambda_c = 1 - \left(\frac{\theta_c}{1600} \right) W/(m K), \quad \text{για } \theta_c \leq 800^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = -0,5 W/(m K), \quad \text{για } 140^\circ\text{C} < \theta_c < 160^\circ\text{C}.$$



Εικόνα 1: Άνω και κάτω όριο θερμικής αγωγιμότητας κατά EN 1992-1-2:2004



Εικόνα 2: Θερμική αγωγιμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας κατά prEN 1992-1-2:2021

3.1.2 Ειδική θερμότητα

Η ειδική θερμότητα του ξηρού σκυροδέματος, δηλαδή όταν η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι $u = 0\%$, για κανονικό σκυρόδεμα, και για τις δύο εκδόσεις του Κανονισμού, υπολογίζεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του σκυροδέματος θ_c .

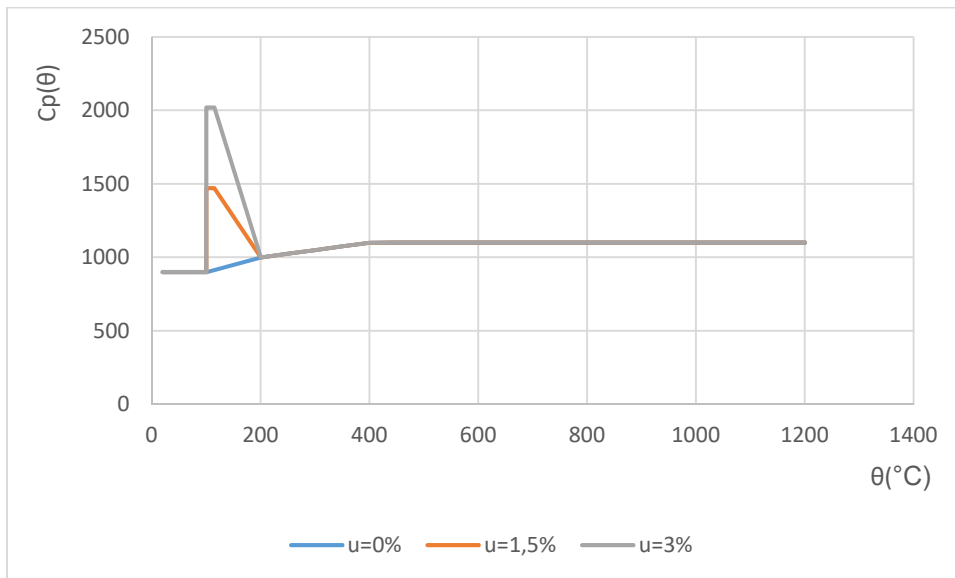
$$\begin{aligned}
 c_p(\theta) &= 900 \text{ (J/kg K)}, & \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 100^\circ\text{C} \\
 c_p(\theta) &= 900 + (\theta_c - 100) \text{ (J/kg K)}, & \text{για } 100^\circ\text{C} < \theta_c \leq 200^\circ\text{C} \\
 c_p(\theta) &= 1000 + (\theta_c - 200)/2 \text{ (J/kg K)}, & \text{για } 200^\circ\text{C} < \theta_c \leq 400^\circ\text{C} \\
 c_p(\theta) &= 1100 \text{ (J/kg K)}, & \text{για } 400^\circ\text{C} < \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}.
 \end{aligned}$$

Αν η περιεκτικότητα της υγρασίας δεν έχει ορισθεί ρητά στην μέθοδο ανάλυσης τότε οι παραπάνω εξισώσεις μεταβάλλονται, ώστε, μεταξύ των θερμοκρασιών 100°C και 115°C η ειδική θερμότητα να λαμβάνει μία σταθερή τιμή, και από τους 115°C μέχρι τους 200°C, η τιμή μεταβάλλεται γραμμικά μέχρι την τιμή 1000 J / (kg K), όπως φαίνεται στο διάγραμμα που δίνουν και οι δύο εκδόσεις του Ευρωκώδικα (Εικόνα 2). Οι σταθερές τιμές είναι:

$c_{p,peak} = 900(J/kg K)$ για περιεκτικότητα υγρασίας $u = 0\%$ του βάρους σκυροδέματος

$c_{p,peak} = 1470(J/kg K)$ για περιεκτικότητα υγρασίας $u = 1,5\%$ του βάρους σκυροδέματος

$c_{p,peak} = 2020(J/kg K)$ για περιεκτικότητα υγρασίας $u = 3,0\%$ του βάρους σκυροδέματος.



Εικόνα 3: Διάγραμμα ειδικής θερμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας

Επιπλέον ο prEN 1992-1-2:2021 αναφέρει ότι τα παραπάνω ισχύουν και στην περίπτωση του ελαφροσκυροδέματος, το οποίο επειδή μπορεί να έχει περιεκτικότητα σε υγρασία παραπάνω από $u = 3,0\%$ προτείνει ότι για $u = 10\%$ $c_{p,peak} = 5600 J/(kg K)$.

3.1.3 Πυκνότητα σκυροδέματος

Η πυκνότητα του σκυροδέματος μεταβάλλεται με την θερμοκρασία, καθώς επηρεάζεται από τις απώλειες υγρασίας που προκύπτουν. Για αυτό το λόγο η πυκνότητα πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις.

$$\rho(\theta_c) = \rho(20^\circ C)(kg/m^3), \quad \text{για } 20^\circ C \leq \theta_c \leq 115^\circ C$$

$$\rho(\theta_c) = \rho(20^\circ C)(1 - 0,02(\theta_c - 115)/85)(kg/m^3), \quad \text{για } 115^\circ C < \theta_c \leq 200^\circ C$$

$$\rho(\theta_c) = \rho(20^\circ C)(0,98 - 0,03(\theta_c - 200)/200)(kg/m^3), \quad \text{για } 200^\circ C < \theta_c \leq 400^\circ C$$

$$\rho(\theta_c) = \rho(20^\circ C)(0,95 - 0,07(\theta_c - 400)/800)(kg/m^3), \quad \text{για } 400^\circ C < \theta_c \leq 1200^\circ C.$$

Επιπλέον των παραπάνω η έκδοση του 2021 του Κανονισμού, σε αντίθεση με αυτόν του 2004, προσθέτει επί πλέον ότι για το ελαφροσκυρόδεμα η πυκνότητά του υλικού πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1200 έως 2000 kg/m³ για το σχεδιασμό σε κατάσταση πυρκαγιάς.

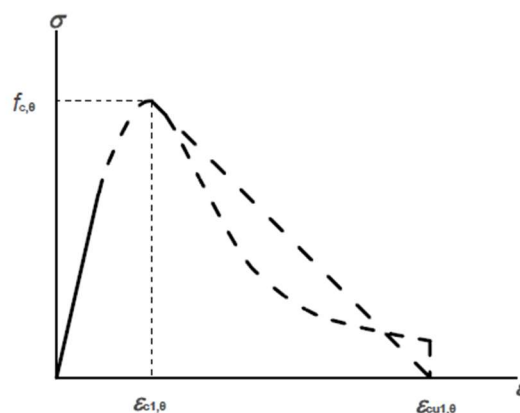
3.1.3 Σκυρόδεμα υπό θλίψη

Οι ιδιότητες παραμόρφωσης και αντοχής του σκυροδέματος κατά την μονοαξονική καταπόνησή του σε αυξημένες θερμοκρασίες λαμβάνονται σύμφωνα με το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, το οποίο δίνεται στον Κανονισμό και με τις σχέσεις που το συνοδεύουν.

Στον EN 1992-1-2:2004 το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων εξαρτάται από δύο παραμέτρους: τη μέγιστη θλιπτική αντοχή $f_{c,\theta}$ και την παραμόρφωση $\varepsilon_{c1,\theta}$ στη θλιπτική αντοχή $f_{c,\theta}$. Το μαθηματικό μοντέλο για το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του Κανονισμού φαίνεται στην Εικόνα 3. Η μαθηματική σχέση του διαγράμματος για τους υπολογισμούς είναι η εξής:

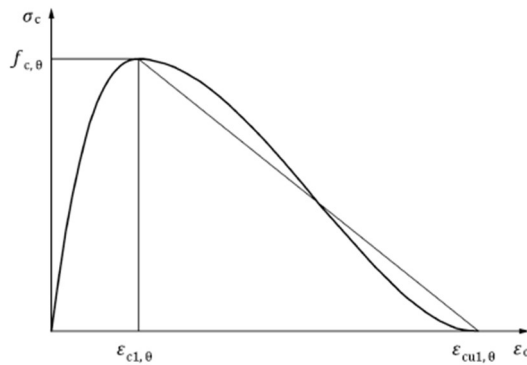
$$\sigma_c(\theta) = \frac{3\varepsilon_c f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1,\theta}}\right)^3\right)} \text{ όταν } \varepsilon_{c1,\theta} \geq \varepsilon_c.$$

Για το διάστημα $\varepsilon_{c1,\theta} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu1,\theta}$ οι υπολογισμοί μπορούν να προκύψουν με τη χρήση γραμμικών ή μη γραμμικών μεθόδων.



Εικόνα 4: Μαθηματικό μοντέλο τάσεων – παραμορφώσεων EN 1992-1-2:2004

Στον prEN 1992-1-2:2021 το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων προσδιορίζεται από τρεις παραμέτρους: τη μέγιστη θλιπτική αντοχή $f_{c,\theta}$ και την παραμόρφωση $\varepsilon_{c1,\theta}$ στην θλιπτική αντοχή $f_{c,\theta}$, όπως και στον EN 1992-1-2:2004, καθώς και από την τελική ολική παραμόρφωση $\varepsilon_{cu1,\theta}$. Η διαφορά στις παραμέτρους που χρειάζονται για τον προσδιορισμό του διαγράμματος είναι και ο λόγος που το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων είναι διαφορετικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 5: Μαθηματικό μοντέλο τάσεων – παραμορφώσεων prEN 1992-1-2:2021

Η μαθηματική σχέση τάσης – παραμόρφωσης για τον υπολογισμό αριθμητικών αποτελεσμάτων είναι ίδια με τον EN 1992-1-2:2004.

Οι δύο Κανονισμοί δίνουν αριθμητικά αποτελέσματα για τις παραπάνω παραμέτρους ($f_{c,\theta}$, $\epsilon_{c1,\theta}$, $\epsilon_{cu1,\theta}$) για σκυροδέματα με πυριτικά ή ασβεστολιθικά αδρανή, δηλαδή με περιεκτικότητα τουλάχιστον 80% ασβεστολιθικά αδρανή κατά βάρος συνόλου των αδρανών.

Ο EN 1992-1-2:2004 δίνει τον Πίνακα 1, όπου διαχωρίζει το σκυρόδεμα ανάλογα με το είδος των αδρανών που περιέχει και δίνει τις παραμορφώσεις $\epsilon_{c1,\theta}$ και $\epsilon_{cu1,\theta}$ και το μειωτικό συντελεστή $k_{c,\theta}$ ($k_{c,\theta} = f_{c,\theta}/f_{ck}$), από όπου προκύπτει η τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης σύμφωνα με τον Κανονισμό η πιθανή αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος κατά την φάση ψύξεως δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάλυση.

Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 παρουσιάζει τον Πίνακα 2, όπου το σκυρόδεμα διαχωρίζεται ανάλογα με τη χαρακτηριστική του αντοχή, σε σκυροδέματα με $f_{ck} \geq 70 \text{MPa}$ και σε σκυροδέματα με $f_{ck} < 70 \text{MPa}$, καθώς και ανάλογα με το είδος των αδρανών που περιέχει (πυριτικά ή ασβεστολιθικά). Ο διαχωρισμός αυτός επηρεάζει μόνο την τιμή του μειωτικού συντελεστή και κατά συνέπεια την τιμή της θλιπτικής αντοχής σε αυξημένες θερμοκρασίες για τις ίδιες τιμές των παραμορφώσεων.

Αναφέρεται επίσης ότι σε περίπτωση που γίνεται χρήση ελαφροσκυροδέματος τότε οι τιμές των παραμέτρων θα πρέπει να βασίζονται σε εργαστηριακές δοκιμές που θα πραγματοποιηθούν επί τούτου. Τελειώνοντας, ο Κανονισμός δίνει την δυνατότητα να λαμβάνεται υπόψη η αλλαγή στην αντοχή του σκυροδέματος μετά την φάση ψύξεως. Δηλαδή επιτρέπει τον υπολογισμό της καινούριας αντοχής του σκυροδέματος αφού έχει φτάσει στην μέγιστη θερμοκρασία $\theta_{c,max}$ και έχει επανέλθει στην θερμοκρασία των 20°C .

Θερμοκρασίας	Πυριτικά αδρανή			Ασβεστολιθικά αδρανή		
Σκυρ. θ	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2	3	4	5	6	7
20	1	0,0025	0,02	1	0,0025	0,02
100	1	0,004	0,0225	1	0,004	0,0225
200	0,95	0,0055	0,025	0,97	0,0055	0,025
300	0,85	0,007	0,0275	0,91	0,007	0,0275
400	0,75	0,01	0,03	0,85	0,01	0,03
500	0,6	0,015	0,0325	0,74	0,015	0,0325
600	0,45	0,025	0,035	0,6	0,025	0,035
700	0,3	0,025	0,0375	0,43	0,025	0,0375
800	0,15	0,025	0,04	0,27	0,025	0,04
900	0,08	0,025	0,0425	0,15	0,025	0,0425
1000	0,04	0,025	0,045	0,06	0,025	0,045
1100	0,01	0,025	0,0475	0,02	0,025	0,0475
1200	0	-	-	0	-	-

Πίνακας 1: Τιμές τάσεων – παραμορφώσεων για κανονικά σκυροδέματα με πυριτικά ή ασβεστολιθικά αδρανή σε αυξημένες θερμοκρασίες κατά EN 1992-1-2:2004

Θερμοκρασία Σκυρ. θ	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta}/f_{ck}$			$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
	$f_{ck} < 70 \text{ MPa}$		$f_{ck} \geq 70 \text{ MPa}$		
	Πυριτικά αδρανή	Ασβεστολιθικά αδρανή	Όλα τα είδη αδρανών		
[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2	3	4		
20	1	1	1	0,0025	0,02
100	1	1	1	0,004	0,0225
200	0,95	0,97	0,75	0,0055	0,025
300	0,85	0,91	0,75	0,007	0,0275
400	0,75	0,85	0,75	0,01	0,03
500	0,6	0,74	0,6	0,015	0,0325
600	0,45	0,6	0,45	0,025	0,035
700	0,3	0,43	0,3	0,025	0,0375
800	0,15	0,27	0,15	0,025	0,04
900	0,08	0,15	0,08	0,025	0,0425
1000	0,04	0,06	0,04	0,025	0,045
1100	0,01	0,02	0,01	0,025	0,0475
1200	0	0	0	–	–

Πίνακας 2: Τιμές τάσεων – παραμορφώσεων για κανονικά σκυροδέματα με πυριτικά ή ασβεστολιθικά αδρανή σε αυξημένες θερμοκρασίες κατά prEN 1992-1-2:2021

Κατά τον prEN 1992-1-2:2021, αν η αλλαγή στην αντοχή του σκυροδέματος μετά την φάση ψύξεως ληφθεί υπόψη, τότε η απομένουσα αντοχή του σκυροδέματος υπολογίζεται από την σχέση: $f_{c,\theta,20^\circ\text{C}} = \varphi f_{ck}$, όπου ο συντελεστής φ εξαρτάται από την μέγιστη θερμοκρασία θ_{max} και από την χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ck} . Συγκεκριμένα:

Αν $f_{ck} < 70 \text{ MPa}$ τότε

$$\varphi = f_{c,\theta_{\text{max}}}/f_{ck} \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_{\text{max}} < 100^\circ\text{C}$$

$$\varphi = \left(\frac{f_{c,\theta_{\text{max}}}}{f_{ck}}\right)(-0,0005\theta_{\text{max}} + 1,05) \quad \text{για } 100^\circ\text{C} \leq \theta_{\text{max}} < 300^\circ\text{C}$$

$$\varphi = 0,9(f_{c,\theta_{\text{max}}}/f_{ck}) \quad \text{για } \theta_{\text{max}} \geq 300^\circ\text{C}.$$

Αν $f_{ck} \geq 70 \text{ MPa}$ τότε

$$\varphi = f_{c,\theta_{\text{max}}}/f_{ck} \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_{\text{max}} < 1200^\circ\text{C}.$$

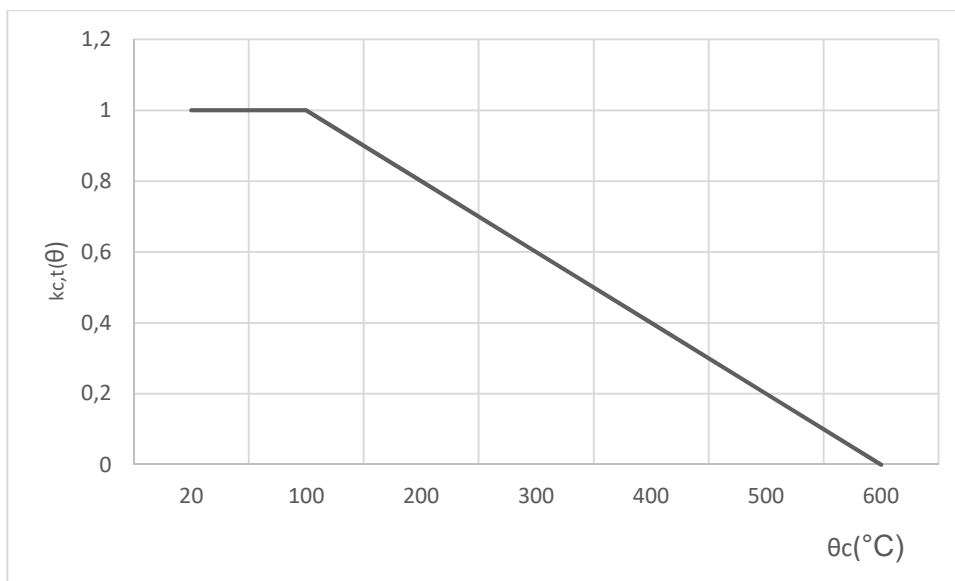
Ο λόγος $f_{c,\theta_{\text{max}}}/f_{ck}$ προσδιορίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2 για $\theta = \theta_{\text{max}}$. Οι αντίστοιχες παραμορφώσεις μπορούν να θεωρηθούν ίσες με τις τιμές του Πίνακα.

3.1.4 Σκυρόδεμα σε εφελκυσμό

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος θα πρέπει να αγνοείται και κατά τους δύο Κανονισμούς. Αν για κάποιο λόγο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την χρήση μιας απλοποιημένης ή προηγμένης μεθόδου υπολογισμού, τότε η αντοχή σε εφελκυσμό του σκυροδέματος είναι $f_{ct,\theta} = k_{c,t} f_{ct}$, όπου, και οι δύο Κανονισμοί, υπολογίζουν τον μειωτικό συντελεστή $k_{c,t}$ ως εξής (Εικόνα 5):

$$k_{c,t}(\theta_c) = 1,0 \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 100^\circ\text{C}$$

$$k_{c,t}(\theta_c) = (600 - \theta_c)/500 \quad \text{για } 100^\circ\text{C} < \theta_c \leq 600^\circ\text{C}.$$



Εικόνα 6: Μειωτικός συντελεστής $k_{c,t}$ συναρτήσει της θερμοκρασίας θ_c στην περίπτωση εφελκυσμού του σκυροδέματος σε αυξημένες θερμοκρασίες

Σημείωση: ο EN 1992-1-2:2004 τη δεύτερη εξίσωση την εκφράζει ως $k_{c,t}(\theta) = 1,0 - (\theta_c - 100)/500$, που είναι η ίδια εξίσωση με την παραπάνω, αλλά σε μια πιο απλοποιημένη μορφή.

3.1.5 Θερμοκρασιακή διαστολή του σκυροδέματος

Η θερμοκρασιακή διαστολή $\varepsilon_c(\theta_c)$ του σκυροδέματος υπολογίζεται ανάλογα με το είδος των αδρανών που έχει το σκυρόδεμα και δεν εξαρτάται από την αντοχή του σκυροδέματος.

Για σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή:

$$\varepsilon_c(\theta_c) = -1,2 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-6} \theta_c + 1,4 \cdot 10^{-11} \theta_c^3, \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 805^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_c(\theta_c) = 12 \cdot 10^{-3}, \quad \text{για } 805^\circ\text{C} < \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}.$$

Για σκυροδέματα με πυριτικά αδρανή:

$$\varepsilon_c(\theta_c) = -1,8 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-6} \theta_c + 2,3 \cdot 10^{-11} \theta_c^3, \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 700^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_c(\theta) = 14 \cdot 10^{-3},$$

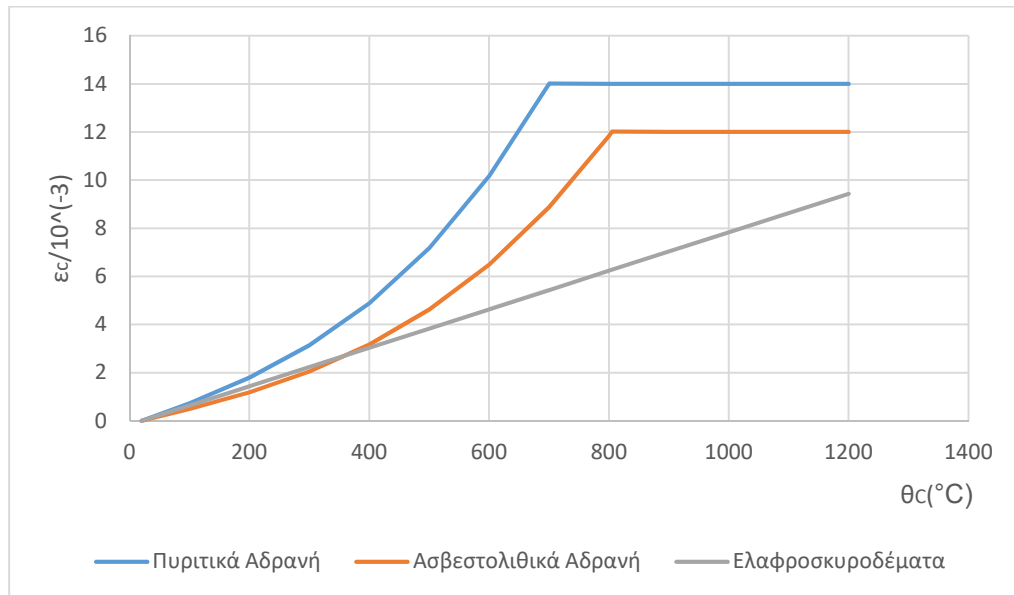
$$\text{για } 700^\circ\text{C} < \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}.$$

Επιπλέον ο prEN 1992-1-2:2021 έχει προσθέσει και την θερμική διαστολή σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ελαφροσκυρόδεμα, για το οποίο ισχύει:

$$\varepsilon_c(\theta) = 8 \cdot 10^{-6}(\theta_c - 20),$$

$$\text{για } 20^\circ\text{C} < \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}.$$

Η θερμοκρασιακή διαστολή φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας 6 ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος.



Εικόνα 7: Θερμοκρασιακή διαστολή σκυροδέματος

3.2 Χάλυβας οπλισμού

3.2.1 Αντοχή και παραμόρφωση

Η αντοχή και η παραμόρφωση του χάλυβα οπλισμού σε υψηλές θερμοκρασίες προσδιορίζονται από την σχέση τάσεων – παραμορφώσεων του. Οι δύο Κανονισμοί χρησιμοποιούν το ίδιο μαθηματικό μοντέλο για τον προσδιορισμό του διαγράμματος σ-ε, τόσο για τον χάλυβα οπλισμού όσο και για τον χάλυβα προέντασης. Η σχέση τάσης – παραμόρφωσης του χάλυβα ορίζεται από το μέτρο ελαστικότητας $E_{s,\theta}$, το αναλογικό όριο $f_{sp,\theta}$ και από τη μέγιστη αντοχή $f_{sy,\theta}$. Το ποιοτικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων παρουσιάζεται στην Εικόνα 7, ενώ οι μαθηματικές σχέσεις που το διέπουν είναι οι εξής:

$$\sigma_s(\theta) = \varepsilon_s E_{s,\theta} \quad \text{για } \varepsilon_{sp,\theta}$$

$$\sigma_s(\theta) = f_{sp,\theta} - c + \left(\frac{b}{a}\right)(a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_s)^2)^{0,5} \quad \text{για } \varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy,\theta},$$

$$\text{όπου } a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + \frac{c}{E_{s,\theta}})$$

$$b^2 = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} + c^2$$

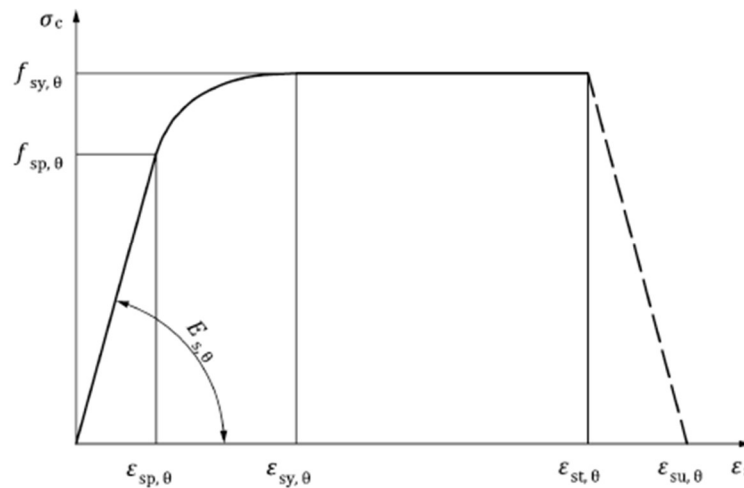
$$c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$$

$$\sigma_s(\theta) = f_{sy,\theta} \quad \text{για } \varepsilon_{sy,\theta} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st,\theta}$$

$$\sigma_s(\theta) = f_{sy,\theta} \left(1 - \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{st,\theta}}{\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta}}\right) \quad \text{για } \varepsilon_{st,\theta} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su,\theta}$$

$$\sigma_s(\theta) = 0 \quad \text{για } \varepsilon_s = \varepsilon_{su,\theta}$$

Οι παράμετροι $\varepsilon_{sy,\theta}$, $\varepsilon_{st,\theta}$ και $\varepsilon_{su,\theta}$ ορίζονται ανάλογα με την κλάση του οπλισμού. Για οπλισμό κλάσης A οι παράμετροι παίρνουν τις τιμές 0,02, 0,05 και 0,10, ενώ για οπλισμό κλάσης B ή C λαμβάνουν τις τιμές 0,02, 0,15 και 0,20 αντίστοιχα.



Εικόνα 8: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων για χάλυβα οπλισμού και χάλυβα προέντασης σε υψηλές θερμοκρασίες

Ο EN 1992-1-2:2004 δίνει το μέτρο ελαστικότητας $E_{s,\theta}$, το αναλογικό όριο $f_{sp,\theta}$ και τη μέγιστη αντοχή $f_{sy,\theta}$ για χάλυβα οπλισμού θερμής έλασης και ψυχρής κατεργασίας σε αυξημένες θερμοκρασίες (Πίνακας 3 και 4).

Ο Κανονισμός προτείνει γενικά να χρησιμοποιείται ο Πίνακας 3, ενώ ο Πίνακας 4 να χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα που να αποδεικνύουν τις τιμές αυτές. Παρ' όλα αυτά δίνεται η δυνατότητα σε κάθε χώρα στο Εθνικό της Προσάρτημα να επιλέξει ποιον Πίνακα θα χρησιμοποιεί. Τέλος για όλες τις ενδιαμέσες θερμοκρασίες θεωρείται αποδεκτή η τιμή που προκύπτει από γραμμική παρεμβολή.

Θερμοκρασία Χάλυβα θ	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$		$f_{sp,\theta}/f_{yk}$		$E_{s,\theta}/E_s$	
	Θερμής έλασης	Ψυχρής κατεργα- σίας	Θερμής έλασης	Ψυχρής κατεργα- σίας	Θερμής έλασης	Ψυχρής κατεργα- σίας
°C						
1	2	3	4	5	6	7
20	1	1	1	1	1	1
100	1	1	1	0,96	1	1
200	1	1	0,81	0,92	0,9	0,87
300	1	1	0,61	0,81	0,8	0,72
400	1	0,94	0,42	0,63	0,7	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,6	0,4
600	0,47	0,4	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1200	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 3: Τιμές παραμέτρων για την σχέση τάσης – παραμόρφωσης για θερμής έλασης (hot rolled) και ψυχρής κατεργασίας (cold worked) χάλυβα οπλισμού σε υψηλές θερμοκρασίες (Κατηγορία N) κατά EN 1992-1-2:2004

Θερμοκρασία Χάλυβα θ	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$	$f_{sp,\theta}/f_{yk}$	$E_{s,\theta}/E_s$
	Οπλισμός θερμής έλασης και ψυχρής κατεργασίας		
°C			
20	1	1	1
100	1	1	1
200	1	0,87	0,95
300	1	0,74	0,9
400	0,9	0,7	0,75
500	0,7	0,51	0,6
600	0,47	0,18	0,31
700	0,23	0,07	0,13
800	0,11	0,05	0,09
900	0,06	0,04	0,07
1000	0,04	0,02	0,04
1100	0,02	0,01	0,02

Πίνακας 4: Τιμές παραμέτρων για την σχέση τάσης – παραμόρφωσης για θερμής έλασης (hot rolled) και ψυχρής κατεργασίας χάλυβα (cold worked) οπλισμού σε υψηλές θερμοκρασίες (Κατηγορία X) κατά EN 1992-1-2:2004

Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 δίνει μόνο έναν Πίνακα (Πίνακας 5), ο οποίος είναι ο ίδιος Πίνακας με τον Πίνακα του EN 1992-1-2:2004 για κατηγορία N (Πίνακας 3) αλλά έχει προστεθεί μία στήλη, η στήλη 6. Η στήλη 6 περιέχει την ισοδύναμη αντοχή του χάλυβα $f_{se,\theta}$, όταν η παραμόρφωση βρίσκεται ανάμεσα στο όριο αναλογικότητας $\varepsilon_{sp,\theta}$ και σε αυτήν στη μέγιστη αντοχή, με παραμόρφωση $\varepsilon_{sy,\theta} = 2\%$. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντοχή του χάλυβα σπλισμού στην περίπτωση που υπάρχει κάμψη και αξονική δύναμη, κατά τη χρήση της απλοποιημένης μεθόδου, και για την αξιολόγηση της κρίσιμης θερμοκρασίας του χάλυβα σπλισμού. Τέλος όμοια με τον EN 1992-1-2:2004, για τις ενδιάμεσες θερμοκρασίες η γραμμική παρεμβολή θεωρείται μια επαρκής προσέγγιση.

Θερμοκρασία Χάλυβα θ	$k_{sy,\theta} = f_{sy,\theta}/f_{yk}$		$k_{sp,\theta} = f_{sp,\theta}/f_{yk}$		$k_{se,\theta} = f_{se,\theta}/f_{yk}$	$k_{Es,\theta} = E_{s,\theta}/E_s$	
	Θερμής έλασης	Ψυχρής κατ/σίας	Θερμής έλασης	Ψυχρής κατ/σίας	Θερμής έλασης και ψυχρής κατ/σίας	Θερμής έλασης	Ψυχρής κατ/σίας
°C							
1	2	3	4	5	6	7	8
20	1	1	1	1	1	1	1
100	1	1	1	0,96	1	1	1
200	1	1	0,81	0,92	0,95	0,9	0,87
300	1	1	0,61	0,81	0,85	0,8	0,72
400	1	0,94	0,42	0,63	0,8	0,7	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,6	0,6	0,4
600	0,47	0,4	0,18	0,26	0,35	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,1	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,08	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,06	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
1200	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5: Τιμές παραμέτρων για την σχέση τάσης – παραμόρφωσης για θερμής έλασης (hot rolled) και ψυχρής κατεργασίας (cold worked) χάλυβα σπλισμού σε υψηλές θερμοκρασίες κατά prEN 1992-1-2:2021

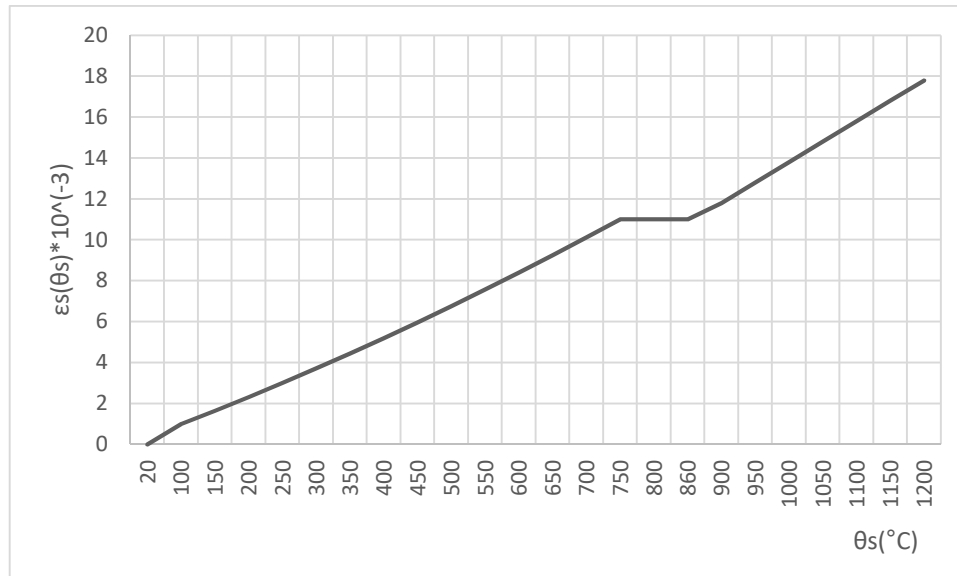
3.2.2 Θερμοκρασιακή διαστολή χάλυβα σπλισμού

Η θερμοκρασιακή διαστολή του χάλυβα σπλισμού σε υψηλές θερμοκρασίες υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις και για τους δύο Κανονισμούς, ενώ το διάγραμμα θερμοκρασιακής διαστολής συναρτήσει της θερμοκρασίας φαίνεται στη Εικόνα 8.

$$\varepsilon_s(\theta_s) = -2,416 * 10^{-4} + 1,2 * 10^{-5}\theta_s + 0,4 * 10^{-8}\theta_s^2, \text{ για } 20^\circ\text{C} \leq \theta_s \leq 750^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_s(\theta_s) = 11 * 10^{-3}, \text{ για } 750^\circ\text{C} < \theta_s \leq 860^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_s(\theta_s) = -6,2 * 10^{-3} + 2 * 10^{-5}\theta_s, \text{ για } 860^\circ\text{C} < \theta_s \leq 1200^\circ\text{C}.$$



Εικόνα 9: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασιακής διαστολής συναρτήσει της θερμοκρασίας του χάλυβα οπλισμού

3.3 Χάλυβας προέντασης

3.3.1 Αντοχή και παραμόρφωση

Η αντοχή και η παραμόρφωση του χάλυβα προέντασης σε αυξημένες θερμοκρασίες υπολογίζονται από το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων του υλικού. Οι δύο Κανονισμοί χρησιμοποιούν το μαθηματικό μοντέλο του χάλυβα οπλισμού και για τον χάλυβα προέντασης (Εικόνα 4) για τον υπολογισμό του διαγράμματος. Επιπλέον δίνονται σε Πίνακα οι αριθμητικές τιμές του διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων για ψυχρά κατεργασμένο, σύρματα και συρματόσχοινα, βαμμένοι με σκλήρυνση ή ψύξη, ράβδοι, χάλυβα προέντασης σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ο EN 1992-1-2:2004 δίνει τις αριθμητικές τιμές του Πίνακα 6, όπου οι τιμές που δίνονται εξαρτώνται από τον συντελεστή β. Η τιμή του β υπολογίζεται ανάλογα με την κατηγορία του χάλυβα Α ή Β, όπως αυτή έχει οριστεί στο Εθνικό Προσάρτημα της κάθε χώρας.

Σε περίπτωση που ο χάλυβας προέντασης είναι κατηγορίας Β τότε η τιμή του συντελεστή β είναι 0,9. Αν η κατηγορία του χάλυβα προέντασης είναι Α τότε ο συντελεστής β υπολογίζεται από την σχέση:

$$\beta = \left(\frac{\varepsilon_{ud} - f_{p0,1k}/E_p}{\varepsilon_{uk} - f_{p0,1k}/E_p} \right) \left(\frac{f_{pk} - f_{p0,1k}}{f_{pk}} \right) + \left(\frac{f_{p0,1k}}{f_{pk}} \right)$$

όπου οι τιμές των ε_{ud} , ε_{uk} , $f_{p0,1k}$, f_{pk} και E_p είναι αυτές που δίνονται στον EN 1992-1-1 για τον χάλυβα προέντασης σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας. Τέλος οι τιμές του Πίνακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για γραμμική παρεμβολή, ώστε να υπολογιστούν οι παράμετροι και για τις ενδιάμεσες θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία Χάλυβα θ [°C]	$f_{py,\theta} / (\beta f_{pk})$			$f_{rp,\theta} / (\beta f_{pk})$		$E_{p,\theta} / E_p$		$\varepsilon_{pt,\theta}$	$\varepsilon_{ru,\theta}$
	cw		q & t	cw	q & t	cw	q & t	cw, q & t	cw, q & t
	Κατηγορία A	Κατηγορία B							
1	2a	2b	3	4	5	6	7	8	9
20	1	1	1	1	1	1	1	0,05	0,1
100	1	0,99	0,98	0,68	0,77	0,98	0,76	0,05	0,1
200	0,87	0,87	0,92	0,51	0,62	0,95	0,61	0,05	0,1
300	0,7	0,72	0,86	0,32	0,58	0,88	0,52	0,055	0,105
400	0,5	0,46	0,69	0,13	0,52	0,81	0,41	0,06	0,11
500	0,3	0,22	0,26	0,07	0,14	0,54	0,2	0,065	0,115
600	0,14	0,1	0,21	0,05	0,11	0,41	0,15	0,07	0,12
700	0,06	0,08	0,15	0,03	0,09	0,1	0,1	0,075	0,125
800	0,04	0,05	0,09	0,02	0,06	0,07	0,06	0,08	0,13
900	0,02	0,03	0,04	0,01	0,03	0,03	0,03	0,085	0,135
1000	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0,14
1100	0	0	0	0	0	0	0	0,095	0,145
1200	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,15

Πίνακας 6: Τιμές παραμέτρων διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων για ψυχρά κατεργασμένο, σύρματα και κλώνοι (cw), και σβησμένο και μετριασμένο, ράβδοι (q & t), χάλυβα προέντασης σε υψηλές θερμοκρασίες κατά EN 1992-1-2:2004

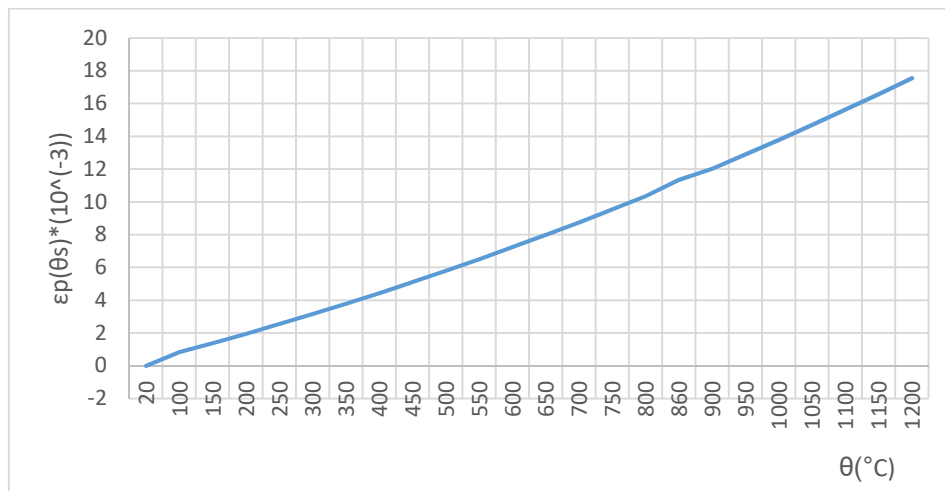
Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 εισάγει τον Πίνακα 7, ο οποίος είναι διαφορετικός από τον Πίνακα 6 του EN 1992-1-2:2004. Βασική διαφορά του Πίνακα 7 είναι ότι γενικώς οι τιμές του εξαρτώνται άμεσα με τον όρο $f_{p0,1k}$ σε αντίθεση με τον Πίνακα 6 (EN 1992-1-2:2004) όπου εξαρτώνται από τον όρο βf_{pk} , όπως και ότι η τάση διαρροής του χάλυβα προέντασης για σύρματα και συρματόσχοινα δεν διαχωρίζεται ανάλογα με την κατηγορία του χάλυβα (κατηγορία A ή B), όπως γίνεται στον EN 1992-1-2:2004.

Επιπρόσθετα ο Κανονισμός prEN 1992-1-2:2021 έχει δημιουργήσει δύο ακόμη στήλες που αφορούν τον όρο $f_{pe,\theta}$ για σύρματα, συρματόσχοινα και ράβδους, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κρίσιμης θερμοκρασίας του προεντεταμένου χάλυβα. Τελειώνοντας, όμοια με τον Κανονισμό του 2004 επιτρέπεται μέσω γραμμικής παρεμβολής να υπολογιστούν οι τιμές των παραμέτρων για τις ενδιάμεσες θερμοκρασίες.

Θερμ. Χάλυβα θ [°C]	$k_{py,\theta} = f_{py,\theta}/f_{p0,1k}$		$k_{pp,\theta} = f_{pp,\theta}/f_{p0,1k}$		$k_{pe,\theta} = f_{pe,\theta}/f_{p0,1k}$		$k_{Ep,\theta} = E_{p,\theta}/E_p$		$\epsilon_{pt,\theta}$	$\epsilon_{pu,\theta}$
	Σύρματα & συρμ/να	Ράβδοι	Σύρματα & συρμ/να	Ράβδοι	Σύρματα & συρμ/να	Ράβδοι	Σύρματα & συρμ/να	Ράβδοι	Σύρματα, συρμ/να & Ράβδοι	Σύρματα, συρμ/να & Ράβδοι
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	1	1	1	1	1	1	1	1	0,05	0,1
100	0,98	0,98	0,68	0,77	1	1	0,98	0,76	0,05	0,1
200	0,87	0,92	0,51	0,62	0,85	0,925	0,95	0,61	0,05	0,1
300	0,7	0,86	0,32	0,58	0,7	0,85	0,88	0,52	0,055	0,105
400	0,5	0,69	0,13	0,52	0,5	0,6	0,81	0,41	0,06	0,11
500	0,3	0,26	0,07	0,14	0,2	0,2	0,54	0,2	0,065	0,115
600	0,14	0,21	0,05	0,11	0,1	0,1	0,41	0,15	0,07	0,12
700	0,06	0,15	0,03	0,09	0,075	0,075	0,1	0,1	0,075	0,125
800	0,04	0,09	0,02	0,06	0,05	0,05	0,07	0,06	0,08	0,13
900	0,02	0,04	0,01	0,03	0,025	0,025	0,03	0,03	0,085	0,135
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0,14
1100	0	0	0	0	0	0	0	0	0,095	0,145
1200	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,15

Πίνακας 7: Τιμές παραμέτρων διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων για ψυχρά κατεργασμένο, σύρματα και κλώνοι (cw), και σβησμένο και μετριασμένο, ράβδοι (q & t), χάλυβα προέντασης σε υψηλές θερμοκρασίες κατά prEN 1992-1-2:2021

3.3.2 Θερμοκρασιακή διαστολή χάλυβα προέντασης



Εικόνα 10: Γραφική απεικόνιση της θερμοκρασιακής διαστολής συναρτήσεως της θερμοκρασίας του χάλυβα προέντασης

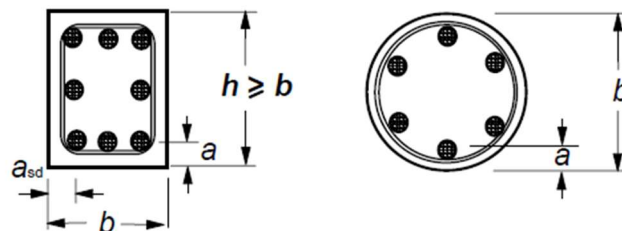
Η θερμοκρασιακή διαστολή του χάλυβα προέντασης σε υψηλές θερμοκρασίες, για τους δύο Κανονισμούς, υπολογίζεται από την σχέση:

$$\varepsilon_s(\theta_s) = -2,016 * 10^{-4} + 10^{-5}\theta_s + 0,4 * 10^{-8}\theta_s^2, \quad \text{για } 20^\circ\text{C} < \theta_s \leq 1200^\circ\text{C}.$$

4. Σχεδιασμός με χρήση Πινάκων

4.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός κατασκευής με χρήση των δεδομένων σε Πίνακες που δίνουν οι δύο Κανονισμοί αφορά μόνο την περίπτωση έκθεσης σε πρότυπη φωτιά έως 240 λεπτά. Οι Πίνακες που παρουσιάζονται στους δύο Κανονισμούς αφορούν κανονικά σκυροδέματα με πυριτικά αδρανή. Αν γίνεται χρήση ελαφρασκυροδέματος ή σκυροδέματος με ασβεστολιθικά αδρανή τότε οι ελάχιστες διαστάσεις που δίνονται για δοκούς και πλάκες θα πρέπει να μειώνονται κατά 10%. Επιπλέον τα δεδομένα των Πινάκων θεωρούνται επαρκή, οπότε αν οι ελάχιστες διαστάσεις που δίνονται ακολουθούνται, τότε περαιτέρω έλεγχοι για στρέψη, διάτμηση και αγκύρωση στον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς δεν είναι απαραίτητοι, αλλά ταυτόχρονα κατά τον γενικότερο σχεδιασμό της κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι έλεγχοι που παρουσιάζονται στον αντίστοιχο Κανονισμό σκυροδέματος. Η μόνη διαφορά των δύο Κανονισμών στο εύρος χρήσης των δεδομένων των Πινάκων είναι ότι κατά τον prEN 1992-1-2:2021 τα σκυροδέματα με $f_{ck} \geq 70\text{MPa}$ δίνουν επαρκή αποτελέσματα μόνο για $R < 180$, και για αυτό το λόγο δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για $R \geq 180$. Τέλος για θερμοκρασίες ενδιάμεσες των τιμών των Πινάκων η χρήση της γραμμικής παρεμβολής δίνει επαρκή αποτελέσματα και για τους δύο Κανονισμούς, ενώ οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται είναι ίδιοι, όπως αυτοί που παρουσιάζονται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Συμβολισμοί των διαστάσεων των διατομών σύμφωνα με τους δύο Κανονισμούς.

4.2 Κανόνες σχεδιασμού

Η απαίτηση των Κανονισμών που αφορά τις ελάχιστες διαστάσεις που παρουσιάζουν οι Πίνακες είναι η δράση σχεδιασμού κατά την περίπτωση της πυρκαγιάς να είναι μικρότερη ή ίση με την αντίστοιχη αντοχή σχεδιασμού ($E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$), όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2.5. Οι δύο Κανονισμοί έχουν δεδομένα για τα οποία ο μειωτικός συντελεστής η_{fi} είναι 0,7.

Οι δύο Κανονισμοί έχουν θεωρήσει ότι η κρίσιμη θερμοκρασία (θ_{cr}) για απλά εδραζόμενες δοκούς και πλάκες είναι 500°C , όπου αντιστοιχεί περίπου σε $E_{d,fi} = 0,7E_d$ (E_d η δράση σχεδιασμού κατά EN 1992-1-1:2004 ή prEN 1992-1-1:2021 ανάλογα τον Κανονισμό), $\gamma_s = 1,15$ και $\sigma_{s,fi}/f_{yk} = 0,6$. Επίσης για να ισχύουν και για τους προεντεταμένους τένοντες οι παραπάνω σχέσεις, έχει

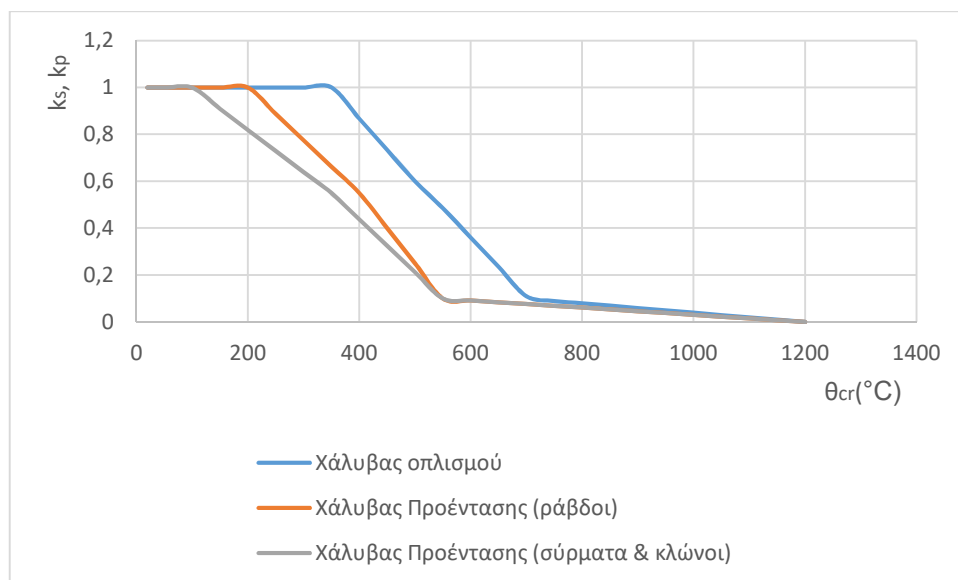
θεωρηθεί ότι η κρίσιμη θερμοκρασία για τις προεντεταμένες ράβδους είναι 400°C και για σύρματα και συρματόσχοινα αντίστοιχα είναι 350°C, ενώ αν δεν γίνονται περαιτέρω έλεγχοι για τα εφελκόμενα προεντεταμένα μέλη τότε η απόσταση α των Πινάκων για πλάκες και δοκούς θα πρέπει να αυξάνεται 10mm για ράβδους ($\theta_{cr} = 400^\circ\text{C}$) και 15mm για σύρματα και συρματόσχοινα ($\theta_{cr} = 350^\circ\text{C}$).

Αν η κρίσιμη θερμοκρασία για ελκυστήρες και απλά εδραζόμενα μέλη σε κάμψη, εκτός από αυτά που έχουν μη ενεματωμένους τένοντες, είναι διαφορετική από 500°C, τότε πρέπει να γίνονται περαιτέρω έλεγχοι, τα δε δεδομένα που δίνονται στους Κανονισμούς πρέπει να μεταβάλλονται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

- i. Μεταβολή της ελάχιστης απόστασης που δίνεται στους Πίνακες, όπου η μεταβολή υπολογίζεται ως: $\Delta a = 0,1(500 - \theta_{cr})$ (mm)
- ii. Έλεγχος της τάσης του χάλυβα για το σενάριο πυρκαγιάς

$$\sigma_{s,fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \times \frac{f_{yk}(20^\circ\text{C})}{\gamma_s} \times \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}}$$

i. Έλεγχος της κρίσιμης θερμοκρασίας του οπλισμού ως προς το συντελεστή μείωσης, όπου: Κατά τον EN 1992-1-2:2004 γίνεται σύμφωνα με το διάγραμμα της Εικόνας 13 για χάλυβα οπλισμού $k_s(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{yk}(20^\circ\text{C})$ και για προεντεταμένο χάλυβα $k_p(\theta_{cr}) = \sigma_{p,fi}/f_{yk}(20^\circ\text{C})$, χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη καμπύλη, ενώ κατά τον prEN 1992-1-2:2021 σύμφωνα με τον Πίνακα 5 στήλη 6 για χάλυβα οπλισμού $\sigma_{s,fi} = f_{se,\theta}(\theta_{cr})$ και Πίνακα 7 στήλες 6 και 7 για χάλυβα προέντασης $\sigma_{p,fi} = f_{pe,\theta}(\theta_{cr})$.



Εικόνα 12: Διάγραμμα μειωτικού συντελεστή συναρτήσεως της κρίσιμης θερμοκρασίας για χάλυβα οπλισμού και χάλυβα προέντασης για EN 1992-1-2:2004

Οι καμπύλες του χάλυβα οπλισμού και του προεντεταμένου χάλυβα για την κρίσιμη θερμοκρασία που χρησιμοποιούνται στον EN 1992-1-2:2004 (Εικόνα 13) υπολογίζονται από τις σχέσεις:

- για χάλυβα οπλισμού

$$k_s(\theta) = 1,0 \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 350^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 1,0 - 0,4(\theta - 350)/150 \quad \text{για } 350^\circ\text{C} < \theta \leq 500^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,61 - 0,5(\theta - 500)/200 \quad \text{για } 500^\circ\text{C} < \theta \leq 700^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,1 - 0,1(\theta - 700)/500 \quad \text{για } 700^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

- για χάλυβα προέντασης (ράβδοι)

$$k_p(\theta) = 1,0 \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 200^\circ\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 1,0 - 0,45(\theta - 200)/200 \quad \text{για } 200^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,55 - 0,45(\theta - 400)/150 \quad \text{για } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 550^\circ\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,1 - 0,1(\theta - 550)/650 \quad \text{για } 550^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

- για χάλυβα προέντασης (σύρματα και κλώνοι)

$$k_p(\theta) = 1,0 \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 1,0 - 0,45(\theta - 100)/250 \quad \text{για } 100^\circ\text{C} < \theta \leq 350^\circ\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,55 - 0,45(\theta - 350)/200 \quad \text{για } 350^\circ\text{C} < \theta \leq 550^\circ\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,1 - 0,1(\theta - 550)/650 \quad \text{για } 550^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

Οι παραπάνω μεταβολές θεωρούνται αποδεκτές και για τους δύο Κανονισμούς μόνο όταν η κρίσιμη θερμοκρασία είναι μεταξύ 350°C και 700°C ($350^\circ\text{C} < \theta_{cr} < 700^\circ\text{C}$) και μόνο για τις τιμές των Πινάκων και όχι για αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω γραμμικής παρεμβολής. Σε περίπτωση που υπάρχουν μέλη με μη ενεματωμένους τένοντες, τότε, αν η κρίσιμη θερμοκρασία ξεπερνά τους 350°C δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι Πίνακες, σε κανέναν από τους δύο Κανονισμούς. Επιπλέον σε εφελκόμενα μέλη όπου απαιτείται η κρίσιμη θερμοκρασία στον σχεδιασμό να είναι κάτω των 400°C , σύμφωνα και με τους δύο Κανονισμούς, πρέπει να αυξάνεται το ελάχιστο πλάτος της εφελκόμενης ζώνης σύμφωνα με τη σχέση:

$$b_{mod} \geq b_{min} + 0,8(400 - \theta_{cr}) \text{ (mm)}$$

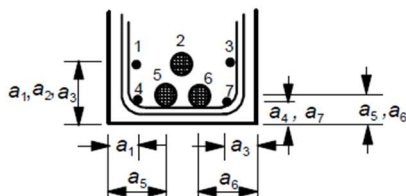
όπου b_{min} είναι η ελάχιστη διάσταση που δίνουν οι Πίνακες του κάθε Κανονισμού για την πρότυπη φωτιά. Οι δύο Κανονισμοί δίνουν ως εναλλακτική λύση την αλλαγή της απόστασης του οπλισμού από τον άξονα, αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια πιο αναλυτική μέθοδος και να μην γίνει χρήση των Πινάκων. Τέλος, σε περίπτωση που υπάρχουν πολλές στρώσεις οπλισμού ή προεντεταμένων τενόντων, τότε η ελάχιστη απόσταση που δίνουν οι Πίνακες θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέση απόσταση των στρώσεων του χάλυβα. Η μέση απόσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$a_m = \frac{A_{s1}f_{yk1}a_1 + A_{s2}f_{yk2}a_2 + \dots + A_{sn}f_{ykn}a_n}{A_{s1}f_{yk1} + A_{s2}f_{yk2} + \dots + A_{sn}f_{ykn}} = \frac{\sum A_{si}f_{yki}a_i}{\sum A_{si}f_{yki}}$$

όπου:

A_{si} είναι το εμβαδόν του τένοντα ή οπλισμού στην θέση i

a_i είναι η απόσταση του άξονα του τένοντα ή οπλισμού i από την κοντινότερη ελεύθερη επιφάνεια.



Εικόνα 13: Συμβολισμοί των διαστάσεων στην διατομή για τον υπολογισμό της μέσης απόστασης σύμφωνα με τους Κανονισμούς.

Επιπλέον της παραπάνω απαίτησης, κάθε απόσταση a_i θα πρέπει να μην είναι μικρότερη από αυτήν για $R = 30$ - για μία στρώση χάλυβα ή μισή αυτής της απόστασης για πέραν της μίας στρώσεις χάλυβα.

4.3 Τοιχία

4.3.1 Τοιχία μη φέροντα

Στην περίπτωση των μη φερόντων τοιχιών η αντίσταση έναντι πυρκαγιάς απαιτεί μόνο την ικανοποίηση των κριτηρίων ακεραιότητας (E) και θερμομόνωσης (I), για αυτό και χρησιμοποιείται ο Πίνακας 8, ο οποίος είναι ίδιος και στους δύο Κανονισμούς. Επίσης και οι δύο εκδόσεις του Ευρωκώδικα απαιτούν ο λόγος καθαρού ύψους προς πάχος τοιχίου να μην υπερβαίνει το 40. Η μόνη διαφορά που υπάρχει για τους δύο Κανονισμούς στην περίπτωση των μη φερόντων τοιχιών είναι ότι ο EN 1992-1-2:2004 επιτρέπει όταν χρησιμοποιούνται ασβεστολιθικά αδρανή τότε οι τιμές του Πίνακα για το πάχος του τοιχίου μπορούν να μειώνονται κατά 10%, ενώ ο prEN 1992-1-2:2021 δεν επιτρέπει καθόλου την μείωση των τιμών που παρουσιάζονται στον Κανονισμό.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστο πάχος τοιχίου (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Πίνακας 8: Ελάχιστο πάχος μη φέροντος τοιχίου

4.3.2 Φέροντα τοιχία

Ο EN 1992-1-2:2004 για τα φέροντα τοιχία ορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις που φαίνονται στον Πίνακα 9 με την προϋπόθεση ότι επιπλέον των διαστάσεων του Πίνακα ισχύει και ότι ο λόγος καθαρού ύψους προς πάχος τοιχίου είναι μικρότερος ή ίσος του 40. Επίσης, όπως και στην περίπτωση των μη φερόντων τοιχιών ο Κανονισμός επιτρέπει, αν γίνεται χρήση ασβεστολιθικών αδρανών, τότε το πάχος του τοιχίου που δίνει ο Πίνακας μπορεί να μειώνεται κατά 10%. Τέλος ο Πίνακας του Κανονισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οπλισμένους και άοπλα τοιχία.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) Πάχος τοίχου/ απόσταση άξονα			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,70$	
	τοιχίο εκτιθέμενο σε μία πλευρά	τοιχίο εκτιθέμενο σε δύο πλευρές	τοιχίο εκτιθέμενο σε μία πλευρά	τοιχίο εκτιθέμενο σε δύο πλευρές
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
*Συνήθως οι περιορισμοί του EN 1992-1-2:2004 είναι δυσμενέστεροι Ισχύει $\mu_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd}$				

Πίνακας 9: Ελάχιστες διαστάσεις φέροντος τοιχίου κατά EN 1992-1-2:2004

Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 δίνει της ελάχιστες διαστάσεις για φέροντα τοιχία στους Πίνακες 10 και 11, οι οποίοι για να χρησιμοποιηθούν πρέπει:

1. το τοιχίο να είναι οπλισμένο
2. σε κατάσταση πυρκαγιάς η εκκεντρότητα πρώτης τάξης $e = M_{0Ed,fi}/N_{Ed,fi}$ να μην υπερβαίνει το 25% της παράλληλης διάστασης
3. να ισχύει η σχέση $\mu_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd}$.

Η επιλογή του Πίνακα που θα χρησιμοποιηθεί γίνεται με τον υπολογισμό του ενεργού πλάτους σε κατάσταση πυρκαγιάς ($l_{0,fi}$) για το τοιχίο. Το ενεργό μήκος σε κατάσταση πυρκαγιάς, για φέρον τοιχίο, όταν το πάνω και κάτω μέρος του είναι εξασφαλισμένο, μπορεί να θεωρηθεί $l_{0,fi} = 0,7l$ για τοιχίο στον τελευταίο όροφο και $l_{0,fi} = 0,5l$ για τοιχίο σε ενδιάμεσο όροφο, όπου l είναι το γεωμετρικό πλάτος του τοιχίου. Όμως αν η στροφική δυσκαμψία στο πάνω ή κάτω μέρος δεν είναι

εξασφαλισμένη τότε $l_{0,fi} = l_0$, όπου l_0 το ενεργό μήκος σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας. Επιπλέον οι Πίνακες του Κανονισμού έχουν δημιουργηθεί για λόγο $l_{0,fi}/l_0 = 0,5$. Για να γίνει χρήση τους για διαφορετικό λόγο $l_{0,fi}/l_0$ θα πρέπει να υπολογιστεί εκ νέου ο όρος μ_{fi} , αλλά για αξονική δύναμη N_{Rd} όταν το ενεργό μήκος είναι $l_{0,fi} = 2l_0$. Τελειώνοντας, όμοια με τον EN 1992-1-2:2004, προϋπόθεση για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι Πίνακες είναι η αναλογία καθαρό ύψος τοίχου προς πάχος τοίχου να είναι μικρότερη ή ίση από 40.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) (τοιχίο εκτιθέμενο σε μία πλευρά) Πάχος τοίχου/ απόσταση άξονα			Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) (τοιχίο εκτιθέμενο σε δύο πλευρές) Πάχος τοίχου/ απόσταση άξονα		
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$		$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5	6	7	8
REI 30	100/10	110/10	120/10	REI 30	100/10	120/10	130/10
REI 60	110/10	120/15	130/20	REI 60	120/15	155/20	170/25
REI 90	120/20	135/25	140/30	REI 90	140/20	185/30	210/35
REI 120	135/25	150/30	160/35	REI 120	165/30	210/40	240/45
REI 180	155/35	170/40	180/45	REI 180	200/45	250/50	280/55
REI 240	180/40	200/45	210/50	REI 240	250/50	305/55	340/60

Πίνακας 10: Ελάχιστες διαστάσεις για φέροντα οπλισμένα τοιχία με $l_0 \leq 4,5m$ και $l_{0,fi} \leq 2,25m$

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) (τοιχίο εκτιθέμενο σε μία πλευρά) Πάχος τοίχου/ απόσταση άξονα			Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) (τοιχίο εκτιθέμενο σε δύο πλευρές) Πάχος τοίχου/ απόσταση άξονα		
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$		$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5	6	7	8
REI 30	80/10	90/10	100/10	REI 30	90/10	100/10	110/10
REI 60	90/10	100/10	110/15	REI 60	110/10	125/15	140/20
REI 90	100/10	110/15	120/20	REI 90	125/15	155/25	170/30
REI 120	120/15	120/20	130/25	REI 120	140/25	175/35	200/40
REI 180	150/20	150/25	150/30	REI 180	175/30	215/40	240/45
REI 240	170/25	175/30	175/35	REI 240	200/35	250/45	280/50

Πίνακας 11: Ελάχιστες διαστάσεις για φέροντα οπλισμένα τοιχία με $l_0 \leq 2,5m$ και $l_{0,fi} \leq 1,25m$

4.3.3 Τοίχοι πυροδιαμερισμάτων

Ο EN 1992-1-2:2004 επιπρόσθετα για τα φέροντα και μη τοιχία ορίζει ότι όταν ένας τοίχος μεταξύ πυροδιαμερισμάτων πρέπει να αντέχει σε κρούση, τότε επιπλέον των παραπάνω Πινάκων απαιτείται το ελάχιστο πάχος του τοίχου για κανονικό σκυρόδεμα να μην είναι λιγότερο από: 200mm για μη οπλισμένο τοιχίο, 140mm για οπλισμένο φέρον τοιχίο και 120mm για οπλισμένο μη φέρον τοιχίο και η απόσταση του άξονα να μην είναι μικρότερη από 25mm. Η παραπάνω απαίτηση δεν υπάρχει στην νεότερη έκδοση του Κανονισμού.

4.4 Εφελκούμενα Μέλη

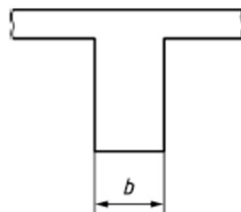
Τα εφελκούμενα μέλη οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος και στους δύο Κανονισμούς είναι επαρκώς σχεδιασμένα σε κατάσταση πυρκαγιάς αν ακολουθούνται οι Πίνακες για απλά εδραζόμενες δοκούς που δίνονται στον κάθε Κανονισμό και ταυτόχρονα ικανοποιούνται οι εξής κανόνες και για τους δύο Κανονισμούς: 1) αν η υπερβολική επιμήκυνση του μέλους επηρεάζει την φέρουσα ικανότητα της κατασκευής τότε οι αποστάσεις οπλισμού μεταβάλλονται σύμφωνα με την σχέση $\Delta a = 0,1(500 - \theta_{cr})$ (mm) και 2) η διατομή των εφελκόμενων μελών δεν είναι μικρότερη από $2b_{min}^2$ (b_{min} η διάσταση που δίνουν οι αντίστοιχοι Πίνακες του κάθε Κανονισμού).

4.5 Δοκοί

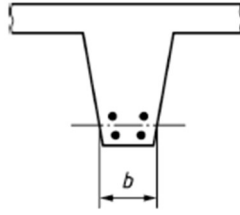
4.5.1 Γενικοί κανόνες για τις δοκούς

Οι οπλισμένες από σκυρόδεμα ή οι προεντεταμένες δοκοί σχεδιάζονται να αντέχουν σε συνθήκες πυρκαγιάς σύμφωνα με τους Πίνακες 12, 13, 14 και 15 ανάλογα με την περίπτωση της δοκού και το είδος του Κανονισμού. Παρ' όλα αυτά οι δύο Κανονισμοί απαιτούν να ακολουθούνται οι ίδιοι παρακάτω κανόνες.

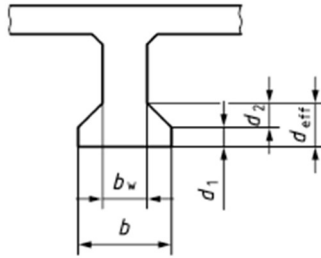
Αρχικά και οι τέσσερις Πίνακες έχουν σχεδιαστεί ούτως ώστε η δοκός να είναι εκτεθειμένη στη πυρκαγιά σε μία, δύο ή τρεις πλευρές της. Αν η τέταρτη πλευρά της δοκού δεν είναι μονωμένη με πλάκα ή άλλο υλικό που να παραμένει μονωμένη καθ' όλη την διάρκεια της φωτιάς, τότε πρέπει να ακολουθούνται επιπλέον περιορισμοί για να ισχύουν οι Πίνακες. Επιπλέον οι δύο Κανονισμοί χρησιμοποιούν ακριβώς τους ίδιους συμβολισμούς (Εικ. 14-16).



Εικόνα 14: Συμβολισμός διαστάσεων δοκού με σταθερό πλάτος διατομής



Εικόνα 15: Συμβολισμός διαστάσεων δοκού με μεταβλητό πλάτος διατομής



Εικόνα 16: Συμβολισμός διαστάσεων δοκού διατομής I

Ειδικά για δοκούς με μεταβλητό πλάτος διατομής η τιμή που δίνεται από τον Πίνακα είναι το ελάχιστο πλάτος της διατομής στο κέντρο του εφελκόμενου οπλισμού. Επιπλέον, στην περίπτωση διατομής μορφής I με μεταβλητό πλάτος (Εικόνα 16) τότε το ενεργό ύψος d_{eff} θα πρέπει να υπακούει στη σχέση:

$$d_{eff} = d_1 + 0,5d_2 \geq b_{min}$$

όπου

d_1 και d_2 οι διαστάσεις που φαίνονται στην Εικόνα 16

b_{min} είναι η ελάχιστη διάσταση του πλάτους της δοκού όπως δίνεται από τον Πίνακα του κάθε Κανονισμού. Η παραπάνω απαίτηση του ενεργού ύψους μπορεί να αγνοηθεί όταν οι ελάχιστες διαστάσεις των Πινάκων σε συνθήκες πυρκαγιάς ικανοποιούνται σε μια νοητή διατομή εντός της πραγματικής διατομής και περιλαμβάνεται όλος ο οπλισμός στην νοητή διατομή. Μία ακόμα απαίτηση των Κανονισμών είναι ότι σε περίπτωση που το πραγματικό πλάτος b του κάτω άκρου της διατομής ξεπερνά το $1,4b_w$ και ταυτόχρονα ισχύει $bd_{eff} < 2b_{min}^2$ τότε η απόσταση του άξονα του οπλισμού ή του προεντεταμένου χάλυβα θα πρέπει να αυξάνονται σύμφωνα με την σχέση:

$$a_{eff} = a \left(1,85 - \frac{d_{eff}}{b_{min}} \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq a .$$

Τέλος, οι δύο Κανονισμοί θεωρούν ότι σε περίπτωση που υπάρχουν οπές στην διατομή, η αντοχή της δοκού δεν επηρεάζεται σε συνθήκες πυρκαγιάς, αν η απομένουσα διατομή στην εφελκυστική περιοχή δεν είναι μικρότερη από $A_c = 2b_{min}^2$.

Η μοναδική διαφορά που έχουν οι δύο Κανονισμοί στους κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται για να μπορεί να γίνει χρήση των Πινάκων είναι ότι ο EN 1992-1-2:2004 διαχωρίζει το πάχος του

κορμού σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες WA, WB και WC, όπου η επιλογή της κατηγορίας του πάχους του κορμού βρίσκεται στο Εθνικό Προσάρτημα της Χώρας, ενώ ο prEN 1992-1-2:2021 έχει μία κατηγορία για όλες της περιπτώσεις.

4.5.2 Απλά εδραζόμενες δοκοί

Οι ελάχιστες διαστάσεις των απλά εδραζόμενων δοκών δίνονται από τον Πίνακα 12 για τον EN 1992-1-2:2004 και από τον Πίνακα 13 για τον prEN 1992-1-2:2021. Όταν οι δύο Πίνακες χρησιμοποιούνται θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί για προεντεταμένο σκυρόδεμα που ισχύουν, όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.2, και η απόσταση του άξονα της γωνιακής ράβδου του οπλισμού από την παρειά της δοκού για μία στρώση οπλισμού θα πρέπει να αυξάνεται κατά 10mm από την τιμή του Πίνακα όταν η τιμή του ελάχιστου πλάτους b_{min} της δοκού είναι μικρότερη ή ίση από τις τιμές της στήλης 4 και για τους δύο Πίνακες.

4.5.3 Συνεχείς δοκοί

Οι ελάχιστες διαστάσεις για συνεχείς δοκούς δίνονται από τον Πίνακα 14 για τον EN 1992-1-2:2004 και από τον Πίνακα 15 για τον prEN 1992-1-2:2021. Για να μπορεί να γίνει χρήση των Πινάκων συνεχών δοκών και για τους δύο Κανονισμούς, πρέπει να ισχύει ότι α) η ανακατανομή της ροπής κάμψης σε συνθήκες περιβάλλοντος να μην ξεπερνά το 15%, για τους μη ενεματωμένους τένοντες στις ενδιάμεσες στηρίξεις, β)) για μη ενεματωμένους τένοντες η συνολική ροπή αγκίστρωσης πάνω από τις ενδιάμεσες στηρίξεις υπό συνθήκες πυρκαγιάς αναλαμβάνεται από τον υπάρχοντα οπλισμό και γ) να ισχύει για τις ενδιάμεσες στηρίξεις το εξής: ο άνω οπλισμός στις ενδιάμεσες στηρίξεις για αντίσταση σε πυρκαγιά από R90 και πάνω για απόσταση $0,3l_{eff}$ από το κέντρο της στήριξης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από:

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) * (1 - \frac{2,5x}{l_{eff}})$$

όπου

x είναι η απόσταση από το κέντρο της στήριξης και είναι μικρότερη ή ίση του $0,3l_{eff}$

$A_{s,req}(0)$ είναι το ελάχιστο εμβαδόν οπλισμού της στήριξης κατά EN 1992-1-1:2004 ή prEN 1992-1-1:2021

$A_{s,req}(x)$ είναι το ελάχιστο εμβαδόν οπλισμού σε απόσταση x από την στήριξη για την περίπτωση της πυρκαγιάς

l_{eff} είναι το μεγαλύτερο ενεργό μήκος από τα παρακείμενα ανοίγματα.

Αν κάποια από τις παραπάνω προϋποθέσεις δεν ικανοποιείται τότε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι Πίνακες για απλά εδραζόμενες δοκούς.

Επιπλέον, όμοια με τις απλά εδραζόμενες δοκούς, οι περιορισμοί για το προεντεταμένο σκυρόδεμα στο κεφάλαιο 4.2 πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, η δε απόσταση του άξονα της γωνιακής ράβδου του οπλισμού από την παρειά της δοκού για μία στρώση οπλισμού θα πρέπει

να αυξάνεται κατά 10mm από την τιμή του Πίνακα όταν η τιμή του ελάχιστου πλάτους b_{min} της δοκού είναι μικρότερη ή ίση από τις τιμές της στήλης 3 και για τους δύο Πίνακες.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)						
	Πιθανοί συνδυασμοί μέσης αξονικής απόστασης a και πλάτος δοκού b_{min}				Πάχος κορμού b_{web}		
					Κατηγορία WA	Κατηγορία WB	Κατηγορία WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160
$a_{sd} = a + 10mm$							
<p>a_{sd} είναι η αξονική απόσταση από την παρειά της δοκού της γωνιακής ράβδου για μία στρώση οπλισμού, η αύξηση δεν απαιτείται όταν το πλάτος της δοκού b_{min} είναι μεγαλύτερο της στήλης 4)</p> <p>Για προεντεταμένες δοκούς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιπλέον κανόνες στο κεφάλαιο 4.2</p> <p>* Συνήθως οι περιορισμοί του EN 1992-1-1 είναι δυσμενέστεροι</p>							

Πίνακας 12: Ελάχιστες διαστάσεις απλά εδραζόμενων δοκών για οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα κατά EN 1992-1-2:2004.

Τέλος για διατομές I το ελάχιστο πάχος κορμού b_{wmin} θα πρέπει να ικανοποιεί την στήλη 7 του Πίνακα 15 για την έκδοση του Κανονισμού 2021 και την στήλη 2 του Πίνακα 14 για τον EN 1992-1-2:2004 για απόσταση 2h από την στήριξη, εκτός αν μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν θα υπάρξει εκρηκτική αποφλοίωση.

Για τις συνεχείς δοκούς διατομής I και με στόχο την αποφυγή της αυξημένης θλίψης του σκυροδέματος και την αστοχία σε διάτμηση, το πλάτος της δοκού και το πάχος του κορμού πρέπει

να αυξηθούν για κατάσταση πυρκαγιάς R120 έως R240 σύμφωνα με τον Πίνακα 16, ο οποίος είναι ίδιος και στους δύο Κανονισμούς, αν ισχύουν οι εξής δύο συνθήκες: 1) δεν παρέχεται αντοχή σε κάμψη στο ακραίο στήριγμα και 2) ισχύει $V_{Ed} > 2/3V_{Rd,max}$ για την πρώτη ενδιάμεση στήριξη, όπου V_{Ed} η διάτμηση σχεδιασμού σε συνθήκες περιβάλλοντος και $V_{Rd,max}$ η διατμητική αντίσταση σχεδιασμού σύμφωνα με τον αντίστοιχο Κανονισμό σκυροδέματος.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)				
	Πιθανοί συνδυασμοί μέσης αξονικής απόστασης a και πλάτος δοκού b_{min}				Πάχος κορμού $b_{w,min}$
1	2	3	4	5	6
R 30	$b_{min} = 80$ a = 25	120 20	160 15*	200 15*	80
R 60	$b_{min} = 120$ a = 40	160 35	200 30	300 25	100
R 90	$b_{min} = 150$ a = 55	200 45	300 40	400 35	110
R 120	$b_{min} = 200$ a = 65	240 60	300 55	500 50	120
R 180	$b_{min} = 240$ a = 80	300 70	400 65	600 60	140
R 240	$b_{min} = 280$ a = 90	350 80	500 75	700 70	160
$a_{sd} = a + 10mm$					
<p>a_{sd} είναι η αξονική απόσταση από την παρειά της δοκού της γωνιακής ράβδου για μία στρώση οπλισμού, η αύξηση δεν απαιτείται όταν το πλάτος της δοκού b_{min} είναι μεγαλύτερο της στήλης 4)</p> <p>Για προεντεταμένες δοκούς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιπλέον κανόνες στο κεφάλαιο 4.2</p> <p>* Συνήθως οι περιορισμοί του prEN 1992-1-1 είναι δυσμενέστεροι</p>					

Πίνακας 13: Ελάχιστες διαστάσεις απλά εδραζόμενων δοκών από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα κατά prEN 1992-1-2:2021

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)						
	Πιθανοί συνδυασμοί μέσης αξονικής απόστασης a και πλάτος δοκού b_{min}				Πάχος κορμού $b_{w,min}$		
					Κατηγορία WA	Κατηγορία WB	Κατηγορία WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*$	160 12*			80	80	80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 25$	200 12*			100	80	100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 35$	250 25			110	100	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 45$	300 35	450 35	500 30	130	120	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 60$	400 50	550 50	600 40	150	150	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 75$	500 60	650 60	700 50	170	170	160
$a_{sd} = a + 10\text{mm}$							
<p>a_{sd} είναι η αξονική απόσταση από την παρειά της δοκού της γωνιακής ράβδου για μία στρώση οπλισμού, η αύξηση δεν απαιτείται όταν το πλάτος της δοκού b_{min} είναι μεγαλύτερο της στήλης 3)</p> <p>Για προεντεταμένες δοκούς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιπλέον κανόνες στο κεφάλαιο 4.2</p> <p>* Συνήθως οι περιορισμοί του EN 1992-1-1 είναι δυσμενέστεροι</p>							

Πίνακας 14: Ελάχιστες διαστάσεις συνεχών δοκών κατά EN 1992-1-2:2004

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)					
	Πιθανοί συνδυασμοί μέσης αξονικής απόστασης a και πλάτος δοκού b_{min}				Πάχος κορμού b_{wemin}	Πάχος κορμού b_{wmin} για μήκος 2h από την ενδιάμεση στήριξη
1	2	3	4	5	6	7
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*$	160 12*			80	80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 25$	200 12*			100	120
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 35$	250 25			110	150
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 45$	300 35		500 30	120	200
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 60$	400 50	550 45	600 40	140	240
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 75$	500 60	650 60	700 50	160	280

$a_{sd} = a + 10mm$

a_{sd} είναι η αξονική απόσταση από την παρειά της δοκού της γωνιακής ράβδου για μία στρώση οπλισμού, η αύξηση δεν απαιτείται όταν το πλάτος της δοκού b_{min} είναι μεγαλύτερο της στήλης 3)

Για προεντεταμένες δοκούς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιπλέον κανόνες στο κεφάλαιο 4.2

* Συνήθως οι περιρισμοί του prEN 1992-1-1 είναι δυσμενέστεροι

Πίνακας 15: Ελάχιστες διαστάσεις για συνεχείς δοκούς κατά prEN 1992-1-2:2021

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστο πλάτος δοκού (mm) και πάχος κορμού (mm)
1	2
R 120	220
R 180	380
R 240	480

Πίνακας 16: Αυξημένο πλάτος δοκού και πάχος κορμού για διατομές I σε ειδικές συνθήκες

4.5.4 Δοκός εκτιθέμενη σε πυρκαγιά σε όλες τις πλευρές

Οι δύο Κανονισμοί σε περίπτωση που η δοκός εκτίθεται σε πυρκαγιά σε όλες της πλευρές της συμφωνούν απόλυτα στον τρόπο αντιμετώπισης της. Αρχικά είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των Πινάκων 13, 15 και 16 για τον prEN 1992-1-2:2023 και οι απαιτήσεις των Πινάκων 16, 14 και 12 για τον EN 1992-1-2:2004. Επιπλέον των παραπάνω πρέπει να ακολουθούνται οι εξής κανόνες:

- Το ύψος της δοκού δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το ελάχιστο πλάτος που απαιτείται σε κάθε Κανονισμό σύμφωνα με τον αντίστοιχο Πίνακα.
- Το εμβαδόν της διατομής της δοκού δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από $A_c = 2b_{min}^2$, όπου b_{min} είναι το πλάτος της δοκού όπως αυτό προκύπτει από τον εκάστοτε Πίνακα.

4.6 Πλάκες

4.6.1 Γενικά στοιχεία

Η αντίσταση σε πυρκαγιά οπλισμένης και προεντεταμένης πλάκας είναι εξασφαλισμένη όταν οι περιοριστικές διαστάσεις του Πίνακα 17 ακολουθούνται κατά τον σχεδιασμό και λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω περιορισμούς.

Αρχικά το πάχος της πλάκας h πρέπει να είναι τουλάχιστον όσο η τιμή του Πίνακα 17, ώστε τα κριτήρια ακεραιότητας και μόνωσης να ικανοποιούνται. Όσον αφορά το πάχος της πλάκας h , όταν υπάρχουν τελειώματα δαπέδων στην πλάκα πάχους h_2 , τα οποία θεωρούνται μη εύφλεκτα, τότε το πάχος που υπολογίζεται από τον Πίνακα είναι το άθροισμα του πάχους του σκυροδέματος h_1 και το πάχος των δαπέδων, δηλαδή $h = h_1 + h_2$. Σε περίπτωση που υπάρχει τυχόν μόνωση τότε το πάχος της μόνωσης δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς είναι πιθανό να είναι από εύφλεκτο υλικό. Τέλος οι κανόνες και οι Πίνακες που αφορούν τις συνεχείς συμπαγείς πλάκες και τις πλάκες με απλή στήριξη μπορούν να χρησιμοποιούνται και στα πέλματα των δοκών σχήματος T και TT. Οι παραπάνω κανόνες είναι οι γενικές απαιτήσεις και κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται τόσο στον EN 1992-1-2:2004 όσο και στον prEN 1992-1-2:2021.

4.6.2 Πλάκες με απλή στήριξη

Οι πλάκες με απλή στήριξη ακολουθούν τις ελάχιστες διαστάσεις του Πίνακα 17. Οι δύο Κανονισμοί έχουν ακριβώς τον ίδιο Πίνακα για τον οποίο δίνονται οι ελάχιστες τιμές για αντοχή σε πρότυπη πυρκαγιά από R30 έως R240. Επιπλέον η φέρουσα λειτουργία των πλακών σε απλά εδραζόμενες πλάκες είναι δυνατόν να θεωρηθεί ικανοποιητική για τις διαστάσεις τις διατομής που προκύπτουν στον σχεδιασμό από τον Κανονισμό σκυροδέματος για συνήθης θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)			
	πάχος πλάκας (mm)	Αξονική απόσταση α		
		Μίας διεύθυνσης	Δύο διευθύνσεων	
			ly/lx≤1,5	1,5<ly/lx≤2
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50
* Ο Κανονισμός 1992-1-1 της εκάστοτε έκδοσης του Ευρωκώδικα συνήθως είναι δυσμενέστερος.				

Πίνακας 17: Ελάχιστες διαστάσεις απλά εδραζόμενων μιας ή δύο διευθύνσεων συμπαγών πλάκων για οπλισμένες και προεντεταμένες πλάκες κατά EN 1992-1-2:2004 και prEN 1992-1-2:2021

Τέλος σημειώνεται ότι κατά την χρήση του Πίνακα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι:

- στην περίπτωση των προεντεταμένων πλάκων υπάρχει αύξηση της αξονικής απόστασης α, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4.2.
- η πλάκα, για να μπορεί να θεωρηθεί δύο διευθύνσεων, πρέπει να είναι στηριγμένη και στις τέσσερις πλευρές σε διαφορετική περίπτωση θα εξετάζεται ως πλάκα μιας διεύθυνσης.

4.6.3 Συνεχείς συμπαγείς πλάκες

Οι στήλες 2 και 4 του Πίνακα 17 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ελάχιστων διαστάσεων σε περίπτωση έκθεσης της πλάκας σε πυρκαγιά και σε συνεχείς συμπαγείς πλάκες μίας και δύο διευθύνσεων, αντίστοιχα, και για τους δύο Κανονισμούς. Προϋπόθεση για την ορθή χρήση του Πίνακα στην περίπτωση συνεχών συμπαγών πλάκων είναι:

- ο ελάχιστος οπλισμός A_s της πλάκας στο σημείο της ενδιάμεσης στήριξης να ικανοποιεί την σχέση: $A_s \geq 0,005A_c$ αν υπάρχουν μία από τις ακόλουθες συνθήκες:
 - για τον EN 1992-1-2:2004: 1) χρησιμοποιείται οπλισμός ψυχρής επεξεργασίας, 2) οι συνεχείς πλάκες δύο ανοιγμάτων δεν έχουν περιορισμό από τον σχεδιασμό στην κάμψη στις ακραίες στηρίξεις και 3) δεν υπάρχει δυνατότητα ανακατανομής των επιπτώσεων του φορτίου προς την κατεύθυνση του ανοίγματος, όπως, για παράδειγμα, άλλα στηρίγματα και ενδιάμεσοι τοίχοι που δεν λαμβάνονται υπόψη στο σχέδιο.
 - για τον prEN 1992-1-2:2021: 1) χρησιμοποιείται οπλισμός με κατηγορία πλαστιμότητας A και 2) συνεχείς πλάκα μιας διεύθυνσης

- η ανακατανομή της ροπής κάμψης να μην υπερβαίνει το 15% για συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Αν κάποια από της ανωτέρω προϋποθέσεις δεν ικανοποιείται τότε η πλάκα θα πρέπει και στους δύο Κανονισμούς να αντιμετωπίζεται ως απλά εδραζόμενη πλάκα.

4.6.4 Ολόσωμες πλάκες

Οι ολόσωμες πλάκες θεωρούνται επαρκώς σχεδιασμένες σε συνθήκες με αυξημένη θερμοκρασίας (πυρκαγιά) όταν ακολουθούνται οι ελάχιστες διαστάσεις του Πίνακα 18. Ο Πίνακας αυτός αποτελεί μέρος τόσο του EN 1992-1-2:2004 όσο και του prEN 1992-1-2:2021 και δίνει τιμές για πρότυπη αντοχή σε πυρκαγιά από R30 έως R240.

Οι ελάχιστες διαστάσεις που δίνονται στους Κανονισμούς είναι αποδεκτές όταν η ανακατανομή της ροπής κάμψης δεν υπερβαίνει το 15% για συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος, ειδάλλως η πλάκα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως πλάκα μίας διεύθυνσης και να χρησιμοποιείται ο Πίνακας 17 και η στήλη 3. Επιπλέον, στην περίπτωση των ολόσωμων πλακών, το ελάχιστο πάχος της πλάκας δεν θα πρέπει να μειώνεται για κανένα λόγο, όπως για παράδειγμα λαμβάνοντας υπόψη τα τελειώματα των δαπέδων, και η αξονική απόσταση που δίνει ο Πίνακας είναι η απόσταση του άξονα του οπλισμού από την κάτω πλευρά της διατομής της πλάκας, δηλαδή είναι η απόσταση α από τον άξονα του οπλισμού μέχρι την κάτω πλευρά της πλάκας, όπως ορίστηκε στην Παράγραφο 4.1 και στην Εικόνα 11.

Τέλος επιπρόσθετα των παραπάνω απαιτείται σε περίπτωση που οι πλάκες αφορούν πυρκαγιά κατηγορίας R90 ή παραπάνω, τότε τουλάχιστον το 20% του οπλισμού σε κάθε κατεύθυνση που υπολογίζεται για τις θέσεις των στηρίξεων σύμφωνα με τον EN 1992-1-1 ή prEN 1992-1-2:2021 θα πρέπει να τοποθετείται σε όλο το μήκος στην λωρίδα του υποστυλώματος.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)	
	Πάχος πλάκας h	Αξονική απόσταση α
1	2	3
REI 30	150	10*
REI 60	180	15*
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50
* Ο Κανονισμός 1992-1-1 της εκάστοτε έκδοσης του Ευρωκώδικα συνήθως είναι δυσμενέστερος.		

Πίνακας 18: Ελάχιστες διαστάσεις για οπλισμένες και προεντεταμένες ολόσωμες πλάκες.

4.6.5 Δοκιδωτές πλάκες

Οι δοκιδωτές πλάκες μίας διεύθυνσης οπλισμένες ή προεντεταμένες από σκυρόδεμα αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο και στους δύο Κανονισμούς. Οι περιοχές που υπάρχουν οι νευρώσεις πρέπει να αντιμετωπίζονται ως δοκοί με απλή στήριξη ή ως συνεχείς δοκοί, οι οποίες εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες σε μία, δύο ή τρεις παρειές. Στην περίπτωση των νευρώσεων τότε ακολουθούνται οι κανόνες και οι Πίνακες που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο των δοκών. Αντίστοιχα οι περιοχές που υπάρχουν τα πέλματα θα πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 17 και τις στήλες 2 και 5, όπου αφορά πλάκες οπλισμένες ή προεντεταμένες απλά εδραζόμενες ή συμπαγείς πλάκες.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)			
	συνδυασμοί πλάτους νευρώσεων b_{min} και αξονικής απόστασης a			πάχος πλάκας h και ελάχιστη απόσταση a στο πέλμα
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*$			$h = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{min} = 100$ $a = 35$	120 25	≥ 200 15*	$h = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{min} = 120$ a $= 45$	160 40	≥ 250 30	$h = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{min} = 160$ a $= 60$	190 55	≥ 300 40	$h = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{min} = 220$ $a = 75$	260 70	≥ 410 60	$h = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{min} = 280$ $a = 90$	350 75	≥ 500 70	$h = 175$ $a = 40$
* Ο Κανονισμός 1992-1-1 της εκάστοτε έκδοσης του Ευρωκώδικα συνήθως είναι δυσμενέστερος.				

Πίνακες 19: Ελάχιστες διαστάσεις απλά εδραζόμενων ραβδωτών πλακών δύο διευθύνσεων

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm)			
	Συνδυασμοί πλάτους νευρώσεων b_{min} και αξονικής απόστασης a			Πάχος πλάκας h και ελάχιστη απόσταση a στην φλάντζα
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{min} = 80$ $a = 10^*$			$h = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{min} = 100$ $a = 25$	120 15*	≥ 200 10*	$h = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{min} = 120$ $a = 35$	160 25	≥ 250 15*	$h = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{min} = 160$ $a = 45$	190 40	≥ 300 30	$h = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{min} = 310$ $a = 60$	600 50		$h = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{min} = 450$ $a = 70$	700 60		$h = 175$ $a = 40$
* Ο Κανονισμός 1992-1-1 της εκάστοτε έκδοσης του Ευρωκώδικα συνήθως είναι δυσμενέστερος.				

Πίνακας 20: Ελάχιστες διαστάσεις ραβδωτών πλακών με τουλάχιστον ένα συγκρατούμενο άκρο

Οι δοκιδωτές πλάκες δύο διευθύνσεων και στους δύο Κανονισμούς είναι δυνατόν να επιτύχουν αντοχή σε περίπτωση πυρκαγιάς αν οι ελάχιστες διαστάσεις που παρουσιάζουν οι Πίνακες 19 και 20 ακολουθηθούν. Οι δύο Πίνακες δίνουν τιμές για δοκιδωτές πλάκες οπλισμένες ή προεντεταμένες από σκυρόδεμα, οι οποίες καταπονούνται κυρίως με ομοιόμορφο φορτίο. Ο Πίνακας 19 αφορά απλά εδραζόμενες δοκιδωτές πλάκες δύο διευθύνσεων και ο Πίνακας 20 αφορά δοκιδωτές πλάκες δύο διευθύνσεων με τουλάχιστον ένα στηριζόμενο άκρο. Επιπλέον προϋπόθεση για την χρήση του Πίνακα 20 είναι ότι ο πάνω οπλισμός της διατομής θα πρέπει να ικανοποιεί την σχέση: $A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) * (1 - \frac{2,5x}{l_{eff}})$, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.5.3. Αν η παραπάνω σχέση δεν επαληθεύεται τότε η πλάκα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ραβδωτή πλάκα δύο διευθύνσεων απλά εδραζόμενη και να γίνεται χρήση του Πίνακα 19.

Οι δύο Κανονισμοί απαιτούν για τις συνεχείς δοκιδωτές πλάκες ο άνω οπλισμός να τοποθετείται στο πάνω μισό τμήμα του πέλματος.

Τέλος σημειώνεται ότι στις προεντεταμένες πλάκες η αξονική απόσταση a των Πινάκων (Πίνακες 19 και 20) θα πρέπει να προσαυξάνεται κατά 10mm, όμοια με την προσαύξηση που γίνεται στις προεντεταμένες δοκούς.

4.7 Υποστυλώματα

4.7.1 Γενικά στοιχεία

Η εκτίμηση της αντοχής των υποστυλωμάτων σε περίπτωση πυρκαγιάς μπορεί να επιτευχθεί με δύο μεθόδους, τη μέθοδο A και τη μέθοδο B.

4.7.2 Χρήση της μεθόδου A

Η μέθοδος A για τον υπολογισμό των υποστυλωμάτων σε συνθήκες πυρκαγιές και για τους δύο Κανονισμούς χρειάζεται τον υπολογισμό του μειωτικού συντελεστή μ_{fi} , ο οποίος υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}, \text{ όπου:}$$

$N_{Ed,fi}$ είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού σε συνθήκες πυρκαγιάς

N_{Rd} είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού σε συνθήκες θερμοκρασίες λαμβάνοντας υπόψη και τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως.

Παρ' όλα αυτά και οι δύο Κανονισμοί επιτρέπουν να γίνεται χρήση του μειωτικού συντελεστή η_{fi} αντί του μ_{fi} , ως μια απλοποίηση που δίνει αποδεκτά αποτελέσματα.

Ο EN 1992-1-2:2004 δίνει τον Πίνακα 21, ο οποίος ισχύει όταν ισχύουν τα εξής:

- Το σύνολο του οπλισμού ικανοποιεί την σχέση $A_s < 0,04A_c$
- Η εκκεντρότητα e σε συνθήκες πυρκαγιάς, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ίδια με αυτή σε κανονικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, να είναι $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq e_{max}$, όπου για η τιμή η e_{max} που προτείνεται είναι 0,15h
- Το ενεργό μήκος του υποστυλώματος σε υψηλές θερμοκρασίες να είναι μικρότερο ή ίσο των 3 μέτρων, δηλαδή $l_{0,fi} \leq 3m$. Το ενεργό μήκος του υποστυλώματος σε συνθήκες πυρκαγιάς μπορεί να θεωρηθεί 0,5l για ενδιάμεσο όροφο της κατασκευής και μεταξύ 0,5l και 0,7l για τον τελευταίο όροφο.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) πλάτος υποστυλώματος b_{min} /αξονική απόσταση a από τον κύριο οπλισμό			
	Υποσύλωμα που εκτίθεται σε πάνω από μία πλευρά			Υποσύλωμα που εκτίθεται σε μία πλευρά
	$\mu_{fi}=0,2$	$\mu_{fi}=0,5$	$\mu_{fi}=0,7$	$\mu_{fi}=0,7$
1	2	3	4	5
R30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40*	155/25
R120	250/40 350/35	350/45* 450/40*	350/57* 450/51*	175/35
R180	350/45*	350/63*	450/70*	230/55
R240	350/61*	450/75*		295/70
* Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον 8 ράβδοι οπλισμού				

Πίνακας 21: Ελάχιστες διαστάσεις υποστυλωμάτων για ορθογωνικές και κυκλικές διατομές σε συνθήκες πυρκαγιάς κατά EN 1992-1-2:2004

Ο Πίνακας του Κανονισμού δίνει τιμές για $\alpha_{cc}=1$. Διαφορετικά μπορεί να χρησιμοποιείται η σχέση:

$$R = 120 \left(\frac{R_{\eta fi} + R_a + R_l + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8}, \text{ όπου:}$$

$$R_a = 1,6(a - 30),$$

$$R_l = 9,60(5 - l_{0,fi}),$$

$$R_b = 0,09b',$$

$$R_n = 0 \text{ αν } n=4 \text{ (ράβδοι οπλισμού στις γωνίες),}$$

$$R_n = 12 \text{ αν } n>4 \text{ (ράβδοι οπλισμού στις γωνίες),}$$

$$R_{\eta fi} = 83 \left(1 - \mu_{fi} \frac{1+\omega}{\left(\frac{0,85}{\alpha_{cc}}\right)+\omega} \right),$$

a η αξονική απόσταση του διαμήκους οπλισμού σε mm ($25\text{mm} \leq a \leq 80\text{mm}$),

$l_{0,fi}$ το ενεργό μήκος του υποστυλώματος σε m ($2\text{m} \leq l_{0,fi} \leq 6\text{m}$),

$b' = 2A_c/(b+h)$ για τετράγωνη διατομή και η διάμετρος της διατομής για κυκλική διατομή ($200\text{mm} \leq b' \leq 450\text{mm}$, $h \leq 1,5b$)

$\omega = (A_{c,fd})/(A_{c,cd})$, υπολογίζεται για συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος

α_{cc} συντελεστής αντοχής σε θλίψη κατά EN 1992-1-1.

Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 δίνει δύο Πίνακες για τις ελάχιστες διαστάσεις των υποστυλωμάτων. Αρχικά υπολογίζει τις ελάχιστες διαστάσεις για υποστυλώματα που είναι

εκτεθειμένα σε υψηλές θερμοκρασίες και στις τέσσερες πλευρές και δίνει τον Πίνακα 22, ο οποίος είναι ίδιος με τις στήλες 1 έως 4 του Πίνακα 21 του Κανονισμού EN 1992-1-2:2004. Οι ελάχιστες διαστάσεις που δίνει ο Κανονισμός του 2021 ισχύουν με την προϋπόθεση ότι:

- Ο διαμήκης οπλισμός ικανοποιεί την σχέση $A_s < 0,04A_c$, όπως και στον EN 1992-1-2:2004
- Η εκκεντρότητα $e = M_{0Ed,fi}/N_{0Ed,fi}$ σε συνθήκες πυρκαγιάς δεν υπερβαίνει το 25% της διάστασης της διατομής στην αντίστοιχη κατεύθυνση, όπου στον EN 1992-1-2:2004 η προτεινόμενη τιμή είναι 15%. Η εκκεντρότητα σε συνθήκες πυρκαγιάς μπορεί να θεωρηθεί ίδια με την εκκεντρότητα σε συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος
- Το ενεργό μήκος σε συνήθεις θερμοκρασίες είναι $l_0 \leq 6m$ και το ενεργό μήκος σε συνθήκες πυρκαγιάς είναι $l_{0fi} \leq 3m$ με $l_{0fi}/l_0 = 0,5$ για ορθογωνικές διατομές και $l_{0fi} \leq 5m$ με $l_{0fi}/l_0 = 0,5$ για κυκλικές διατομές. Το ενεργό μήκος σε συνθήκες πυρκαγιάς μπορεί να θεωρηθεί 0,5l στον ενδιάμεσο όροφο της κατασκευής και 0,7l στον τελευταίο όροφο της κατασκευής.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) πλάτος υποστυλώματος bmin/αξονική απόσταση α από τον κύριο οπλισμό		
	μφι=0,2	μφι=0,5	μφι=0,7
1	2	3	4
R30	200/25	200/25	200/32 300/27
R60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40
R90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40*
R120	250/40 350/35	350/45* 450/40*	350/57* 450/51*
R180	350/45*	350/63*	450/70*
R240	350/61*	450/75*	
* Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον 8 ράβδοι οπλισμού			

Πίνακας 22: Ελάχιστες διαστάσεις των υποστυλωμάτων ορθογωνικής και κυκλικής διατομής για έκθεση σε πυρκαγιά και στις τέσσερες πλευρές κατά prEN 1992-1-2:2021

Ο Πίνακας 22 του Κανονισμού prEN 1992-1-2:2021 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περίπτωση που τα υποστυλώματα εκτίθενται και σε δύο παράλληλες πλευρές, ενώ στην περίπτωση των προεντεταμένων υποστυλωμάτων οι περιορισμοί που αναφέρονται στον κεφάλαιο 4.2 θα πρέπει να ακολουθούνται.

Ο Κανονισμός υπολογίζει τον Πίνακα για ενεργό μήκος σε συνθήκες πυρκαγιάς 3m, ενώ διαφορετικά μπορεί να χρησιμοποιείται η σχέση:

$$R = 120 \left(\frac{R_{\eta fi} + R_a + R_l + R_b + R_n}{120} \right)^{1,8} \leq 240 \text{ min},$$

η οποία είναι ίδια με αυτήν του Κανονισμού του EN 1992-1-2:2004 με τη μόνη διαφορά ότι υπολογίζει τον όρο $R_{\mu fi}$ για $\alpha_{cc} = 1$, δηλαδή υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση: $R_{\eta fi} = 83 \left(1 - \mu_{fi} \frac{1+\omega}{0,85+\omega} \right)$.

Στη συνέχεια ο Κανονισμός prEN 1992-1-2:2021 δίνει τον Πίνακα 23, ο οποίος αφορά τις ελάχιστες διαστάσεις υποστυλωμάτων ορθογωνικής και κυκλικής διατομής που εκτίθενται σε πυρκαγιά στην μία πλευρά. Ο Πίνακας αυτός έχει αντικαταστήσει την στήλη 5 του EN 1992-1-2:2004.

Ο Πίνακας χρησιμοποιείται όταν ο διαμήκης οπλισμός και η εκκεντρότητα σε συνθήκες πυρκαγιάς ακολουθούν τους ίδιους κανόνες με την περίπτωση πυρκαγιάς στα υποστυλώματα και στις τέσσερις πλευρές και επιπλέον το ενεργό μήκος σε συνήθεις θερμοκρασίες είναι $l_0 \leq 6\text{m}$ και το ενεργό μήκος σε συνθήκες πυρκαγιάς είναι $l_{0fi} \leq 3\text{m}$ με $l_{0fi}/l_0 = 0,5$ για ορθογωνικές διατομές.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) πλάτος υποστυλώματος b_{min} /αξονική απόσταση a από τον κύριο οπλισμό		
	$\mu_{fi}=0,2$	$\mu_{fi}=0,5$	$\mu_{fi}=0,7$
1	2	3	4
R30	100/10	120/15	130/25
R60	110/10	130/15	140/25
R90	120/20	140/25	155/25
R120	150/25	160/30	175/35
R180	185/45	200/50	230/55
R240	230/60	240/65	290/70

Πίνακας 23: Ελάχιστες διαστάσεις υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής που εκτίθενται σε πυρκαγιά σε μία πλευρά κατά prEN 1992-1-2:2021

4.7.3 Χρήση της μεθόδου B

Η μέθοδος B στον Κανονισμό prEN 1992-1-2:2021 αναφέρεται πληροφοριακά, ενώ δεν υπάρχει κάποια ανάλυσή της ή κάποιος Πίνακας. Από την άλλη πλευρά ο EN 1992-1-2:2004 δίνει τον Πίνακα 24, ο οποίος ισχύει μόνο για υποστυλώματα όπου:

- για κανονικές θερμοκρασίες ισχύει ότι το ανηγμένο αξονικό φορτίο είναι $n = N_{0Ed,fi} / (0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd}))$.

- Η εκκεντρότητα πρώτης τάξεως για συνθήκες πυρκαγιάς υπολογίζεται $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi}$, με την προϋπόθεση ότι $e / b \leq 0,25$ και $e_{max} = 100\text{mm}$, όπου: b είναι η ελάχιστη διάσταση σε ορθογωνικά υποστυλώματα ή η διάμετρος σε κυκλικής διατομής υποστυλώματα, $N_{0Ed,fi}$ είναι το αξονικό φορτίο σε συνθήκες πυρκαγιάς και $M_{0Ed,fi}$ η ροπή πρώτης τάξεως σε αυξημένες θερμοκρασίες. Η αξονική δύναμη σε κατάσταση πυρκαγιάς, αν ο μειωτικός συντελεστής η_{fi} δεν έχει υπολογισθεί ακριβώς, μπορεί να λαμβάνεται 0,70, οπότε η αξονική να θεωρείται $0,7N_{0Ed}$, όπου N_{0Ed} είναι η αξονική δύναμη σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος.
- Η λυγηρότητα του υποστυλώματος σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας πρέπει να είναι $\lambda_{fi} = l_{0,fi} / i \leq 30$, όπου $l_{0,fi}$ είναι το ενεργό μήκος του υποστυλώματος σε κατάσταση πυρκαγιάς και i είναι η ελάχιστη ακτίνα αδράνειας. Η απαίτηση η λυγηρότητα σε συνθήκες πυρκαγιάς να είναι μικρότερη ή ίση του 30 ικανοποιεί την πλειονότητα των υποστυλωμάτων σε κανονικά κτίρια. Ο Κανονισμός για ευκολία προτείνει η λυγηρότητα σε κατάσταση πυρκαγιάς να θεωρείται ότι είναι ίδια με αυτή για συνήθεις θερμοκρασίες, ενώ το ενεργό μήκος να λαμβάνεται 0,5l για ενδιάμεσους ορόφους και μεταξύ 0,5l και 0,7l για τον τελευταίο όροφο, όπου l το πραγματικό μήκος του υποστυλώματος.
- Η μηχανική αναλογία του σπλισμού υπολογίζεται σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, δηλαδή $\omega = (A_s f_{yd}) / (A_c f_{cd})$.

Τέλος για αντοχή σε πυρκαγιά πάνω από 90 λεπτά και $A_s \geq 0,02A_c$ απαιτείται ομοιόμορφη κατανομή των ράβδων σπλισμού κατά μήκος του υποστυλώματος.

Πρότυπη Αντοχή στη φωτιά	Μηχανική αναλογία οπλισμού ω	Ελάχιστες διαστάσεις (mm) πλάτος υποστυλώματος b_{min} /αξονική απόσταση a			
		$n = 0,15$	$n = 0,30$	$n = 0,50$	$n = 0,70$
1	2	3	4	5	6
R30	0,100	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/30:350/25*
	0,500	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	1,000	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:300/25*
R60	0,100	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:500/25*	500/25*
	0,500	150/25*	150/35:200/25*	250/35:350/25*	350/40:550/25*
	1,000	150/25*	150/30:200/25*	200/40:400/25*	300/50:600/30
R90	0,100	200/40:250/25*	300/40:400/25*	500/50:550/25*	550/40:600/25*
	0,500	150/35:200/25*	200/45:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/40
	1,000	200/25*	200/40:300/25*	250/40:550/25*	500/50:600/45
R120	0,100	250/50:350/25*	400/50:550/25*	550/25*	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25*	300/45:550/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25*	250/50:400/25*	450/45:600/30	600/60
R180	0,100	400/50:500/25*	500/60:550/25*	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25*	450/50:550/25*	500/60:600/45	(1)
R240	0,100	500/60:550/25*	550/40:600/25*	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25*	550/55:600/25*	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25*	500/40:600/30	600/60	(1)
* Συνήθως ο EN 1992-1-1 είναι δυσμενέστερος					
(1) Απαιτείται πλάτος μεγαλύτερο των 600mm και έλεγχος για λυγισμό					

Πίνακας 24: Ελάχιστες διαστάσεις για οπλισμένα υποστυλώματα από σκυρόδεμα για ορθογωνικές και κυκλικές διατομές σύμφωνα με την μέθοδο Β κατά EN 1992-1-2:2004

5. Απλοποιημένη μέθοδος ανάλυσης

5.1 Θερμοκρασιακά προφίλ

Ο EN 1992-1-2:2004 αναφέρει ότι οι θερμοκρασίες σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα (ΟΣ), οι οποίες εκτίθενται σε πυρκαγιά πρέπει να προσδιορίζονται από υπολογισμούς ή δοκιμές. Ο Κανονισμός δίνει σε ένα από τα Παραρτήματά του διαγράμματα θερμοκρασιακών προφίλ για πλάκες, δοκούς και υποστυλώματα. Τα διαγράμματα έχουν δημιουργηθεί για διατομές με πυριτικά αδρανή, οι οποίες εκτίθενται σε πρότυπη φωτιά μέχρι την μέγιστη θερμοκρασία αερίου, όμως για τα περισσότερα άλλα αδρανή τα διαγράμματα αυτά δίνουν συντηρητικά αποτελέσματα. Επιπλέον οι καμπύλες των διαγραμμάτων έχουν προκύψει για περιεκτικότητα σε υγρασία 1,5% και για μεγαλύτερες τιμές υγρασίας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις καμπύλες είναι συντηρητικά, ενώ το κατώτερο όριο θερμικής αγωγιμότητας και η ειδική θερμότητα του σκυροδέματος έχουν ληφθεί υπόψη όπως ορίστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια του Ευρωκώδικα. Η ποσοστιαία ακτινοβολία που σχετίζεται με την επιφάνεια του σκυροδέματος έχει οριστεί ως 0,7 και ο συντελεστής διάδοσης θερμότητας είναι 25. Τέλος τα διαγράμματα αφορούν:

- 1) πλάκες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τοιχία που εκτίθενται σε φωτιά στην μία πλευρά,
- 2) ορθογωνικές δοκούς διαφόρων διαστάσεων, όπως για παράδειγμα δοκός 300x160(mm) για R30, R60 και R90,
- 3) και υποστυλώματα είτε κυκλικής διατομής, όπως για κυκλική διατομή διαμέτρου 300mm για R30, R60, R90, και R120, είτε ορθογωνικής διατομής, όπως για παράδειγμα διαστάσεων 300x300(mm) για R30, R60, R90 και R120.

Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 έχει αφαιρέσει τα διαγράμματα από τον Κανονισμό, τα οποία έχουν αντικατασταθεί από μαθηματικές σχέσεις που βρίσκονται στο κεφάλαιο 7.2 του Ευρωκώδικα και αφορούν μέλη ΟΣ που εκτίθενται σε πυρκαγιά σε μία ή δύο πλευρές, ορθογωνικές διατομές και κυκλικές διατομές. Οι απλοποιημένες μαθηματικές σχέσεις που δίνει ο Κανονισμός ισχύουν για συνήθεις διατομές μελών από ΟΣ, όπου αν υπάρχουν γεωμετρικές ασυνέχειες μπορεί να χρειαστεί αναλυτική θερμική ανάλυση, και κάνοντας τις παρακάτω παραδοχές:

Πρώτον, όμοια με τον EN 1992-1-2:2004 η ποσοστιαία ακτινοβολία που σχετίζεται με την επιφάνεια του σκυροδέματος έχει οριστεί ως 0,7 και ο συντελεστής διάδοσης θερμότητας είναι 25 W/(m²K), ενώ η θερμική αγωγιμότητα και η ειδική θερμότητα του σκυροδέματος υπολογίζονται αντίστοιχα σύμφωνα με τον Κανονισμό prEN 1992-1-2:2021. Δεύτερον η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι 1,5%, ενώ, αντίστοιχα με τον Κανονισμό του 2004, για μεγαλύτερες τιμές υγρασίας οι μαθηματικές σχέσεις δίνουν συντηρητικά αποτελέσματα. Τρίτον λαμβάνεται υπόψη η πυκνότητα του σκυροδέματος υπολογιζόμενη σύμφωνα με τον Κανονισμό, όπου για την τιμή

αναφοράς 20°C είναι 2300 kg/m³. Τέλος είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στη μη εκτιθέμενη πλευρά οι μαθηματικοί τύποι είναι πιθανό να υποτιμήσουν την τιμή της θερμοκρασίας στην αξιολόγηση της μόνωσης, για αυτό το λόγο οι απλοποιημένοι μαθηματικοί τύποι χρησιμοποιούνται κυρίως για υπολογισμούς που αφορούν την φέρουσα ικανότητα.

5.1.1 Βασική λύση για μία πλευρά εκτιθέμενη σε πυρκαγιά κατά prEN 1992-1-2:2021

Το πεδίο θερμοκρασίας για μέλος σκυροδέματος, το οποίο εκτίθεται σε πρότυπη πυρκαγιά σε μία πλευρά του, υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\theta(x, R_{fi}) = \theta_1(x, R_{fi}) + 20[^\circ\text{C}]$$

όπου:

$$\theta_1(x, R_{fi}) = 345 \log_{10} \left(\frac{7(R_{fi} - \Delta R_{fi})}{60} + 1 \right) \exp \left(-x \sqrt{\frac{0,9k}{R_{fi}}} \right)$$

$R_{fi} \geq 1800s$ είναι η διάρκεια της τυπικής φωτιάς σε δευτερόλεπτα

x είναι η απόσταση από την επιφάνεια έκθεσης σε μέτρα

$\Delta R_{fi} = 720s$ αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση της θερμοκρασίας από τη φωτιά στο διαμέρισμα έως την επιφάνεια του σκυροδέματος και είναι μια προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις της ακτινοβολίας και της απαγωγής

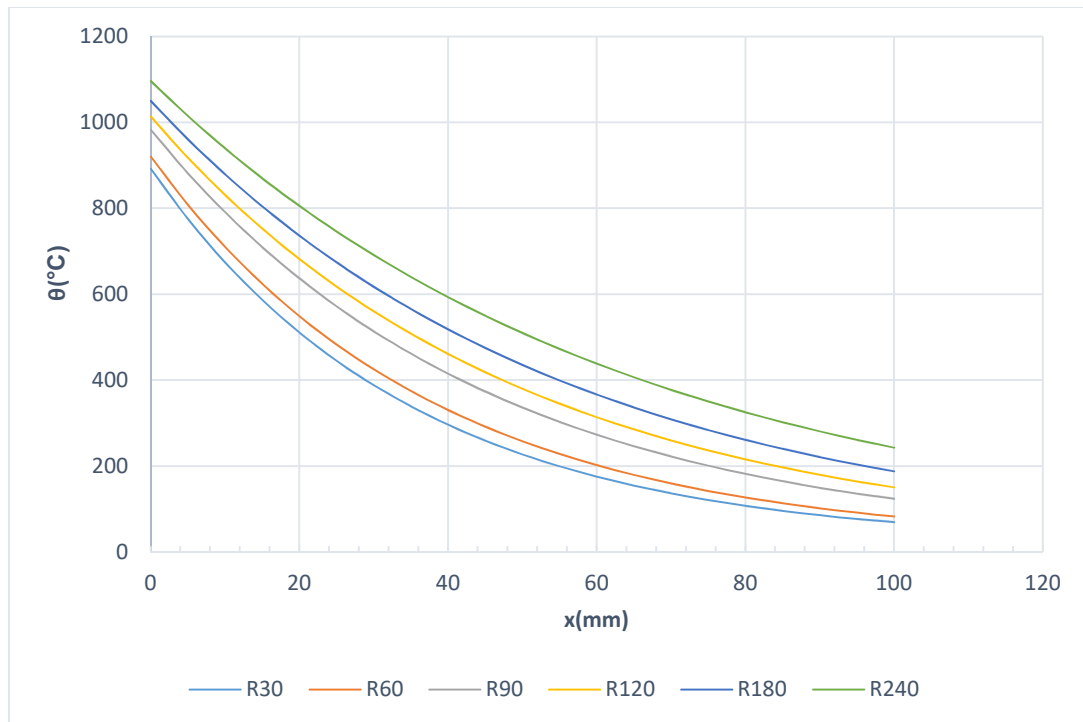
$k = \rho \frac{c_p}{\lambda} = 3,3 * 10^6 s/m^2$ η τιμή του συγκεκριμένου συντελεστή προκύπτει από βαθμονόμηση, ώστε να ταιριάζει στις καμπύλες θερμοκρασίας.

Ο παραπάνω μαθηματικός τύπος ισχύει με την προϋπόθεση ότι το πάχος της επιφάνειας είναι μεγαλύτερο ή ίσο με τις ελάχιστες διαστάσεις που δίνει ο Πίνακας 25.

Αντίσταση σε φωτιά	R30	R60	R90	R120	R180	R240
Ελάχιστο πάχος για μέλη σκυροδέματος που εκτίθενται σε μία πλευρά (mm)	60	70	100	120	150	200

Πίνακας 25: Ελάχιστο πάχος επιφάνειας μέλος σκυροδέματος που εκτίθενται σε μία πλευρά κατά prEN 1992-1-2:2021

Ο Κανονισμός παρουσιάζει σε διάγραμμα το θερμοκρασιακό προφίλ για επιφάνεια πάχους 200mm (Εικόνα 17). Το διάγραμμα αυτό είναι το ίδιο διάγραμμα που παρουσιάζει ο EN 1992-1-2:2004 για πλάκες πάχους 200mm στο παράρτημα του για τα διαγράμματα των θερμοκρασιακών προφίλ.



Εικόνα 17: Διάγραμμα θερμοκρασιακού προφίλ για επιφάνεια που εκτίθενται σε μία πλευρά πάχους 200mm

5.1.2 Τοιχία, πλάκες και ορθογωνικές διατομές κατά prEN 1992-1-2:2021

Αρχικά τα μέλη σκυροδέματος (τοιχία, πλάκες και ορθογωνικές διατομές) που είναι εκτεθειμένα σε πυρκαγιά σε δύο αντίθετες επιφάνειες υπολογίζουν την αύξηση της θερμοκρασίας και κατά συνέπεια το θερμοκρασιακό προφίλ τους ανάλογα με τη φορά της πυρκαγιάς (παράλληλη ή κάθετη στην διάσταση h της διατομής) σύμφωνα με μία από τις παρακάτω περιπτώσεις.

Περίπτωση A

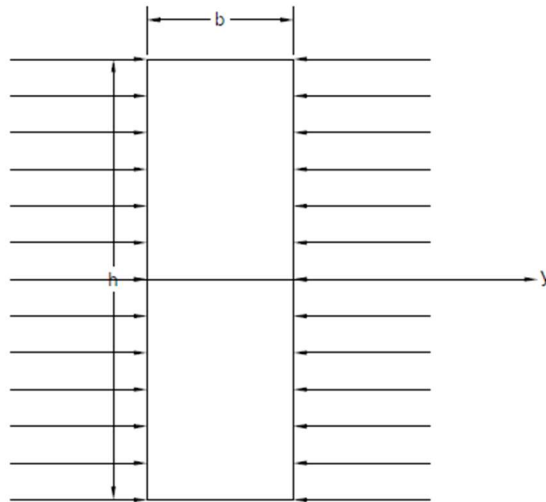
Η περίπτωση A αφορά όταν η πυρκαγιά ακολουθεί την Εικόνα 18, δηλαδή η φορά της φωτιάς είναι παράλληλη στην διάσταση b της διατομής. Τότε το θερμοκρασιακό προφίλ του μέλους υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$\theta(y, R_{fi}) = \theta_2(y, R_{fi}) + 20[^\circ\text{C}]$$

όπου

$$\theta_2(y, R_{fi}) = \theta_1(y, R_{fi}) + \theta_1(b - y, R_{fi})$$

Ενώ ο όρος θ_1 υπολογίζεται σύμφωνα με τον μαθηματικό τύπο της προηγούμενης παραγράφου.



Εικόνα 18: Περίπτωση Α

Περίπτωση Β

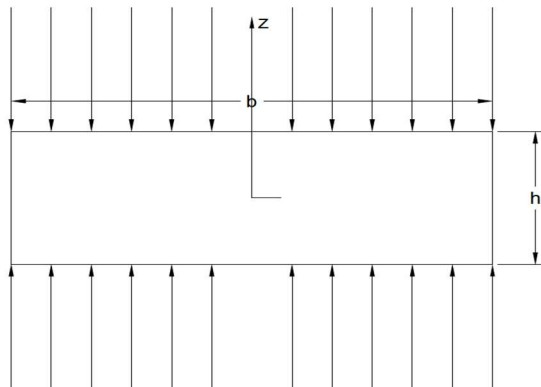
Η περίπτωση Β, αντίστοιχα, αφορά την πυρκαγιά που ακολουθεί την Εικόνα 19, δηλαδή όταν η πυρκαγιά έχει φορά παράλληλη στη διάσταση h της διατομής και αντίστοιχα το θερμοκρασιακό προφίλ του μέλους υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$\theta(z, R_{fi}) = \theta_2(z, R_{fi}) + 20[^\circ\text{C}]$$

όπου

$$\theta_2(z, R_{fi}) = \theta_1(z, R_{fi}) + \theta_1(h - z, R_{fi})$$

και ο όρος θ_1 υπολογίζεται αντίστοιχα με την περίπτωση Α.



Εικόνα 19: Περίπτωση Β

Επιπλέον, όταν τα ανωτέρω μέλη από σκυρόδεμα εκτίθενται σε πυρκαγιά και στις τέσσερις πλευρές τους τότε ακολουθούνται οι μαθηματικές σχέσεις της περίπτωσης Γ.

Περίπτωση Γ

Η πυρκαγιά στην περίπτωση αυτή πλήττει και τις τέσσερις πλευρές του μέλους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 20 και για αυτό το λόγο το θερμοκρασιακό προφίλ της διατομής υπολογίζεται ως:

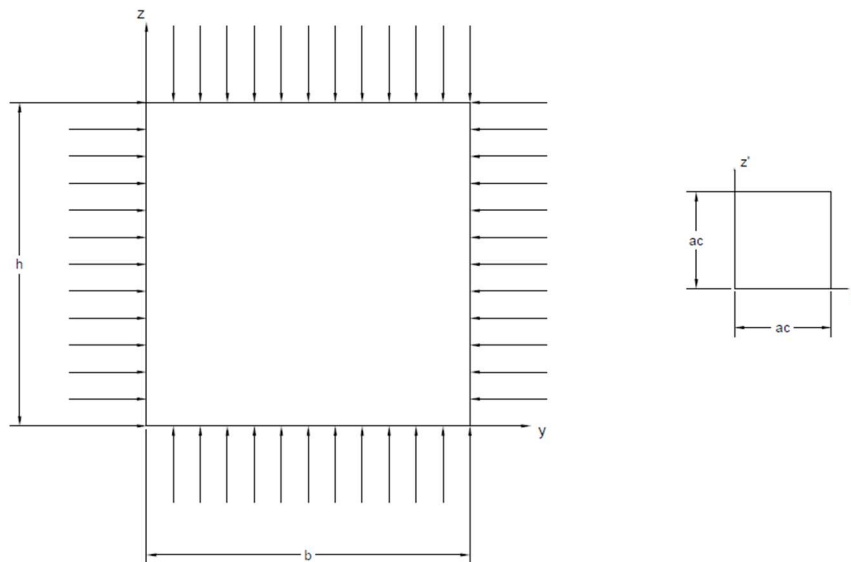
$$\theta(y, z, R_{fi}) = \theta_2(y, R_{fi}) + \theta_2(z, R_{fi}) - \frac{\theta_2(y, R_{fi})\theta_2(z, R_{fi})}{\theta_1(0, R_{fi})} + \Delta\theta(y', z', R_{fi}) + 20[^\circ\text{C}]$$

όπου οι όροι θ_1 και θ_2 υπολογίζονται σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο και με τις περιπτώσεις Α και Β.

Ο όρος $\Delta\theta(y', z', R_{fi})$ αφορά τις τοπικές επιπτώσεις στις γωνίες της διατομής λόγω απαγωγής και ακτινοβολίας στην αρχή της πυρκαγιάς, όπου είναι μειωμένες και μπορούν να υπολογίζονται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta\theta(y', z', R_{fi}) = (345 \log_{10} \left(\frac{8R_{fi}}{60} + 1 \right) - \theta_1(0, R_{fi})) \frac{(a_c - y')(a_c - z')}{a_c^2}$$

Για την περιοχή στις γωνίες που θα λαμβάνεται υπόψη σε αυτή την περίπτωση ο Κανονισμός αναφέρει ότι για διάρκεια πυρκαγιάς μέχρι 60 λεπτά πρέπει να λαμβάνεται $a_c = 0,04m$, ενώ για φωτιές μεγαλύτερης διάρκειας τότε $a_c = 0,10m$.



Εικόνα 20: Περίπτωση Γ

Ο Κανονισμός παρουσιάζει επιπρόσθετα και την περίπτωση Δ, η οποία αφορά μέλη σκυροδέματος ορθογωνικών διατομών που εκτίθενται σε πυρκαγιά στις τρεις πλευρές τους.

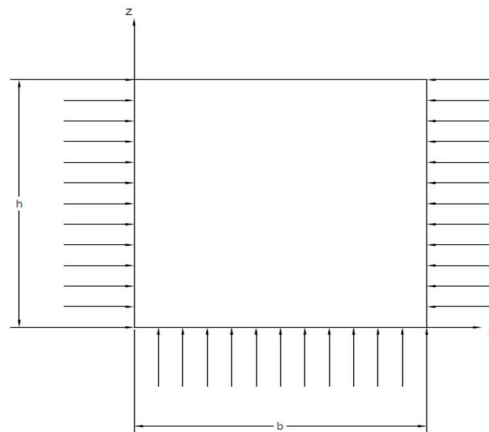
Περίπτωση Δ

Στην περίπτωση αυτή η πυρκαγιά έχει την φορά του σχήματος στην Εικόνα 21 και για αυτό το λόγο ακολουθείται η σχέση:

$$\theta(y, z, R_{fi}) = \theta_2(y, R_{fi}) + \theta_1(z, R_{fi}) - \frac{\theta_2(y, R_{fi})\theta_1(z, R_{fi})}{\theta_1(0, R_{fi})} + \Delta\theta(y', z', R_{fi}) + 20[^\circ\text{C}]$$

όπου οι όροι θ_1 και θ_2 υπολογίζονται αντίστοιχα, ενώ ο όρος $\Delta\theta(y', z', R_{fi})$ υπολογίζεται σύμφωνα με την παραπάνω σχέση στην περίπτωση Γ, αλλά μόνο για τις γωνίες $(y, z) = (0, 0)$ και $(y, z) = (b, 0)$.

Τέλος σημειώνεται ότι σε περίπτωση που υπάρχει διατομή σχήματος I - για την οποία ισχύει $b/b_w > 2$ ή $h/b > 2$ τότε είναι δυνατόν η διατομή να διαχωρίζεται σε ορθογωνικές διατομές και να ακολουθούνται οι παραπάνω σχέσεις για κάθε μία από τις νέες ορθογωνικές διατομές.



Εικόνα 21: Περίπτωση Δ

5.1.3 Κυκλικές διατομές κατά prEN 1992-1-2:2021

Οι κυκλικές διατομές σκυροδέματος που πλήττονται από πυρκαγιά σε όλες τις πλευρές τους είναι δυνατόν να υπολογίζονται, για το θερμοκρασιακό προφίλ τους σε απόσταση x από την επιφάνεια κατά μήκος μιας ακτίνας, σύμφωνα με τον τύπο:

$$\theta(x, R_{fi}) = \theta_1(x, R_{fi}) + \Delta\theta_M(R_{fi}) \left(1 - \left(\frac{\theta_1(x, R_{fi})}{\theta_1(0, R_{fi})} \right)^2 \right) + 20[^\circ\text{C}]$$

όπου η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της διατομής υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$\theta_1(0, t) = 345 \log_{10} \left(\frac{8(R_{fi} - \Delta R_{fi})}{60} + 1 \right)$$

ενώ

$$\theta_1(x, R_{fi}) = \theta_1(0, R_{fi}) \left(\exp \left(-x \sqrt{0,72 \frac{k}{R_{fi}}} \right) + \exp \left(-(b-x) \sqrt{0,72 \frac{k}{R_{fi}}} \right) \right) x \leq \frac{b}{2}$$

$$\Delta\theta_M(R_{fi}) = \theta_1(0, R_{fi}) \exp \left(-\frac{b}{2} \sqrt{0,72 \frac{k}{R_{fi}}} \right)$$

όπου b είναι η διάμετρος της διατομής σε μέτρα και ο συντελεστής k υπολογίζεται όπως και στην περίπτωση των ορθογωνικών διατομών.

5.2 Κάμψη και αξονικό φορτίο

Οι απλοποιημένες μέθοδοι που παρουσιάζουν οι δύο Κανονισμοί χρησιμοποιούν μειωμένη διατομή κατά την ανάλυση. Από τη μια πλευρά ο EN 1992-1-2:2004 αναφέρεται στην ύπαρξη της μειωμένης διατομής, αλλά δεν παρουσιάζει αναλυτικά τον υπολογισμό της. Ο Κανονισμός του 2004 περιέχει ενημερωτικό Παράρτημα, όπου παρουσιάζει δύο μεθόδους που χρησιμοποιούν μειωμένη διατομή όταν το μέλος καταπονείται σε κάμψη και αξονικό φορτίο. Η πρώτη μέθοδος υποθέτει ότι το σκυρόδεμα που η θερμοκρασία του έχει ξεπεράσει τους 500°C αμελείται κατά τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητάς του, ενώ για θερμοκρασίες μικρότερες από 500°C θεωρείται ότι το σκυρόδεμα διατηρεί την πλήρη δύναμή του. Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται στο ότι η διατομή που έχει υποστεί ζημιά από την φωτιά μειώνεται, και η καταστραμμένη από την φωτιά περιοχή αγνοείται.

Οι δύο μέθοδοι που παρουσιάζει στο Παράρτημα του ο EN 1992-1-2:2004 εφαρμόζονται σε τμήμα οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος, το οποίο καταπονείται σε κάμψη, αξονικό φορτίο και συνδυασμό αυτών των δύο. Ο Κανονισμός επιπλέον δίνει καμπύλες που παρουσιάζουν τον μειωτικό συντελεστή k για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα, ώστε να υπολογίζεται η μειωμένη αντοχή των υλικών όταν χρησιμοποιούνται οι απλοποιημένες μέθοδοι. Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 παρουσιάζει στο κύριο μέρος του τον τρόπο υπολογισμού της μειωμένης διατομής, αλλά και τον τρόπο αντιμετώπισης του μέλους σκυροδέματος με απλοποιημένο τρόπο, όταν καταπονείται σε καθαρή κάμψη ή κάμψη με αξονικό φορτίο μαζί.

Κατά την χρήση των απλοποιημένων μεθόδων, σύμφωνα με τον prEN 1992-1-2:2021, πρέπει να ακολουθούνται οι ιδιότητες αντοχής και παραμόρφωσης που αναφέρονται στον Κανονισμό και οι θερμοκρασίες του σκυροδέματος και του χάλυβα να υπολογίζονται με απλοποιημένες μεθόδους. Ο Κανονισμός αναφέρει ότι η θερμοκρασία του χάλυβα πρέπει να υπολογίζεται στο κέντρο του, αλλά επιτρέπει ότι μπορεί το θερμοκρασιακό προφίλ να προσδιοριστεί χωρίς να ληφθεί υπόψη ο χάλυβας και να γίνει απόδοση σε οπλισμό στη θερμοκρασία του σκυροδέματος στο ίδιο σημείο.

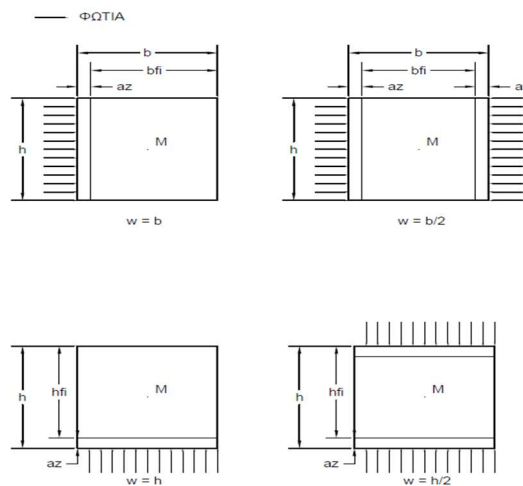
5.2.1 Απομειωμένη διατομή κατά prEN 1992-1-2:2021

Οι απλοποιημένοι μέθοδοι που χρησιμοποιεί ο prEN 1992-1-2:2021 χρησιμοποιούν την απομειωμένη διατομή λόγω πυρκαγιάς, η οποία προκύπτει από μία ζώνη καταστραμμένη από την φωτιά. Η απομειωμένη διατομή, διαστάσεων b_{fi} και h_{fi} , προσδιορίζεται αγνοώντας μια ζώνη πάχους a_z σε όλες της πλευρές της διατομής που εκτίθενται σε πυρκαγιά. Σε περίπτωση που η διατομή είναι σχήματος I ή T και ισχύει $b/b_w > 2$ ή $h/b > 2$ τότε η διατομή μπορεί να διαχωρίζεται και να υπολογίζεται η ζώνη πάχους a_z . Η ζώνη πάχους a_z υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

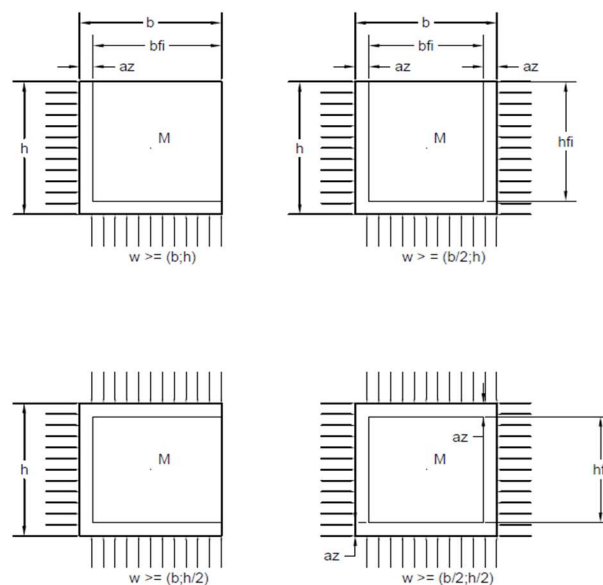
$$a_z = \begin{cases} 0,011 \sqrt{1 + \frac{R_{fi}-27}{27} \sqrt{\frac{w}{0,0125}}} & \text{για } 0,75 \leq w < 0,20 \\ 0,011 \sqrt{1 + 4 \frac{R_{fi}-27}{27}} & \text{για } w \geq 0,20 \end{cases}$$

όπου

R_{fi} είναι η αντοχή σχεδιασμού φέρουσας ικανότητας σε κατάσταση πυρκαγιάς, $w[m]$ είναι μία διάσταση της διατομής που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της μειωμένης διατομής και εξαρτάται από τον τρόπο έκθεσης της φωτιάς. Αν η φωτιά πλήττει το μέλος στη μία πλευρά ή σε δύο μη αντίθετες πλευρές τότε w είναι η μία διάσταση του μέλους, αν το μέλος εκτίθεται σε δύο αντίθετες πλευρές τότε w είναι το μισό της αντίστοιχης διάστασης και, τέλος, αν αφορά κυκλική διατομή, τότε w είναι το ήμισυ της διάστασης του μέλους, όπως παρουσιάζονται στις Εικόνες 22 και 23.



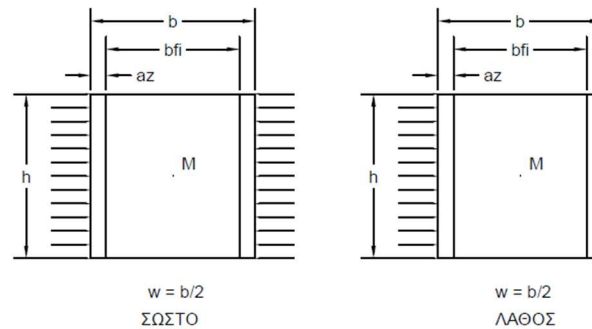
Εικόνα 22: Περιπτώσεις μειωμένης διατομής για μέλη εκτιθέμενα σε πυρκαγιά



Εικόνα 23: Περιπτώσεις μειωμένης διατομής για μέλη εκτιθέμενα σε πυρκαγιά

Ο παραπάνω μαθηματικός τύπος όταν χρησιμοποιείται για διατομές από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, δηλαδή $f_{ck} \geq 70MPa$, θα πρέπει οι τιμές που προκύπτουν να αυξάνονται κατά 1,15.

- Σημειώνεται ότι στην εικόνα που παρουσιάζει ο Κανονισμός για τις διάφορες περιπτώσεις απομειωμένης διατομής, στην δεύτερη περίπτωση παρουσιάζει λάθος σχήμα σε σχέση με την τιμή του συντελεστή w (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Λάθος και σωστό σχήμα στον Κανονισμό

Σε περίπτωση που είναι επιθυμητή πιο λεπτομερής ανάλυση ή για διατομές που δεν είναι ορθογωνικές ή κυκλικές, τότε για το πάχος a_z της ζώνης μπορούν να χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις. Σημειώνεται ότι σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μαθηματικοί τύποι τότε δεν χρειάζεται η προσαύξηση της τιμής του πάχους a_z όταν γίνεται χρήση σκυροδέματος υψηλής αντοχής ($f_{ck} \geq 70MPa$).

Όταν η διατομή του μέλους εκτίθεται σε πυρκαγιά σε μία ή δύο αντίθετες πλευρές τότε το πάχος a_z της ζώνης για τον υπολογισμό της απομειωμένης διατομής προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση, αφού πρώτα χωριστεί η διατομή σε παράλληλες ζώνες ίσου πάχους (Εικόνα 25):

$$a_z = w \left(1 - \frac{1 - \frac{0,2}{n} \sum_{i=1}^n f_{c,\theta}(\theta_i)}{f_{c,\theta}(\theta_M)} \right)$$

όπου

w υπολογίζεται όμοια με την προηγούμενη σχέση

$n \geq 3$ είναι ο αριθμός των παράλληλων ζωνών πλάτους w

θ_i είναι η μέση θερμοκρασία κάθε παράλληλης ζώνης

θ_M είναι η θερμοκρασία στο κέντρο της διατομής.

Αντίστοιχα αν η διατομή εκτίθεται σε φωτιά σε δύο μη παράλληλες πλευρές ή τρεις ή τέσσερις πλευρές τότε η διατομή θα χωρίζεται ξανά σε παράλληλες ζώνες ίδιου πάχους και το πάχος a_z της ζώνης για την απομειωμένη διατομή θα υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$a_z = w \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \frac{0,2}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{c,\theta}(\theta_{ij})}{n^2} \frac{f_{c,\theta}(\theta_M)}}{f_{c,\theta}(\theta_M)}} \right)$$

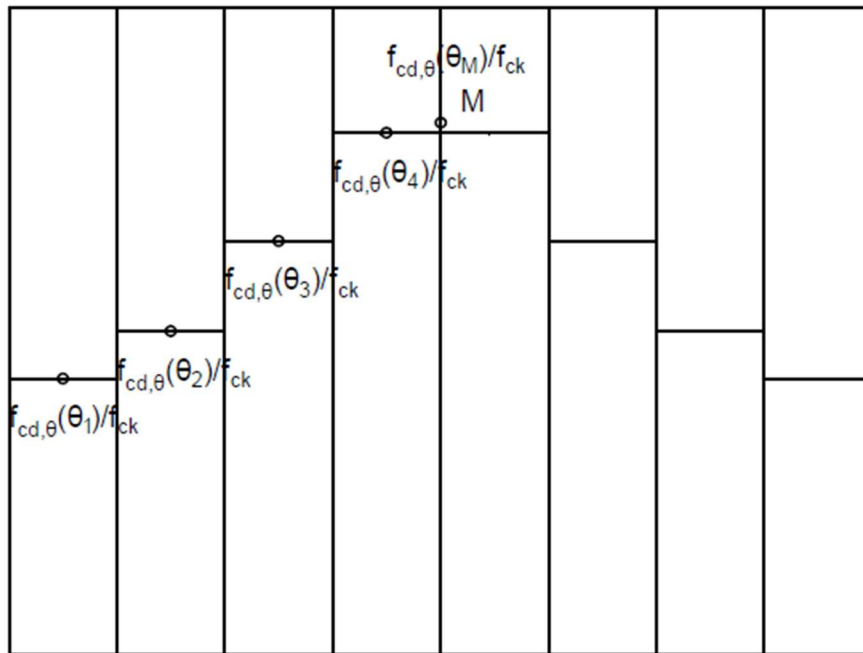
όπου:

w υπολογίζεται όμοια με την προηγούμενη σχέση

n ≥ 3 είναι ο αριθμός των παράλληλων ζωνών πλάτους w

θ_{ij} είναι η μέση θερμοκρασία κάθε παράλληλης ζώνης

θ_M είναι η θερμοκρασία στο κέντρο της διατομής.



Εικόνα 25: Διαχωρισμός διατομής σε παράλληλες ζώνες ίσου πάχους για τον υπολογισμό της απομειωμένης διατομής κατά prEN 1992-1-2:2021

5.2.2 Κάμψη κατά prEN 1992-1-2:2021

Τα μέλη που υπόκεινται σε κάμψη υπό συνθήκες πυρκαγιάς μπορούν να ελεγχθούν είτε με τη χρήση μια απλοποιημένης μεθόδου είτε με τη χρήση μία πιο αναλυτικής μεθόδου, η οποία έχει ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογής. Για τον εφελκόμενο οπλισμό των μελών που υπόκεινται σε κάμψη (δοκοί και πλάκες) η αντοχή του χάλυβα οπλισμού σε κατάσταση πυρκαγιάς $f_{sy,\theta}$ μπορεί να λαμβάνεται σύμφωνα με τους Πίνακες που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4 - αντίστοιχα θα λαμβάνεται και η αντοχή του χάλυβα προέντασης $f_{pp,\theta}$ και $f_{py,\theta}$ σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας. Τέλος οι πλάκες και οι δοκοί που η διατομή τους εκτίθεται σε πυρκαγιά πρέπει να έχουν τις ελάχιστες διαστάσεις των Πινάκων του κεφαλαίου 4 και το ύψος της διατομής να είναι μεγαλύτερο από $2b$, ενώ το πλάτος να είναι μεγαλύτερο από 200mm στην περιοχή των αρνητικών ροπών.

5.2.2.1 Απλοποιημένος έλεγχος σε κάμψη

Ο απλοποιημένος έλεγχος της κάμψης κατά τον prEN 1992-1-2:2021 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δοκούς και πλάκες που υπόκεινται σε κάμψη, όπου το ύψος του ουδέτερου άξονα δεν ξεπερνά το $0,25d$, δηλαδή $x < 0,25d$, σε συνθήκες περιβάλλοντος. Σε περίπτωση που η πλάκα ή δοκός που καταπονείται σε κάμψη εκτίθεται στην φωτιά μόνο η πλευρά τάνυσης της τότε ο έλεγχος της κάμψης μπορεί να γίνει αγνοώντας την μείωση της αντοχής του σκυροδέματος και λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρη την διατομή του μέλους. Παρ' όλα αυτά η αντοχή του χάλυβα οπλισμού και η αντοχή των προεντεταμένων στοιχείων, αν υπάρχουν, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σύμφωνα με τους Πίνακες του Κανονισμού, όπως αυτοί παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ειδικά αν μόνο μία στρώση χάλυβα οπλισμού χρησιμοποιείται τότε ο υπολογισμός της αντοχής σε κάμψη δοκών και πλακών, όπου μόνο η εφελκυστική πλευρά εκτίθεται στην φωτιά, γίνεται με τη σχέση:

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

όπου

n_{st} είναι ο αριθμός των ενεργών ράβδων οπλισμού ή προεντεταμένων στοιχείων στην εφελκυσόμενη στρώση

$f_{sy,\theta,i}$ η αντοχή κάθε ράβδου οπλισμού ή προεντεταμένου στοιχείου σε αυξημένες θερμοκρασίες
 $A_{st,prov}$ είναι το εμβαδόν διατομής του διαμήκους οπλισμού που παρέχεται στην εφελκυσόμενη περιοχή

$A_{st,req}$ είναι το εμβαδόν διατομής του διαμήκους οπλισμού που απαιτείται στην εφελκυσόμενη περιοχή σύμφωνα με τον σχεδιασμό κατά prEN 1992-1-1 σε συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Τέλος για δοκούς και πλάκες που καταπονούνται σε κάμψη και η πλευρά που είναι εκτεθειμένη στην πυρκαγιά είναι αυτή που θλίβεται τότε η αντοχή σε κάμψη υπολογίζεται όπως και όταν η πλευρά που εκτίθεται στην φωτιά καταπονείται σε εφελκυσμό, αλλά τα αποτελέσματα που προκύπτουν πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή $(d - a_z)/d$.

5.2.2.2 Αναλυτικός έλεγχος σε κάμψη

Η αναλυτικός έλεγχος της κάμψης προϋποθέτει ότι οι ιδιότητες των υλικών του χάλυβα θα λαμβάνονται για αυξημένες θερμοκρασίες. Επίσης η αντοχή του χάλυβα οπλισμού ή η αντοχή των προεντεταμένων στοιχείων θα λαμβάνονται από τους Πίνακες που παρουσιάζει ο Κανονισμός, οι οποίοι παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Επιπλέον αν χρησιμοποιείται ο αναλυτικός τρόπος ελέγχου της κάμψης τότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διατομή με τις απομειωμένες διαστάσεις b_{fi} και h_{fi} , οι οποίες θα έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.1. Τέλος

η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος πρέπει να λαμβάνεται ίση με $f_{c,\theta}(\theta_M)$, όπου θ_M είναι η θερμοκρασία στο κέντρο M της διατομής.

Για τον σχεδιασμό διατομών μελών σε κάμψη για ορθογωνικές διατομές και διατομές I ή T μπορούν να χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις (Εικόνα 26):

$$|\varepsilon_{c0}| = 1,4\varepsilon_{c1,\theta}$$

$$x_{e,fi} = 0,7x_{fi}$$

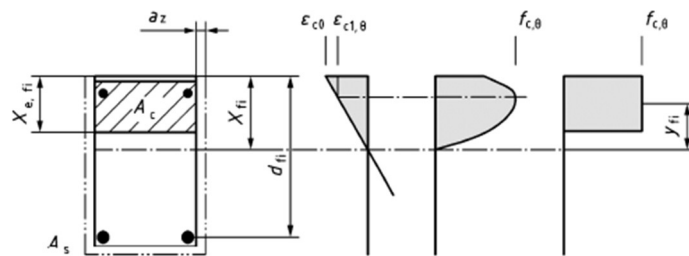
$$y_{fi} = 0,6x_{fi}$$

όπου

ε_{c0} είναι η τάση του σκυροδέματος για την πλέον θλιβόμενη πλευρά του μέλους

$x_{e,fi}$ είναι το ενεργό ύψος του σκυροδέματος στην θλίψη σε συνθήκες πυρκαγιάς

y_{fi} είναι η απόσταση από το κέντρο της θλιβόμενης ζώνης έως τον ουδέτερο άξονα του μέλους.



Εικόνα 26: Θλιπτική περιοχή σκυροδέματος

5.2.3 Κάμψη και αξονικό φορτίο κατά prEN 1992-1-2:2021

Τα μέλη που καταπονούνται σε κάμψη και αξονικό φορτίο μαζί, όταν εξετάζονται σε συνθήκες πυρκαγιάς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα φαινόμενα δευτέρας τάξης.

Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών το εξωτερικό στρώμα του μέλους παθαίνει βλάβη, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει μείωση του μέτρου ελαστικότητας στα εσωτερικά στρώματα, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της δυσκαμψίας των δομικών μελών στις συνθήκες αυτές. Επομένως όταν το μέλος καταπονείται σε κάμψη με αξονικό φορτίο και ελέγχεται σε συνθήκες πυρκαγιάς, τα φαινόμενα δευτέρας τάξης μπορεί να είναι σημαντικά. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, αντίθετα με την περίπτωση όπου, για τα αντίστοιχα μέλη σε συνθήκες περιβάλλοντος, τα φαινόμενα δευτέρας τάξης είναι αμελητέα.

Τέλος τόσο ο απλοποιημένος έλεγχος όσο και η πιο αναλυτική μέθοδος ελέγχου που παρουσιάζει ο Κανονισμός βασίζονται στην υπόθεση ότι γίνεται χρήση της μεθόδου της ονομαστικής καμπυλότητας.

5.2.3.1 Απλοποιημένος έλεγχος κάμψης και αξονικού φορτίου

Τα μέλη που καταπονούνται σε κάμψη και αξονικό φορτίο θα πρέπει να ελέγχονται για την απομειωμένη διατομή διαστάσεων b_{fi} και h_{fi} που θα υπολογίζεται σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.1, ενώ η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος θα θεωρείται $f_{c,\theta}(\theta_M)$, όπου θ_M είναι η θερμοκρασία στο κέντρο M της διατομής.

Η παρακάτω μέθοδος που παρουσιάζει ο Κανονισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό ορθογωνικών διατομών μελών που καταπονούνται σε κάμψη και αξονικό φορτίο και το μειωμένο βάθος της θλιπτικής ζώνης σε κατάσταση πυρκαγιάς είναι $x_{fi} \leq 3(d_{fi} + a_{fi})$ (Εικόνα 27):

$$|\varepsilon_{c0}| \leq \varepsilon_{c1,\theta} \text{ για } x_{fi} \leq (d_{fi} + a_{fi})$$

$$|\varepsilon_{c0}| = \varepsilon_{c1,\theta} \text{ για } (d_{fi} + a_{fi}) < x_{fi} \leq 3(d_{fi} + a_{fi})$$

$$x_{e,fi} = \min\left(0,60 \frac{\varepsilon_{c0}}{\varepsilon_{c1,fi}}; 0,75 - 0,15 \frac{x_{fi}}{d_{fi} + a_{fi}}\right) x_{fi}$$

$$y_{fi} = \max\left(0,65; 0,55 + 0,10 \frac{x_{fi}}{d_{fi} + a_{fi}}\right) x_{fi}$$

όπου

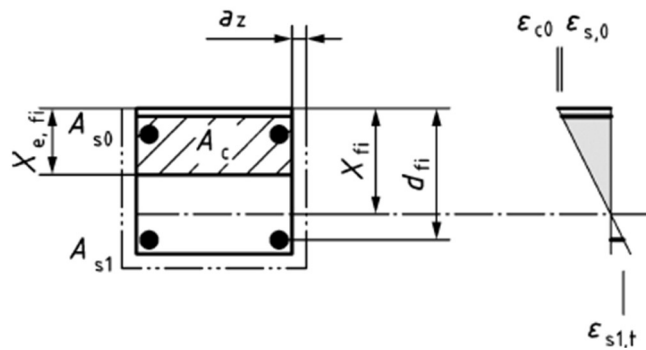
ε_{c0} είναι η τάση του σκυροδέματος για την πιο θλιβόμενη πλευρά του μέλους

$x_{e,fi}$ είναι το ενεργό ύψος του σκυροδέματος στην θλίψη σε συνθήκες πυρκαγιάς

y_{fi} είναι η απόσταση από το κέντρο της θλιβόμενης ζώνης έως τον ουδέτερο άξονα του μέλους

$d_{fi} = d - a_z$ είναι το απομειωμένο βάθος της διατομής

$a_{fi} = a - a_z$ είναι η μειωμένη αξονική απόσταση του οπλισμού.



Εικόνα 27: Τάσεις και παραμορφώσεις στην διατομή όταν $x_{fi} < d_{fi}$

Οι δυνάμεις θλιπτικές και εφελκυστικές του διαμήκους οπλισμού σε αξονική απόσταση a κατά περίπτωση υπολογίζονται σύμφωνα με μία από τις παρακάτω σχέσεις:

$$F_{sd,0,fi} = \min\left\{E_{s,\theta}A_{s0}\left(\varepsilon_{s0} + 1,35 * 10^{-5}(\theta_{sc} - 20^\circ\text{C})\left(1 - \frac{a_{fi}}{d_{fi}}\right)\right); A_{s0}f_{se,\theta}\right\}$$

$$F_{sd,1t,fi} = \min\{E_{s,\theta}\varepsilon_{s1,t}A_{s1}; A_{s1}f_{se,\theta}\} \text{ αν } x_{fi} < d_{fi}$$

$$F_{sd,1c,fi} = \max\{E_{s,\theta}\varepsilon_{s1,c}A_{s1}; -A_{s1}f_{se,\theta}\} \text{ αν } x_{fi} > d_{fi}$$

όπου

$F_{sd,0,fi}$ είναι η θλιπτική δύναμη του διαμήκους σπλισμού

$F_{sd,1t,fi}$ είναι η εφελκυστική δύναμη του διαμήκους σπλισμού όταν $x_{fi} < d_{fi}$

$F_{sd,1c,fi}$ είναι η θλιπτική δύναμη του διαμήκους σπλισμού όταν $x_{fi} < d_{fi}$

ε_{s0} και $\varepsilon_{s1,c}$ είναι οι θλιπτικές παραμορφώσεις στα αντίστοιχα στρώματα σπλισμού

$\varepsilon_{s1,t}$ είναι η εφελκυστική παραμόρφωση στο αντίστοιχο στρώμα σπλισμού

A_{s0} και A_{s1} είναι το αντίστοιχο εμβαδόν διατομής του διαμήκους σπλισμού στο αντίστοιχο στρώμα σπλισμού

$\theta_{sc} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{sc}} \theta_{sc,i}}{n_{sc}}$ (°C) είναι η μέση θερμοκρασία όλων των ενεργών ράβδων στην θλιπτική ζώνη,

όπου n_{sc} είναι ο αριθμός των ράβδων σπλισμού στην θλιπτική ζώνη.

Η τιμή σχεδιασμού της ροπής κάμψης υπολογίζεται ως: $M_{Ed,fi} = -N_{Ed,fi}e_d$.

Ο υπολογισμός της μέγιστης εκκεντρότητας e_d γίνεται με τη χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$e_d = e_0 + e_i + e_2 + e_{thermal}$$

όπου

e_0 είναι η εκκεντρότητα πρώτης τάξης

e_i είναι η επιπλέον εκκεντρότητα λόγω γεωμετρικών ατελειών, όπως παρουσιάζεται στον prEN 1992-1-1

$e_2 = \frac{l_{0,fi}^2}{c_{1/r} r}$ είναι η εκκεντρότητα λόγω παραμόρφωσης του θλιβόμενου μέλους (φαινόμενο δευτέρας τάξης)

$c_{1/r}$ είναι ο συντελεστής κατανομής της συνολικής καμπυλότητας, όπως προσδιορίζεται στον prEN 1992-1-1.

Η εκκεντρότητα $e_{thermal}$ οφείλεται στις θερμικές επιδράσεις και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$e_{therm} = \frac{l_{0,fi}^2}{8} \max\left\{\frac{1,2 \cdot 10^{-5} \max\{(\theta_T - 20^\circ\text{C}); 180^\circ\text{C}\}}{d_{fi} + a_{fi} + a_z - y_T}; \frac{1,35 \cdot 10^{-5} (\theta_{st} - 20^\circ\text{C})}{d_{fi}}\right\}$$

όπου

θ_T (°C) είναι η θερμοκρασία του σκυροδέματος στο σημείο αναφοράς T, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση $y_T = \min(0,125(d - a); 50\text{mm})$ από την άκρη της εφελκυστικής περιοχής της διατομής με d το ενεργό βάθος της διατομής και a την αξονική απόσταση

$\theta_{st} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{st}} \theta_{st,i}}{n_{st}}$ (°C) είναι η μέση θερμοκρασία όλων των ενεργών ράβδων στην εφελκυστική ζώνη,

όπου n_{st} είναι ο αριθμός των ράβδων σπλισμού στην εφελκυστική ζώνη.

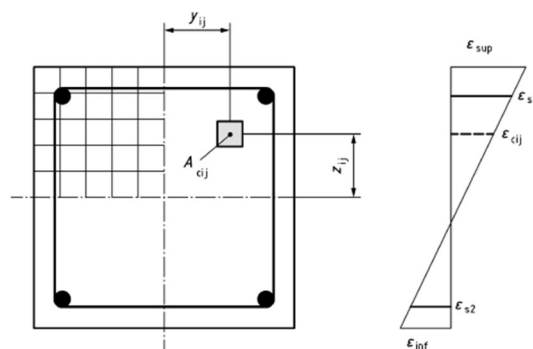
Η καμπυλότητα ισορροπίας του μέλους $1/r$ πρέπει να προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα φαινόμενα δευτέρας τάξης. Ο Κανονισμός επιτρέπει τη χρήση της παρακάτω σχέσης ως μια

εκτίμησή της και τονίζει ότι η σχέση που παρουσιάζει ο prEN 1992-1-1 δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση.

$$\frac{1}{r} \cong \frac{\varepsilon_{c1,\theta} + f_{se,\theta} / E_{s,\theta}}{d_{fi}}$$

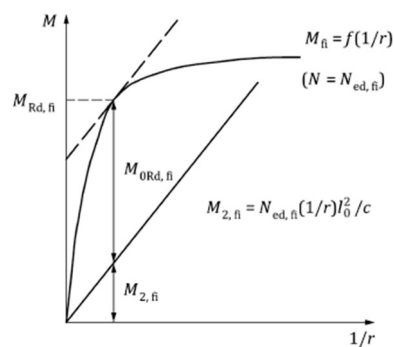
5.2.3.2 Αναλυτικός έλεγχος κάμψης και αξονικού φορτίου

Η χρήση μιας πιο αναλυτικής μεθόδου είναι κατάλληλη για την περίπτωση μεμονωμένων μελών που καταπονούνται με σταθερή κανονική δύναμη $N_{Ed,fi}$ και ενεργό μήκος $l_{0,fi}$. Στην μέθοδο αυτή η διατομή πρέπει να διαχωρίζεται σε ένα πλέγμα με μικρά στοιχεία ινών (Εικόνα 28), όπου η κάθε μία θα χαρακτηρίζεται από εμβαδόν A_{ij} , συντεταγμένες x_{ij} y_{ij} και θερμοκρασία κέντρου θ_{ij} .



Εικόνα 28: Διαχωρισμός διατομής σε πλέγμα

Η θερμοκρασία κάθε ράβδου οπλισμού θα πρέπει να ελέγχεται από τα θερμοκρασιακά προφίλ που προκύπτουν σύμφωνα με την παράγραφο 5.1 ως η θερμοκρασία στο κέντρο του οπλισμού. Το διάγραμμα ροπής – καμπυλότητας για $N_{Ed,fi}$ (Εικόνα 29) θα προσδιορίζεται με τη χρήση των διαγραμμάτων τάσεων – παραμορφώσεων για κάθε στοιχείο σκυροδέματος και για κάθε ράβδο οπλισμού. Τα διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων θα προκύπτουν από τις ιδιότητες των υλικών σε συνθήκες πυρκαγιάς, όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.



Εικόνα 29: Διάγραμμα ροπών – καμπυλοτήτων

Η τελική ροπή αντοχής πρώτης τάξεως $M_{0Rd,fi}$ σε συνθήκες πυρκαγιάς υπολογίζεται από τον τύπο:

$$M_{0Rd,fi} = M_{Rd,fi} - M_{2,fi}$$

όπου

$M_{Rd,fi}$ είναι η ολική ροπή

$M_{2,fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{1/r} \frac{l_0^2}{c}$ είναι η ονομαστική ροπή δευτέρας τάξης

$c \approx 10$ εξαρτάται από την κατανομή καμπυλότητας

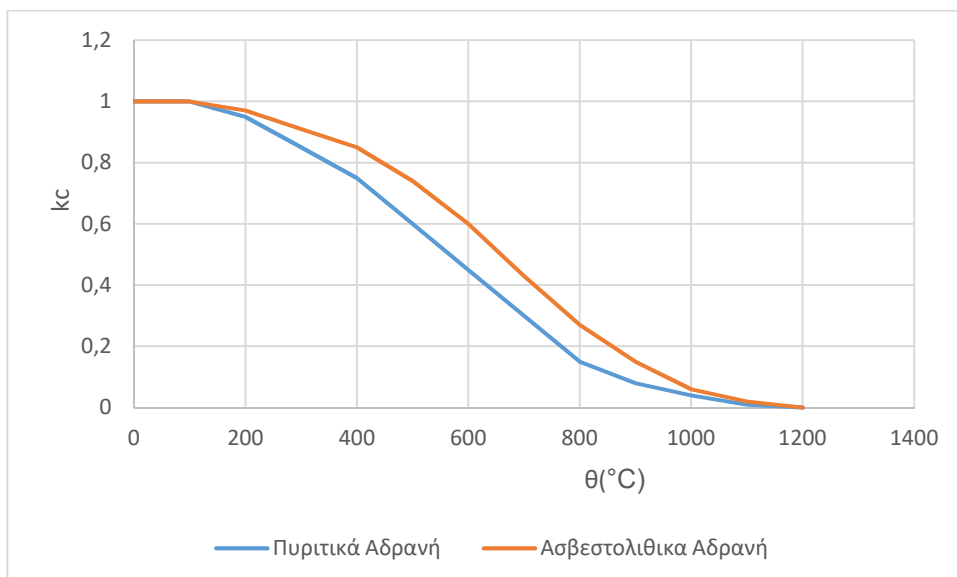
και πρέπει να ισχύει $M_{0Rd,fi} \geq M_{0Ed,fi}$.

5.2.4 Μείωση αντοχής των υλικών κατά EN 1992-1-2:2004

Ο Κανονισμός EN 1992-1-2:2004, όπως αναφέρθηκε δεν παρουσιάζει αναλυτικό υπολογισμό των διαστάσεων της απομειωμένης διατομής, αλλά δίνει πληροφορίες σχετικά με την τιμή της αντοχής των υλικών σε συνθήκες πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα παρουσιάζει διαγράμματα και εξισώσεις που αφορούν την μείωση της αντοχής των υλικών με την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις όπου οι υψηλές θερμοκρασίες οφείλονται σε έκθεση σε πρότυπη φωτιά την στιγμή της μέγιστης θερμοκρασίας.

5.2.4.1 Σκυρόδεμα

Η μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος συναρτήσει της θερμοκρασίας κατά EN 1992-1-2:2004 παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 30. Παρ' όλα αυτά το διάγραμμα προκύπτει από τις τιμές του Πίνακα 1, δηλαδή όμοια με τον Κανονισμό prEN 1992-1-2:2021. Η μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος σε συνθήκες πυρκαγιάς κατά την χρήση των απλοποιημένων μεθόδων υπολογίζεται από τους αντίστοιχους Πίνακες του κάθε Κανονισμού.



Εικόνα 30: Διάγραμμα μειωτικού συντελεστή k_c συναρτήσει της θερμοκρασίας για το σκυρόδεμα κατά EN 1992-1-2:2004

5.2.4.2 Χάλυβας

Ο EN 1992-1-2:2004 διαχωρίζει τον χάλυβα οπλισμού, όπως έχει αναφερθεί, σε δύο κατηγορίες N και X. Όταν πρόκειται για χάλυβα οπλισμού κατηγορίας N τότε η μείωση της αντοχής του χάλυβα μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον Πίνακα 3. Οι τιμές του Πίνακα ισχύουν για εφελκυσμένο οπλισμό σε δοκούς και πλάκες όπου ισχύει $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$. Αν πρόκειται για θλιβόμενο οπλισμό, σε υποστυλώματα ή ζώνες θλίψης δοκών και πλακών, ή εφελκυσμένο οπλισμό με $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις:

$$k_s(\theta) = 1,0 \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,7 - \frac{0,3(\theta-400)}{300} \quad \text{για } 100^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,57 - \frac{0,13(\theta-500)}{100} \quad \text{για } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 500^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,1 - \frac{0,47(\theta-700)}{200} \quad \text{για } 500^\circ\text{C} < \theta \leq 700^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,1 \frac{(1200 - \theta)}{500} \quad \text{για } 500^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

Αντίστοιχα, αν πρόκειται για χάλυβα κατηγορίας X, τότε η μείωση της αντοχής του χάλυβα για εφελκυσμένο οπλισμό όπου ισχύει $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$ μπορεί να υπολογίζεται από τον Πίνακα 4, ενώ αν πρόκειται για θλιβόμενο οπλισμό ή εφελκυσμένο οπλισμό με $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ τότε πρέπει να ακολουθούνται οι παρακάτω σχέσεις:

$$k_s(\theta) = 1,0 \quad \text{για } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,8 - \frac{0,2(\theta-400)}{300} \quad \text{για } 100^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,6 - \frac{0,2(\theta-500)}{100} \quad \text{για } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 500^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,33 - \frac{0,27(\theta-600)}{100} \quad \text{για } 500^\circ\text{C} < \theta \leq 600^\circ\text{C}$$

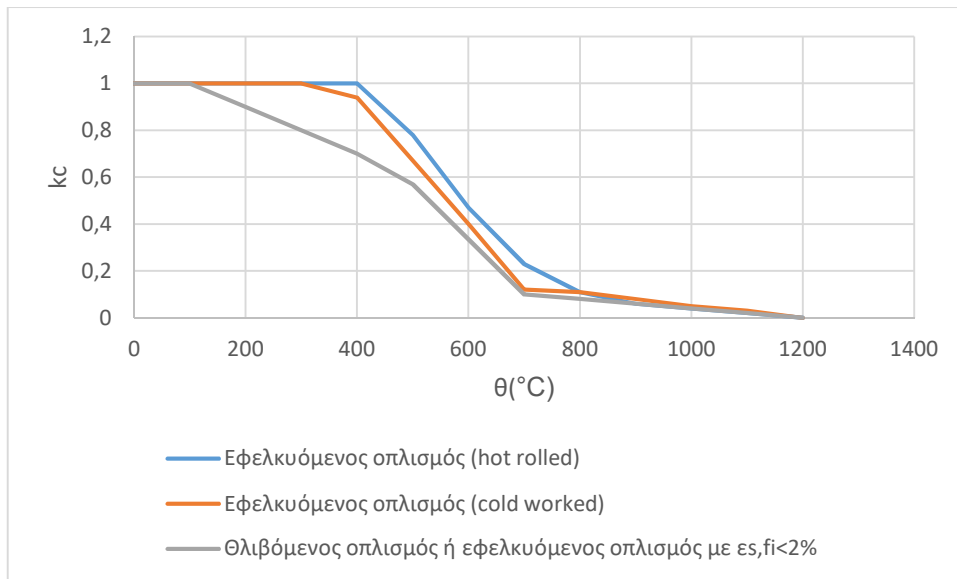
$$k_s(\theta) = 0,15 - \frac{0,18(\theta-700)}{100} \quad \text{για } 600^\circ\text{C} < \theta \leq 700^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,08 - \frac{0,07(\theta-800)}{100} \quad \text{για } 700^\circ\text{C} < \theta \leq 800^\circ\text{C}$$

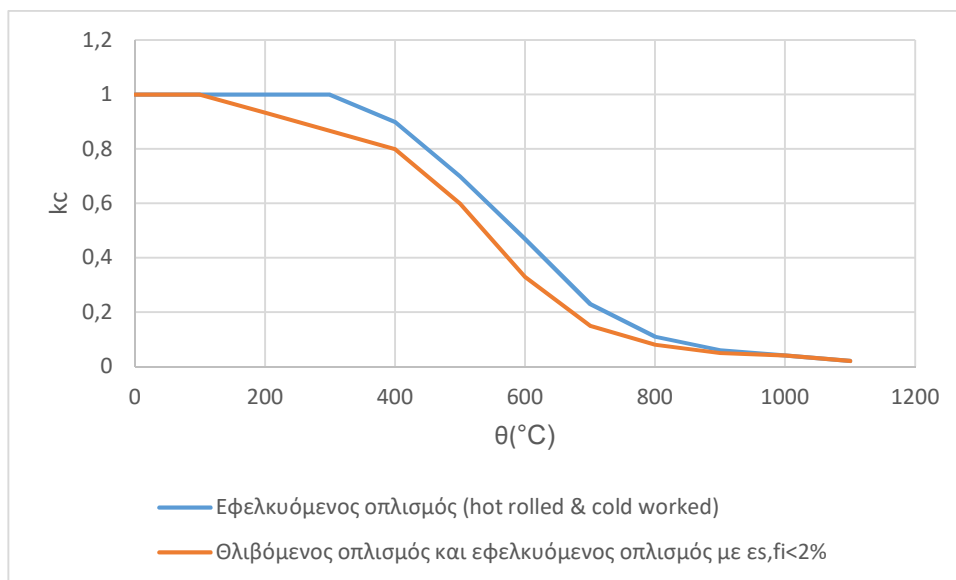
$$k_s(\theta) = 0,05 - \frac{0,03(\theta-900)}{100} \quad \text{για } 800^\circ\text{C} < \theta \leq 900^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,04 - \frac{0,01(\theta-1000)}{100} \quad \text{για } 900^\circ\text{C} < \theta \leq 1000^\circ\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,04 - \frac{1200 - \theta}{200} \quad \text{για } 1000^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}.$$

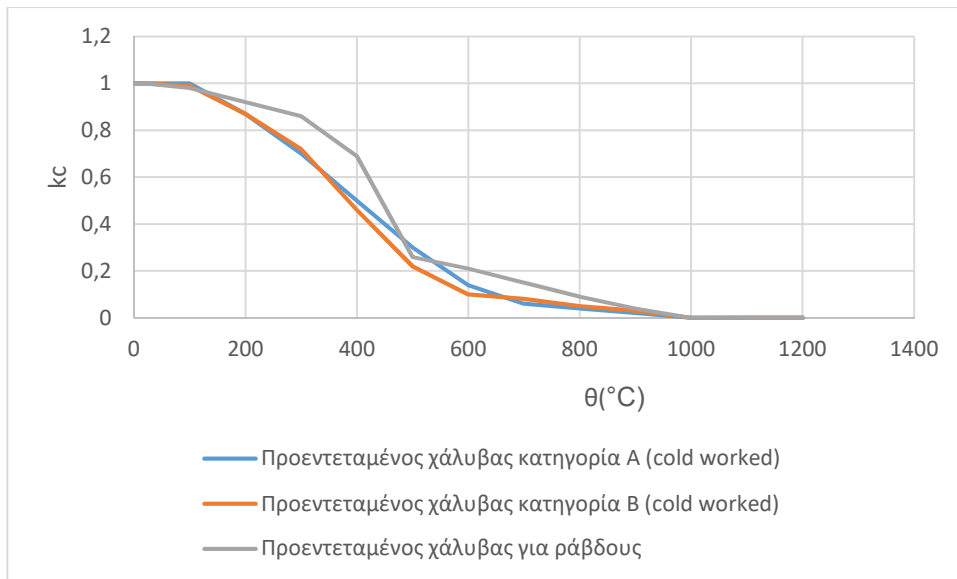


Εικόνα 31: Διάγραμμα μειωτικού συντελεστή k_c συναρτήσει της θερμοκρασίας για χάλυβα σπλισμού κατηγορίας N



Εικόνα 32: Διάγραμμα μειωτικού συντελεστή k_c συναρτήσει της θερμοκρασίας για χάλυβα σπλισμού κατηγορίας X

Τέλος για τον χάλυβα προέντασης ο EN 1992-1-2:2004 παρουσιάζει το διάγραμμα στην Εικόνα 33, το οποίο προκύπτει από τις τιμές του Πίνακα 6. Όμοια με τον prEN 1992-1-2:2021 η μείωση της αντοχής του χάλυβα προέντασης σε κατάσταση πυρκαγιάς υπολογίζεται από τον αντίστοιχο Πίνακα του Κανονισμού.



Εικόνα 33: Διάγραμμα μειωτικού συντελεστή k_c συναρτήσει της θερμοκρασίας για χάλυβα προέντασης

5.2.5 Απλοποιημένοι μέθοδοι υπολογισμού κατά EN 1992-1-2:2004

Ο EN 1992-1-2:2004, όπως αναφέρθηκε, δεν παρουσιάζει στο κύριο μέρος του καμία απλοποιημένη μέθοδο υπολογισμού, σε αντίθεση με τον prEN 1992-1-2:2021. Ο EN 1992-1-2:2004 περιέχει στο παράστημα του Β πληροφορίες σχετικά με τις δύο απλοποιημένες μεθόδους υπολογισμού: την ισόθερμη μέθοδο 500°C και την μέθοδο ζωνών.

5.2.5.1 Ισόθερμη μέθοδος 500°C

Η ισόθερμη μέθοδος 500°C εφαρμόζεται σε πρότυπη έκθεση σε πυρκαγιά και σε χρονικές περιόδους όπου δημιουργούνται παρόμοια πεδία θερμότητας. Η μέθοδος υποθέτει ότι το σκυρόδεμα που ξεπερνά την θερμοκρασία των 500°C αμελείται, ενώ το σκυρόδεμα με μικρότερη θερμοκρασία θεωρείται ότι διατηρεί την πλήρη αντοχή του. Αν οι συνθήκες δεν ικανοποιούν τα κριτήρια τότε πρέπει να γίνεται ξεχωριστή συνολική ανάλυση, όπου λαμβάνεται υπόψη η μείωση της αντοχής του σκυροδέματος συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Η μέθοδος ισχύει όταν το πλάτος της διατομής ακολουθεί τις ελάχιστες διαστάσεις του Πίνακα 26 για πρότυπη έκθεση σε φωτιά και τις ελάχιστες διαστάσεις του Πίνακα 27 για παραμετρική έκθεση σε φωτιά με συντελεστή ανοίγματος $O \geq 0,14m^{1/2}$.

Αντοχή σε φωτιά	R60	R90	R120	R180	R240
Ελάχιστο πλάτος διατομής σε mm	90	120	160	200	280

Πίνακας 26: Ελάχιστο πλάτος διατομής για πρότυπη έκθεση σε φωτιά

Πυκνότητα πυροσβεστικού φορτίου MJ/m ²	200	300	400	600	800
Ελάχιστο πλάτος διατομής σε mm	100	140	160	200	240

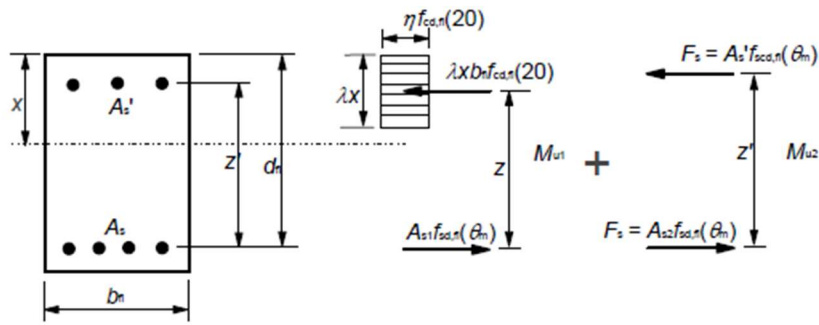
Πίνακας 27:Ελάχιστο πλάτος διατομής για παραμετρικό φορτίο

Η απλοποιημένη μέθοδος περιέχει γενική μείωση της διατομής που έχει υποστεί βλάβη λόγω της θερμότητας. Το πάχος του κατεστραμμένου σκυροδέματος a_{500} θεωρείται ίσο με το μέσο βάθος της ισόθερμης των 500°C στην θλιπτική ζώνη. Το σκυρόδεμα που έχει ξεπεράσει την θερμοκρασία των 500°C θεωρείται κατεστραμμένο και αγνοείται, καθώς υποτίθεται ότι δεν συμβάλλει καθόλου στην φέρουσα ικανότητα του μέλους, ενώ το υπόλοιπο σκυρόδεμα της διατομής θεωρείται ότι διατηρεί πλήρως την αρχική αντοχή του και το μέτρο ελαστικότητας.

Με βάση τα παραπάνω για τον σχεδιασμό της διατομής οπλισμένου σκυροδέματος, η οποία καταπονείται σε κάμψη και αξονικό φορτίο μπορεί να γίνει με τον ακόλουθο τρόπο.

- Αρχικά πρέπει να προσδιοριστεί η ισόθερμη των 500°C για την πρότυπη ή για την παραμετρική έκθεση στη φωτιά. Με την χρήση της ισόθερμης προσδιορίζονται οι καινούριες διαστάσεις της διατομής d_{fi} και b_{fi} αγνοώντας το σκυρόδεμα όπου βρίσκεται εκτός της ισόθερμης. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι ο Κανονισμός επιτρέπει οι γωνίες της ισόθερμης να θεωρηθούν ορθές και ότι η διατομή θα είναι ορθογωνική.
- Στη συνέχεια πρέπει να προσδιοριστεί η θερμοκρασία των ράβδων οπλισμού στις ζώνες εφελκυσμού και θλίψεως. Η θερμοκρασία της κάθε ράβδου μπορεί να προσδιοριστεί είτε με τα διαγράμματα θερμοκρασιακού προφίλ του Κανονισμού EN 1992-1-2:2004 είτε με οποιονδήποτε άλλο τρόπο και θεωρείται ότι η θερμοκρασία αυτή είναι στο κέντρο της ράβδου οπλισμού. Επίσης υπάρχει πιθανότητα κάποιες ράβδοι οπλισμού να βρίσκονται εκτός της μειωμένης διατομής, η μέθοδος επιτρέπει να συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας σε συνθήκες πυρκαγιάς.
- Επιπλέον πρέπει να προσδιοριστεί η μείωση της αντοχής του οπλισμού λόγω θερμοκρασίας σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.4.2 του παρόντος. Τέλος απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός της τελικής φέρουσας ικανότητας με την αντοχή των ράβδων οπλισμού με οποιαδήποτε ορθή υπολογιστική μέθοδο για την μειωμένη διατομή, ώστε να συγκριθεί με το φορτίο σχεδιασμού .

Το παράρτημα του Κανονισμού παρουσιάζει την Εικόνα 34, όπου δείχνει τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας για διατομή με εφελκυσμό και θλίψη.



Εικόνα 34: Τάσεις διατομής σκυροδέματος με εφελκυόμενο και θλιβόμενο οπλισμό

Οι παράμετροι του σχήματος σημαίνουν:

b_{fi} είναι το πλάτος της ενεργού διατομής

d_{fi} είναι το ενεργό ύψος της διατομής

z^* είναι η απόσταση μεταξύ του εφελκυόμενου οπλισμού και σκυροδέματος

A_s είναι το εμβαδόν του εφελκυόμενου οπλισμού

A_s' είναι το εμβαδόν του θλιβόμενου οπλισμού

A_{s1} είναι το εμβαδόν του τμήματος του εφελκυόμενου οπλισμού που αντιστοιχεί στο θλιβόμενο σκυρόδεμα

A_{s2} είναι το εμβαδόν του τμήματος του εφελκυόμενου οπλισμού που αντιστοιχεί στον θλιβόμενο οπλισμό

$f_{cd,fi}(20) = f_{ck}/\gamma_{c,fi}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος σε κατάσταση πυρκαγιάς για κανονική θερμοκρασία

$f_{sd,fi}(\theta_m)$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής του εφελκυόμενου οπλισμού σε κατάσταση πυρκαγιάς για την μέση θερμοκρασία του θ_m

$f_{sc,d,fi}(\theta_m)$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής του θλιβόμενου οπλισμού σε κατάσταση πυρκαγιάς για τη μέση θερμοκρασία του θ_m

Οι συντελεστές η , λ και x ορίζονται σύμφωνα με τον EN 1992-1-1:2004.

Στην περίπτωση που οι ράβδοι οπλισμού της διατομής είναι τοποθετημένες σε στρώσεις, αλλά έχουν την ίδια επιφάνεια τότε η μείωση της αντοχής ενός στρώματος οπλισμού μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$k_v(\theta) = \frac{\sum k(\theta_i)}{n_v}$$

όπου

θ_i είναι η θερμοκρασία της ράβδου οπλισμού i

$k(\theta_i)$ είναι ο συντελεστής μείωσης της αντοχής της ράβδου οπλισμού i εξαιτίας της θερμοκρασίας θ_i

$k_v(\theta)$ είναι ο μέσος συντελεστής μείωσης της αντοχής του οπλισμού στο εξεταζόμενο στρώμα

n_v είναι ο αριθμός των ράβδων οπλισμού στο στρώμα v

Μετά την χρήση της παραπάνω σχέσης μπορεί να υπολογιστεί έπειτα η αξονική απόσταση του οπλισμού από την κάτω επιφάνεια της διατομής έως το κέντρο του οπλισμού ως:

$$a = \frac{\sum a_v k_v(\theta)}{\sum k_v(\theta)}$$

όπου

a_v η αξονική απόσταση από την κάτω επιφάνεια της διατομής έως το στρώμα οπλισμού v .

Ειδική περίπτωση είναι όταν υπάρχουν μόνο δύο στρώσεις οπλισμού, όπου η αξονική απόσταση μπορεί να υπολογιστεί ως $a = \sqrt{a_1 a_2}$.

Αντίστοιχα ο Κανονισμός EN 1992-1-2:2004 στο παράρτημα του παρουσιάζει και τις γενικές σχέσεις όπου ο οπλισμός βρίσκεται σε πολλές στρώσεις και κάθε ράβδος δεν έχει την ίδια επιφάνεια.

Ο συντελεστής μείωσης της αντοχής της κάθε ομάδας οπλισμού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$k(\varphi) f_{sd,fi} = \frac{\sum k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i}{\sum A_i}$$

όπου

$k_s(\theta_i)$ είναι ο συντελεστής μείωσης αντοχής της ράβδου i

$f_{sd,fi}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού της ράβδου οπλισμού i

A_i είναι το εμβαδόν της ράβδου οπλισμού i .

Με αποτέλεσμα η αξονική απόσταση a της ομάδας οπλισμού από την κάτω επιφάνεια της διατομής έως το κέντρο της ομάδας είναι:

$$a = \frac{\sum a_i k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i}{\sum k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i}$$

με a_i να είναι η αξονική απόσταση από την κάτω επιφάνεια της διατομής της ράβδου οπλισμού i .

Τέλος ο Κανονισμός στην μέθοδο της ισόθερμης 500°C παρουσιάζει τον υπολογισμό της ροπής κάμψης, η οποία είναι:

$$M_u = M_{u1} + M_{u2}$$

όπου

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z$$

$$\omega_k = \frac{A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m)}{b f_{td} f_{cd,fi}(20)}$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{scd,fi}(\theta_m) z'$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

με A_s το εμβαδόν του συνολικού οπλισμού, ω_k είναι ο λόγος αντοχής του οπλισμού σε κατάσταση πυρκαγιάς και z' η απόσταση μεταξύ εφελκυσμένου και θλιβόμενου οπλισμού, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι είναι ίδιοι με αυτές τις Εικόνας 34.

5.2.5.2 Μέθοδος ζωνών

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υποδιαίρεση της διατομής σε πολλές ζώνες. Αν και αποτελεί μια επίπονη και πιο χρονοβόρα διαδικασία σε σχέση με αυτή της ισόθερμης των 500°C, η μέθοδος δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα. Η διατομή χωρίζεται σε παράλληλες ζώνες, τουλάχιστον τρεις, ίδιου πάχους και για κάθε ζώνη υπολογίζεται η μέση θερμοκρασία, η αντοχή λόγω πυρκαγιάς και το μέτρο ελαστικότητας.

Αρχικά η διατομή που έχει υποστεί ζημιές λόγω της φωτιάς μειώνεται σε μια νέα διατομή, όπου το κατεστραμμένο τμήμα της διατομής πάχους a_z αγνοείται. Η μειωμένη διατομή για την περίπτωση ορθογωνικών διατομών υπολογίζεται όπως και για τον Κανονισμό prEN 1992-1-2:2021 σύμφωνα με τις Εικόνας 22 και 23. Όταν υπολογιστεί η απομειωμένη διατομή τότε διαχωρίζεται σε ζώνες, όπως και στον Κανονισμό του 2021 Εικόνα 25 και υπολογίζονται τα απαραίτητα στοιχεία της κάθε ζώνης, καθώς και τα στοιχεία του αυθαίρετου σημείου M, το οποίο βρίσκεται σε τέτοια θέση όπου απέχει από τα άκρα της διατομής εκατέρωθεν το ήμισυ του συνολικού πλάτους της, όπου θεωρείται ότι τα χαρακτηριστικά του αντιπροσωπεύουν την συνολική μειωμένη διατομή.

Ο συντελεστής μείωσης μιας περιοχής της διατομής υπολογίζεται:

$$k_{c,m} = \frac{1-0,2/n}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)$$

όπου

n είναι ο αριθμός των παράλληλων ζωνών πλάτους w

w είναι η απόσταση από το άκρο της διατομής έως το κέντρο βάρους που βρίσκεται το σημείο M, δηλαδή το μισό του συνολικού πλάτους

m είναι ο αριθμός της ζώνης.

Επίσης το πάχος a_z που θα μειωθεί η διατομή δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- Για πλάκες, δοκούς και μέλη με καθαρή διάτμηση

$$a_z = w \left(1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)$$

- Για υποστυλώματα, τοίχους και μέλη που λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα δευτέρας τάξης

$$a_z = w \left(1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right)$$

Όταν τελικά βρεθεί η απομειωμένη διατομή και τα χαρακτηριστικά της ο σχεδιασμός σε πυρκαγιά ακολουθεί την ίδια πορεία με τον σχεδιασμό για κανονικές θερμοκρασίες, αλλά εξετάζεται η απομειωμένη διατομή.

5.2.5.3 Κάμψη, αξονική δύναμη και φαινόμενα 2^{ας} τάξης κατά EN 1992-1-2:2004

Τα μέλη που καταπονούνται σε κάμψη και αξονικό φορτίο είναι πιθανό σε κατάσταση πυρκαγιάς τα φαινόμενα δευτέρας τάξης που εμφανίζονται να είναι σημαντικά. Ο Κανονισμός παρουσιάζει κάποιες πληροφορίες για το συγκεκριμένο πρόβλημα στο τρίτο μέρος του παραρτήματος του Β. Κάτω από υψηλές θερμοκρασίες, η δομική συμπεριφορά των μελών που υπόκεινται σε κάμψη και αξονική δύναμη είναι πιθανό να επηρεαστεί σημαντικά από τα φαινόμενα δευτέρας τάξης. Η βλάβη που συμβαίνει στα εξωτερικά τοιχώματα του μέλους λόγω υψηλών θερμοκρασιών οδηγεί σε μείωση της δυσκαμψίας του μέλους και του μέτρου ελαστικότητας του, γι' αυτό το λόγο τα φαινόμενα δευτέρας τάξης είναι σημαντικά σε συνθήκες πυρκαγιάς, ενώ σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος μπορεί να αμελούνται.

Ο Κανονισμός αναφέρει ότι το ενεργό ύψος της διατομής $l_{0,fi}$ μπορεί να θεωρείται ίσο με το ύψος l_0 που αφορά το ύψος για συνήθεις θερμοκρασίες ως μια επαρκή ασφαλής απλοποίηση. Αν απαιτείται μια ακριβέστερη τιμή του ενεργού ύψους τότε πρέπει να υπολογιστεί η μειωμένη διατομή του μέλους, όπου η αντίστοιχη ακαμψία του θα προκύπτει από την σχέση:

$$(EI)_z = [k_c(\theta_M)]^2 E_c I_z$$

όπου

E_c είναι το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος για θερμοκρασία περιβάλλοντος

I_z είναι η ροπή αδράνειας της απομειωμένης διατομής

$k_c(\theta_M)$ είναι ο μειωτικός συντελεστής του σκυροδέματος για το σημείο M (Εικόνα 25).

Η μέθοδος που παρουσιάζει ο Κανονισμός αφορά μόνο υποστυλώματα. Κατά τη μέθοδο αρχικά προσδιορίζονται οι ισόθερμες της διατομής για πρότυπη έκθεση σε φωτιά ή για παραμετρική φωτιά. Έπειτα η διατομή χωρίζεται σε ζώνες, οι οποίες έχουν μέσες θερμοκρασίες 20°C, 100°C, 200°C... έως 1100°C. Κάθε ζώνη χαρακτηρίζεται από πλάτος w_{ij} , εμβαδόν A_{ij} και συντεταγμένες x_{ij} y_{ij} . Στη συνέχεια υπολογίζεται η θερμοκρασία κάθε ράβδου οπλισμού με τη χρήση των διαγραμμάτων του Κανονισμού ή με οποιαδήποτε ορθή μέθοδο. Αφού προσδιοριστούν τα διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων των ράβδων οπλισμού και του σκυροδέματος μπορεί να υπολογιστεί το διάγραμμα ροπής – καμπυλότητας για $N_{Ed,fi}$. Τέλος, με συμβατικές μεθόδους, μπορούν να υπολογιστούν η ροπή δευτέρας τάξης και η τελική ροπή, ενώ η ροπή πρώτης τάξης μπορεί να υπολογιστεί ως η διαφορά των άλλων δύο, όμως φαίνεται και στο διάγραμμα της Εικόνας 29, όπου χρησιμοποιεί και ο prEN 1992-1-2:2021.

5.2.5.4 Απλοποιημένη μέθοδος για δοκούς και πλάκες κατά EN 1992-1-2:2004

Ο EN 1992-1-2:2004 παρουσιάζει επιπλέον μια απλοποιημένη μέθοδο για δοκούς και πλάκες στο παράρτημά του Ε, όπου χωρίζεται σε δύο τμήματα: δοκοί και πλάκες με απλή έδραση και συνεχείς δοκοί και πλάκες. Η μέθοδος εφαρμόζεται μόνο όταν η φόρτιση του μέλους είναι κυρίως ομοιόμορφα κατανεμημένη και ο σχεδιασμός σε συνθήκες περιβάλλοντος έχει γίνει με γραμμική

ανάλυση ή με γραμμική ανάλυση με περιορισμένη ανακατανομή. Με την μέθοδο μπορούν να υπολογίζονται επιπλέον, συνεχείς δοκοί και πλάκες, αν η ροπή ανακατανομής είναι μεγαλύτερη από 15% και η ικανότητα στροφής που παρέχεται είναι επαρκής για τα στηρίγματα στην κατάσταση πυρκαγιάς. Η διαδικασία που παρουσιάζει ο Κανονισμός είναι μια επέκταση των Πινάκων που δίνει στο κύριο μέρος του ο EN 1992-1-2:2004 και έχει σκοπό να υπολογίσει την αντίσταση των μελών όταν η αξονική απόσταση a είναι μικρότερη από τις ελάχιστες απαιτήσεις των Πινάκων. Όμως είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι, εν τέλει, οι ελάχιστες διαστάσεις που δίνουν οι Πίνακες του Κανονισμού πρέπει να είναι και οι ελάχιστες πραγματικές διαστάσεις. Τέλος η μέθοδος δεν ισχύει για συνεχείς δοκούς, όπου στην αρνητική ροπή το πλάτος είναι μικρότερο από 200m και το ύψος της διατομής είναι μικρότερο από 2b.

5.2.5.5 Δοκοί και πλάκες με απλή έδραση

Τα φορτία σε συνθήκες πυρκαγιάς υπολογίζονται σύμφωνα με τον EN 1991-1-2, όμως η μέγιστη ροπή σχεδιασμού $M_{Ed,fi}$ για ομοιόμορφο καταναμημένο φορτίο υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$M_{Ed,fi} = w_{Ed,fi} l_{eff}^2 / 8$$

όπου

$w_{Ed,fi}$ είναι το ομοιόμορφο φορτίο σε κατάσταση πυρκαγιάς σε (kN/m)

l_{eff} είναι το ενεργό μήκος της δοκού ή της πλάκας.

Στη συνέχεια προσδιορίζεται η ροπή αντοχής σχεδιασμού για συνθήκες πυρκαγιάς ως:

$$M_{Rd,fi} = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \right) k_s(\theta) M_{Ed} \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \right)$$

όπου

γ_s είναι ο συντελεστής υλικού για τον χάλυβα κατά EN 1992-1-1

$\gamma_{s,fi}$ είναι ο συντελεστής υλικού για τον χάλυβα σε συνθήκες πυρκαγιάς

$k_s(\theta)$ είναι ο μειωτικός συντελεστής του χάλυβα για την θερμοκρασία θ

$A_{s,prov}$ είναι το εμβαδόν του εφελκυσμένου χάλυβα που παρέχεται

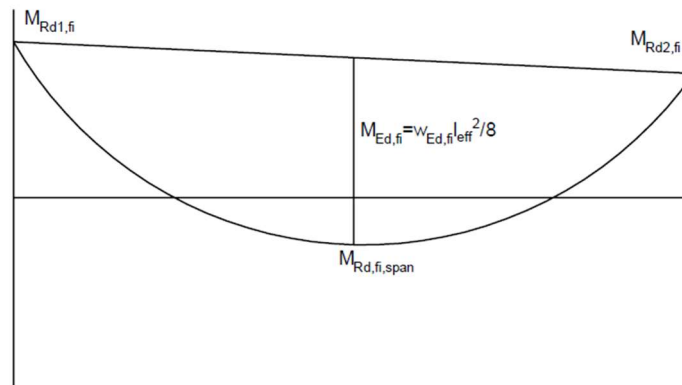
$A_{s,req}$ είναι το εμβαδόν του εφελκυσμένου χάλυβα που απαιτείται από τον σχεδιασμό για συνήθεις θερμοκρασίες

Τέλος ο όρος $\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}}$ δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1,3.

Συνεχείς δοκοί και πλάκες

Για συνεχείς δοκούς και πλάκες πρέπει να διασφαλίζεται η στατική ισορροπία των καμπτικών ροπών και δυνάμεων σε συνθήκες πυρκαγιάς. Με σκοπό την διασφάλιση της ισορροπίας η ανακατανομή της ροπής στα ανοίγματα και στις στηρίξεις επιτρέπεται μόνο όταν ο οπλισμός πάνω στις στηρίξεις είναι επαρκής για να παραλάβει τις φορτίσεις λόγω της πυρκαγιάς σχεδιασμού και ταυτόχρονα εκτείνεται σε επαρκές μήκος αγκύρωσης.

Η ροπή αντίστασης στη θέση του ανοίγματος υπολογίζεται όμοια με την περίπτωση των απλά εδραζόμενων δοκών και πλακών. Επομένως το μέγιστο φορτίο ροπής για ομοιόμορφο φορτίο είναι $M_{Ed,fi} = w_{Ed,fi} l_{eff}^2 / 8$, όμως σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να λαμβάνονται και οι ροπές στα στηρίγματα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35: Ροπές στην περίπτωση συνεχών δοκών και πλακών

Για την αποφυγή πιο περίπλοκων υπολογισμών η ροπή αντοχής στις στηρίξεις σε συνθήκες πυρκαγιάς, όταν η θερμοκρασία του οπλισμού δεν υπερβαίνει τους 350°C και η θερμοκρασία των τενόντων προέντασης τους 100°C, μπορεί να υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_{Rd,fi} = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \right) M_{Ed} \left(\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \right) (d - a) / d$$

όπου οι όροι γ_s , $\gamma_{s,fi}$, M_{Ed} , $A_{s,prov}$ και $A_{s,req}$ είναι ίδιοι με την εξίσωση στις απλά εδραζόμενες δοκούς και a είναι η απαιτούμενη αξονική απόσταση σύμφωνα με τους Πίνακες του Κανονισμού και d είναι το ενεργό μήκος της διατομής. Επιπλέον, και σε αυτή την περίπτωση, ισχύει ότι ο όρος $\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}}$ δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 1,3. Αν οι θερμοκρασίες του οπλισμού και των τενόντων προέντασης υπερβαίνουν τα παραπάνω όρια, τότε η παραπάνω σχέση θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή μείωσης k_s και k_p κατά περίπτωση. Οι συντελεστές προκύπτουν από τους Πίνακες του Κανονισμού.

Τέλος απαιτείται έλεγχος του μήκους αγκύρωσης. Το μήκος της ράβδου οπλισμού θα πρέπει να εκτείνεται επιπλέον των υπολοίπων απαιτήσεων και μήκος $l_{bd,fi}$ λόγω συνθηκών υψηλών θερμοκρασιών (πυρκαγιά), το οποίο υπολογίζεται από την σχέση:

$$l_{bd,fi} = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \right) \left(\frac{\gamma_{c,fi}}{\gamma_c} \right) l_{bd}$$

όπου l_{bd} είναι το μήκος αγκύρωσης σύμφωνα με τον EN 1992-1-1.

5.2.6 Σύγκριση των δύο Κανονισμών στις απλοποιημένες μεθόδους αντιμετώπισης κάμψης και αξονικού φορτίου

Από την μια πλευρά με βάση τις παραπάνω παραγράφους προκύπτει ότι ο EN 1992-1-2:2004 δεν παρουσιάζει μία μέθοδο αντιμετώπισης των μελών που καταπονούνται σε κάμψη και αξονικό φορτίο στο κύριο μέρος του. Περιέχει όμως επαρκής πληροφορίες α) στο Παράρτημα του Β, όπου παρουσιάζει την μέθοδο ζωνών, την μέθοδο της ισόθερμης των 500°C και τον τρόπο αντιμετώπισης φαινομένων δευτέρας τάξης και β) στο Παράρτημά του Ε, όπου περιέχει μια απλοποιημένη μέθοδο υπολογισμού δοκών και πλακών. Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 έχει προσθέσει στο κύριο μέρος αναλυτικές σχέσεις για την εύρεση της απομειωμένης διατομής, ενώ παρουσιάζει τις απαραίτητες πληροφορίες για την αντιμετώπιση μελών που καταπονούνται σε καθαρή κάμψη ή σε κάμψη και αξονική δύναμη. όμως, εξετάζοντας τους δύο Κανονισμούς παρατηρείται ότι η νεότερη έκδοση του Κανονισμού έχει χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες που δίνονται στα Παραρτήματα του Κανονισμού του 2004 και τις έχει εντάξει στο κύριο μέρος του Κανονισμού.

Συγκεκριμένα η μέθοδος υπολογισμού της μειωμένης διατομής στον prEN 1992-1-2:2021 είναι όμοια με αυτή που παρουσιάζεται στην μέθοδο ζωνών του EN 1992-1-2:2004. Επίσης ο Κανονισμός του 2021 έχει απλοποιήσει τον υπολογισμό της μειωμένης αντοχής των υλικών. Δηλαδή αναφέρει ότι η μείωση της αντοχής των υλικών λόγω αυξημένων θερμοκρασιών ανεξαρτήτου περιπτώσεως υπολογίζεται σύμφωνα με τους Πίνακες και τους κανόνες τους, ενώ στον EN 1992-1-2:2004 κατά κύριο λόγο επίσης χρησιμοποιούνται οι Πίνακες για το σκυρόδεμα, τον χάλυβα προέντασης και τον χάλυβα σπλισμού, όταν όμως αυτός εφελκύεται με $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$, ενώ όταν ο χάλυβας θλίβεται η εφελκύεται με $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ χρησιμοποιούνται οι σχέσεις που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 5.2.4. Επιπλέον τα φαινόμενα δευτέρας τάξης ο EN 1992-1-2:2004 τα παρουσιάζει συνοπτικά στο τρίτο μέρος του παραρτήματος του, ενώ το prEN 1992-1-2:2021 - χρησιμοποιώντας τις ίδιες αρχές, έχει εντάξει την ίδια μέθοδο στο κύριο μέρος του έχοντας απλοποιήσει τον διαχωρισμό της διατομής σε τμήματα θερμοκρασίας θ_{ij} επιλογής του μελετητή. Τέλος ο prEN 1992-1-2:2021 έχει προσθέσει τις απαραίτητες μαθηματικές σχέσεις για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για μέλη που καταπονούνται σε καθαρή κάμψη ή κάμψη και αξονικό φορτίο είτε με μια απλοποιημένη αξιολόγηση είτε με πιο εκλεπτυσμένη μέθοδο αξιολόγησης.

5.2.7 Λυγισμός υποστυλωμάτων υπό συνθήκες πυρκαγιάς

Ο λυγισμός των υποστυλωμάτων υπό συνθήκες πυρκαγιάς παρουσιάζεται και στους δύο Κανονισμούς στο παράρτημα C του καθένα. Ο EN 1992-1-2:2004 παρέχει ενημερωτικό περιεχόμενο για τον λυγισμό των υποστυλωμάτων. Συγκεκριμένα παρουσιάζει Πίνακες για την αξιολόγηση υποστυλωμάτων με πλάτος έως 600mm και λυγηρότητα λ έως 80 για έκθεση σε

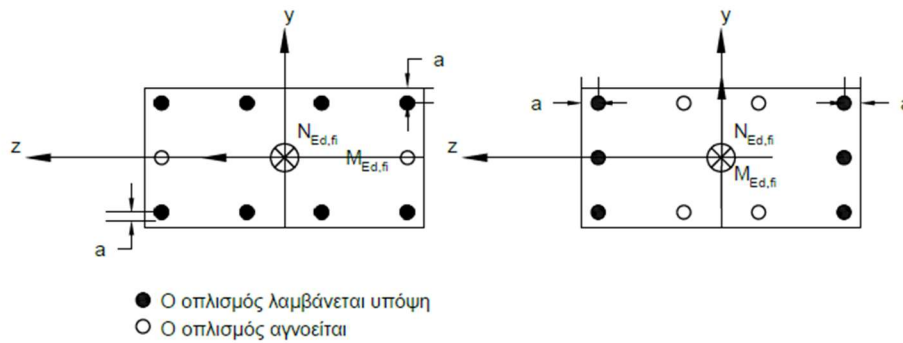
πρότυπη φωτιά. Οι Πίνακες χωρίζονται ανάλογα με τον βαθμό του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω και την εκκεντρότητα πρώτης τάξης e και έχουν την μορφή του Πίνακα 29. Συγκεκριμένα υπάρχουν οι Πίνακες με τα εξής χαρακτηριστικά:

- $\omega = 0,1$ και $e = 0,025b$ με $e \geq 10mm$
- $\omega = 0,1$ και $e = 0,025b$ με $e \leq 100mm$
- $\omega = 0,1$ και $e = 0,5b$ με $e \leq 200mm$
- $\omega = 0,5$ και $e = 0,025b$ με $e \geq 10mm$
- $\omega = 0,5$ και $e = 0,25b$ με $e \leq 100mm$
- $\omega = 0,5$ και $e = 0,5b$ με $e \leq 200mm$
- $\omega = 1,0$ και $e = 0,025b$ με $e \geq 10mm$
- $\omega = 1,0$ και $e = 0,25b$ με $e \leq 100mm$
- $\omega = 1,0$ και $e = 0,5b$ με $e \leq 200mm$.

Σε αντίθεση με τον EN 1992-1-2:2004, ο prEN 1992-1-2:2021 στο παράρτημα C παρέχει κανονιστικό περιεχόμενο για τον λυγισμό των υποστυλωμάτων για συνθήκες πυρκαγιάς. Οι Πίνακες του Κανονισμού δίνουν ορθά αποτελέσματα για υποστυλώματα είτε κυκλικής είτε ορθογωνικής διατομής σε ενισχυμένες ή μη κατασκευές, όπου όμως το μέγιστο ενεργό ύψος τους είναι l_0 .

Όταν γίνεται χρήση των Πινάκων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Η Πίνακες ισχύουν μόνο για $l_{0,fi} = l_0$ ή $l_{0,fi} = 0,7l_0$.
- Οι διαστάσεις του υποστυλώματος είναι b, h όπου $b \leq h$.
- $\mu_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Rd}}$
- e_0 είναι η εκκεντρότητα πρώτης τάξης των κανονικών δυνάμεων, $N_{Ed,fi}$ και N_{Rd} , με $N_{Ed,fi}$ είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού σε συνθήκες πυρκαγιάς και N_{Rd} είναι η αξονική δύναμη αντοχής σχεδιασμού για συνήθεις θερμοκρασίες.
- α είναι η αξονική απόσταση του κύριου οπλισμού
- $\omega_{mod} = \frac{2\min(A_{s0};A_{s1})f_{yd}}{A_c f_{cd}}$, όπου A_{s0} είναι το εμβαδόν διατομής του διαμήκους οπλισμού σε αξονική απόσταση α από την πιο θλιβόμενη πλευρά και A_{s1} είναι το εμβαδόν διατομής του διαμήκους οπλισμού σε αξονική απόσταση από την πιο εφελκυσμένη πλευρά, οι υπόλοιπες διατομές οπλισμού αγνοούνται (Εικόνα 36). Οι Πίνακες του Κανονισμού ισχύουν για $0,1 \leq \omega_{mod} \leq 1$.



Εικόνα 36: Ορθογώνια διατομή για τον λυγισμό

- Η αξονική απόσταση για τις ράβδους οπλισμού θα πρέπει να είναι: $a \geq 1,5\phi_{sl}$ όπου ϕ_{sl} είναι η διάμετρος της ράβδου οπλισμού στην διαμήκης διάσταση.
- Στις ορθογωνικές διατομές ο ελάχιστος αριθμός ράβδων οπλισμού θα πρέπει να ακολουθεί τον Πίνακα 28 τόσο για την θλιπτική όσο και για την εφελκυστική πλευρά.

	Ελάχιστη διάσταση b της διατομής του υποστυλώματος						
	600mm	500mm	400mm	350mm	300mm	250mm	200mm
$\omega_{mod} \leq 0,5$	3	3	3	3	2	2	2
$0,5 < \omega_{mod} \leq 1,0$	5	4	3	3	2	2	2

Πίνακας 28: Ελάχιστος αριθμός ράβδων οπλισμού

- Στις κυκλικές διατομές με διάμετρο b οι Πίνακες μπορεί να χρησιμοποιούνται όταν ο κύριος οπλισμός είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος στην περίμετρο της διατομής, όλοι οι ράβδοι έχουν αξονική απόσταση a και υπάρχουν τουλάχιστον έξι (6) ράβδοι οπλισμού.
- Για τιμές ενδιάμεσες από αυτές που δίνουν οι Πίνακες επιτρέπεται η γραμμική παρεμβολή.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο λυγισμός θα πρέπει να εξετάζεται και στις άλλες διευθύνσεις (άξονας z και άξονας y). Οι Πίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τις άλλες διευθύνσεις με την προϋπόθεση ότι ακολουθούνται οι παραπάνω κανόνες και η παράμετρος b των Πινάκων είναι η μικρότερη διάσταση της διατομής στον εξεταζόμενο άξονα.

Τέλος οι Πίνακες του prEN 1992-1-2:2021 (Πίνακας 30) διαφέρουν και στον τρόπο παρουσίασης των δεδομένων. Συγκεκριμένα ο Κανονισμός περιέχει έξι Πίνακες, ανάλογα με την διάρκεια της πυρκαγιάς, δηλαδή 30, 60, 90, 120, 180 και 240 λεπτά, όπου, ανάλογα με τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων προκύπτει η τιμή του μέγιστου ενεργού ύψους του υποστυλώματος.

Τυπική Αντοχή σε φωτιά	λ	Ελάχιστες διαστάσεις υποστυλώματος πλάτος bmin / αξονική απόσταση α (mm)			
		Υποστύλωμα εκτειθέμενο σε φωτιά σε πάνω από μία πλευρά			
		n=0,15	n=0,30	n=0,50	n=0,70
1	2	3	4	5	6
R30	20	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	200/25*
	60	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	70	150/25*	150/25*	250/25*	300/25*
	80	150/25*	200/25*	250/30:300/25*	350/25*
R60	30	150/25*	150/25*	200/25*	200/30:250/25*
	40	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	50	150/25*	200/25*	250/25*	300/25
	60	150/25*	200/40:250/25*	250/40:300/25*	350/30:400/25*
	70	200/25*	250/30:300/25*	300/40:350/25*	450/35:550/25*
	80	200/30:250/25*	250/40:300/25*	400/30:450/25*	550/60:600/35
R90	30	150/25*	200/25*	200/50:250/25*	250/30:300/25*
	40	150/35:200/25*	200/30:250/25*	250/25*	300/25
	50	200/25*	250/25*	300/25*	350/50:400/25*
	60	200/35:250/25*	250/40:300/25*	350/35:400/25*	450/50:550/25*
	70	250/25*	300/35:350/25*	400/45:550/25*	600/40
	80	250/30:300/25*	350/35:400/25*	550/40:600/25*	(1)
R120	30	200/25*	250/25*	250/25*	300/45:350/25
	40	250/25*	250/25*	300/25*	400/25*
	50	250/25*	300/25*	350/50:400/25*	450/50:500/25*
	60	250/25*	350/25*	450/400:500/25*	550/50
	70	250/50:300/25*	400/25*	500/60:550/25*	(1)
	80	300/25*	450/40:500/25*	600/45	(1)
R180	30	250/25*	250/25*	350/25*	400/50:450/25*
	40	250/25*	300/30:350/25*	400/25*	450/50:500/25*
	50	250/50:300/25*	350/50:400/25*	450/40:500/25*	550/60:600/35
	60	300/40:350/25*	450/25*	550/40:600/25	(1)
	70	350/30:400/25*	500/25*	600/80	(1)
	80	400/30:450/25*	550/45:600/25*	(1)	(1)
R240	30	250/25*	350/25*	450/25*	500/40:550/25*
	40	300/25*	400/25*	500/25*	600/25*
	50	350/25*	450/25*	550/50:600/25*	(1)
	60	400/25*	500/60:550/25*	600/80	(1)
	70	450/25*	600/25*	(1)	(1)
	80	500/25*	600/80	(1)	(1)

* Συνήθως ο EN 1992-1-1 είναι δυσμενέστερος

(1) Απαιτείται πλάτος μεγαλύτερο από 600mm. Χρειάζεται ιδιαίτερη εκτίμηση για τον λυγισμό

Πίνακας 29: Ελάχιστες διαστάσεις πλάτους και αξονικής απόστασης για ορθογωνικές ή κυκλικές διατομές με $\omega = 0,1$ και $e = 0,025b$ με $e \geq 10mm$ για λυγισμό κατά EN 1992-1-2:2004

R _{fi} =30		l _{0,fi} = 1,0l ₀			0,1 < ω < 1,0															
	b (mm):	≥600			500			400			300			250			200			
	μ _{fi} :	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	
e ₀	α (mm)	l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			
20(mm)	25	12,3	10,9	9,5	10	8,8	7,8	7,7	6,7	5,8	5,2	4,6	3,7	4	3,3	2,7	2,9	2,4	1,9	
20(mm)	30	13	11,1	9,9	10,5	8,9	7,9	8,1	6,9	6,1	5,5	4,6	3,9	4,3	3,5	3	3,1	2,5	2	
20(mm)	40	16,3	12,3	11,1	13,1	10,1	8,9	10	7,9	6,9	6,1	5,1	4,4	5,1	4	3,4	3,5	2,7	2,3	
20(mm)	55	20,6	14,2	12,1	16,3	11,4	9,7	12	8,5	7,4	8	5,9	5	5,6	4,3	3,6	3,5	2,7	2,3	
0,5b	25	24	10,8	4,7	20	8,8	3,6	16	6,7	2,3	8,3	3,5	-	6,5	2,6	-	4,6	1,5	-	
0,5b	30	24	15,1	7,8	20	12,1	6,2	16	9,1	4,5	12	4,8	-	10	3,6	-	6,7	2,4	-	
0,5b	40	24	24	10,9	20	20	9,3	16	16	7,4	12	8,1	3,8	10	5,8	2,6	8	3,5	-	
0,5b	55	24	24	20,4	20	20	15,9	16	16	11,1	12	12	6,4	10	10	3,8	8	4	-	
1,0b	25	24	18,2	8,1	20	14,7	6,5	16	11,3	4,8	12	5,9	-	10	4,6	-	8	3,2	-	
1,0b	30	24	24	12,1	20	20	9,8	16	15,6	7,4	12	8,3	-	10	6,4	-	8	4,4	-	
1,0b	40	24	24	21	20	20	16,6	16	16	12,4	12	12	6	10	10	4,5	8	6,4	-	
1,0b	55	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	11	10	10	6,6	8	7,6	-	

R _{fi} =30		l _{0,fi} = 0,7l ₀			0,1 < ω < 1,0															
	b (mm):	≥600			500			400			300			250			200			
	μ _{fi} :	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	
e ₀	α (mm)	l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			l _{0,max} (m)			
20(mm)	25	24	17,1	15,3	20	14	12,2	16	10,9	9,4	8,7	7,1	6,1	7,2	5,3	4,5	5,3	3,7	3,1	
20(mm)	30	24	18,8	16,6	20	15,3	13,4	16	11,5	10,2	12	7,7	6,4	10	6	5,1	8	4,2	3,5	
20(mm)	40	24	24	20,5	20	20	16,5	16	16	12,4	12	9,5	7,9	10	7,2	6,1	8	5,2	4	
20(mm)	55	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	11,6	10	10	7,2	8	5	4	
0,5b	25	24	24	14,1	20	20	11,1	16	16	8,1	12	9,6	-	10	6,9	-	8	4,3	-	
0,5b	30	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	5,7	10	10	3,6	8	8	-	
0,5b	40	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	12	10	10	10	8	8	5,4	
0,5b	55	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	12	10	10	10	8	8	8	
1b	25	24	24	17,3	20	20	14,3	16	16	11,1	12	12	-	10	10	-	8	7,5	-	
1b	30	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	8,2	10	10	5,6	8	8	-	
1b	40	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	12	10	10	10	8	8	8	
1b	55	24	24	24	20	20	20	16	16	16	12	12	12	10	10	10	8	8	8	

Πίνακας 30: Μέγιστη τιμή ενεργού ύψους υποστυλώματος για λυγισμό κατά prEN 1992-1-2:2021

5.3 Διάτμηση, στρέψη και αγκύρωση

Ο EN 1992-1-2:2004 αναφέρει ότι αν ακολουθούνται οι ελάχιστες διαστάσεις που παρουσιάζονται στους Πίνακες του Κανονισμού τότε δεν απαιτείται κανένας περεταίρω έλεγχος για διάτμηση, στρέψη και αγκύρωση σε συνθήκες πυρκαγιάς. Όμως, αν για κάποιο λόγο χρησιμοποιούνται μέθοδοι υπολογισμού, θα πρέπει να συνοδεύονται από πληροφορίες δοκιμών που τυχόν έχουν γίνει. Επιπλέον, αν και η αστοχία σε διάτμηση λόγω πυρκαγιάς είναι σπάνια, ο Κανονισμός παρουσιάζει ενημερωτικά στο παράρτημα D απλοποιημένες μεθόδους υπολογισμού, οι οποίες όμως δεν είναι πλήρως επαληθευμένες.

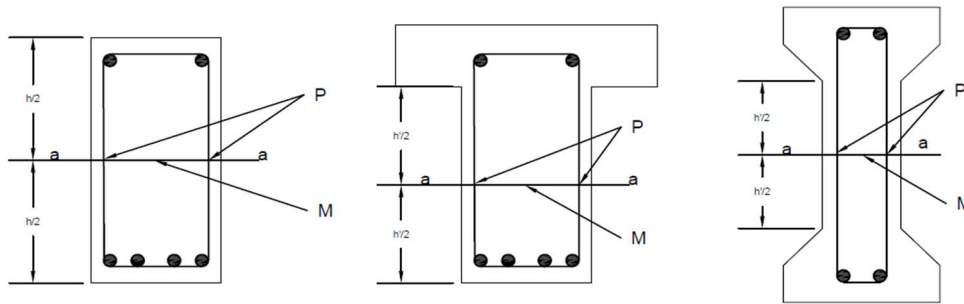
Ο prEN 1992-1-2:2021 ορίζει ότι η ικανότητα σε διάτμηση και στρέψη ενός μέλους οπλισμένου σκυροδέματος με ή χωρίς εγκάρσιο οπλισμό προσδιορίζεται με τις μεθόδους που παρουσιάζονται στον Κανονισμό prEN 1992-1-1, αλλά χρησιμοποιώντας τις απομειωμένες ιδιότητες των υλικών και την απομειωμένη διατομή του μέλους λόγω πυρκαγιάς.

5.3.1 Αντοχή σε διάτμηση μέλους που εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος κατά prEN 1992-1-2:2021

Στα προεντεταμένα μέλη και στα μέλη από σκυρόδεμα με μικρό ποσοστό ή χωρίς οπλισμό, η διάτμηση εξαρτάται από την αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό. Η διαδικασία που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αντοχής σε διάτμηση υπό υψηλές θερμοκρασίες είναι σύμφωνη με την μέθοδο του prEN 1992-1-2:2021, αλλά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εφελκυστικές τάσεις που προκαλούνται από την μη γραμμική κατανομή της θερμοκρασίας. Τέλος για την αντοχή σε διάτμηση λόγω πυρκαγιάς, η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος θα λαμβάνεται μειωμένη σύμφωνα με τον prEN 1992-1-2:2021, όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.1.4.

5.3.2 Αντοχή σε διάτμηση και διάτρηση μέλους με οπλισμό διάτμησης κατά prEN 1992-1-2:2021

Η αντοχή σε διάτμηση σε συνθήκες πυρκαγιάς για μέλη με εγκάρσιο οπλισμό γίνεται σύμφωνα με τον prEN 1992-1-1, αλλά με μειωμένες ιδιότητες υλικών και απομειωμένη διατομή. Οι διαστάσεις της απομειωμένης διατομής υπολογίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 5.2.1 του παρόντος, δηλαδή σύμφωνα με τον prEN 1992-1-2:2021. Οι μειωμένες ιδιότητες των υλικών υπολογίζονται επίσης σύμφωνα με τον prEN 1992-1-2:2021 για τα σημεία M και P (Εικόνα 37).



Εικόνα 37: Σημεία αναφοράς M και P για τον υπολογισμό της αντοχής σε διάτμηση κατά prEN 1992-1-2:2021

Συγκεκριμένα, απαιτείται η μειωμένη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος $f_{c,\theta} = f_{c,\theta}(\theta_M)$, όπου θ_M είναι η θερμοκρασία στο σημείο M, και η μειωμένη αντοχή σχεδιασμού του χάλυβα οπλισμού $f_{sd,\theta} = f_{sy,\theta}(\theta_P)$, όπου η θερμοκρασία θ_P είναι η θερμοκρασία στο σημείο αναφοράς P.

Τέλος, στη διάτμηση, οι κάθετοι συνδετήρες λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν τέμνουν την επιφάνεια αστοχίας της απομειωμένης διατομής (κατά 8.4.2 του prEN 1992-1-1:2021), ειδάλλως αγνοούνται. Σε περίπτωση που λαμβάνονται υπόψη οι κάθετοι συνδετήρες τότε η θερμοκρασία θ_P στο σημείο αναφοράς P θα πρέπει να ελέγχεται στο σημείο τομής των κάθετων συνδετήρων και της επιφάνειας αστοχίας.

5.3.3 Αντοχή σε διάτμηση κατά EN 1992-1-2:2004

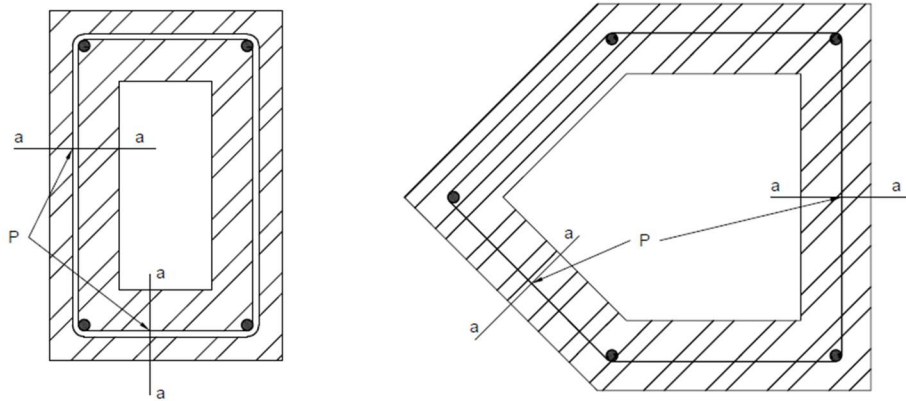
Ο EN 1992-1-2:2004, όπως αναφέρθηκε παρουσιάζει στο παράρτημά του D απλοποιημένες μεθόδους υπολογισμού για την αντοχή μελών από σκυρόδεμα σε διάτμηση και στρέψη. Η μέθοδος υπολογισμού για την διάτμηση σε συνθήκες πυρκαγιάς είναι η ίδια με αυτή που ο prEN 1992-1-2:2021 έχει εντάξει στον Κανονισμό του, δηλαδή η αντοχή σε διάτμηση σε υψηλές θερμοκρασίες προσδιορίζεται με την ίδια μέθοδο με την διάτμηση σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι, από την μία πλευρά, η διαδικασία του EN 1992-1-2:2004 είναι μια μέθοδος, όπου δεν είναι επαληθευμένη πλήρως την περίοδο δημιουργίας του Κανονισμού, και για αυτό τον λόγο αποτελεί πληροφοριακό περιεχόμενο του, σε αντίθεση με τον prEN 1992-1-2:2021, όπου η μέθοδος αποτελεί κανονιστικό μέρος του ίδιου του Κανονισμού.

Από πρακτικής άποψης οι διαφορές που παρατηρούνται είναι οι εξής: η απομειωμένη διατομή υπολογίζεται με οποιαδήποτε μέθοδο του παραρτήματος B του EN 1992-1-2:2004, επειδή δεν προσφέρει συγκεκριμένες λύσεις στο κύριο μέρος και οι μειωμένες ιδιότητες των υλικών προτείνεται να υπολογίζονται σύμφωνα με την ισόθερμη των 500°C ή την μέθοδο των ζωνών.

5.3.4 Αντοχή σε στρέψη μέλους με οπλισμό διάτμησης

Από την μία πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021, αντίστοιχα με τον υπολογισμό της αντοχής σε διάτμηση μέλους από σκυρόδεμα, υπολογίζει και την αντοχή σε στρέψη μέλους με οπλισμό

διάτμησης, δηλαδή με την χρήση της μεθόδου για την στρέψη που παρουσιάζεται στον prEN 1992-1-1. Η χρήση της μεθόδου γίνεται και σε αυτήν την περίπτωση με τις διαστάσεις της απομειωμένης διατομής και τις μειωμένες αντοχές των υλικών λόγω πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα η μείωση της αντοχής του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού υπολογίζονται για την θερμοκρασία στο σημείο αναφοράς P (Εικόνα 38).



Εικόνα 38: Σημείο αναφοράς P για τον υπολογισμό της αντοχής σε στρέψη

Από την άλλη πλευρά ο EN 1992-1-2:2004, όμοια με την αντοχή σε διάτμηση, δεν απαιτεί κανέναν έλεγχο για την στρέψη σε συνθήκες πυρκαγιάς όταν οι ελάχιστες διαστάσεις που δίνει στους Πίνακες ο Κανονισμός τηρούνται στην κατασκευή. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζει στο παράρτημά του D μαζί με την μέθοδο για τον υπολογισμό της αντοχής σε διάτμηση και μέθοδο υπολογισμού της αντοχής σε στρέψη μέλους με οπλισμό διάτμησης. Η μέθοδος είναι ίδια με αυτήν του prEN 1992-1-2:2021, δηλαδή αναφέρει ότι ο υπολογισμός της στρέψης σε συνθήκες πυρκαγιάς γίνεται με την χρήση των εξισώσεων του EN 1992-1-1, αλλά με την απομειωμένη διατομή και τις μειωμένες ιδιότητες των υλικών για θερμοκρασίας στο σημείο αναφοράς P.

Τέλος η βασική διαφορά των δύο Κανονισμών είναι και σε αυτήν την περίπτωση ότι ο EN 1992-1-2:2004 παρουσιάζει μια υπολογιστική μέθοδο με ενημερωτικό χαρακτήρα, καθώς δεν είναι πλήρως επιβεβαιωμένη κατά την δημιουργία του Κανονισμού, ενώ η έκδοση του 2021 έχει εντάξει την ίδια μέθοδο στο κύριο μέρος της, αποτελεί κανόνα της και δεν έχει πληροφοριακό χαρακτήρα μόνο αλλά κανονιστικό (υποχρεωτικό).

5.3.5 Αγκύρωση

Ο EN 1992-1-2:2004 δεν κάνει καμία επιπλέον αναφορά για την αγκύρωση σε συνθήκες πυρκαγιάς εκτός από ότι: όταν οι Πίνακες του Κανονισμού και οι κανόνες τους ακολουθούνται τότε δεν χρειάζεται κανένας περαιτέρω έλεγχος αγκύρωσης.

Ο prEN 1992-1-2:2021 σε αντίθεση με τον EN 1992-1-2:2004 αναφέρει ότι αν γίνεται έλεγχος αγκύρωσης τότε το μήκος αγκύρωσης $l_{bd,fi}$ σε κατάσταση πυρκαγιάς για τον απαιτούμενο οπλισμό μπορεί να θεωρείται ίσο με το μήκος αγκύρωσης σε συνθήκες περιβάλλοντος l_{bd} , όπως

προσδιορίζεται από τον prEN 1992-1-1. Ο συντελεστής k_{1b} θα λαμβάνεται για την χαρακτηριστική τιμή του μήκους αγκύρωσης, όπου κατά τον prEN 1992-1-1 είναι ίσος με 36 αλλά μπορεί το Εθνικό Προσάρτημα να μεταβάλει αυτήν την τιμή.

Τέλος αν δεν παρέχεται ο ελάχιστος οπλισμός διάτμησης, τότε θα πρέπει να θεωρείται ότι σε κατάσταση πυρκαγιάς η συνάφεια του οπλισμού είναι «κακή» ανεξάρτητα από την πραγματική θέση του οπλισμού καθ' ύψος της διατομής.

6. Προχωρημένες μέθοδοι υπολογισμού

Οι προχωρημένες μέθοδοι υπολογισμού παρέχουν ρεαλιστικές πληροφορίες για την συμπεριφορά της κατασκευής όταν εκτίθεται σε πυρκαγιά. Η χρήση τους βασίζεται στην θεμελιώδη φυσική συμπεριφορά και χρησιμοποιούν εξισώσεις ισορροπίας, οι οποίες ικανοποιούνται τοπικά σε κάθε σημείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επίλυση να δίνει μια πλέον αξιόπιστη προσέγγιση της συμπεριφοράς του δομικού στοιχείου που αναμένεται να υπάρξει σε συνθήκες πυρκαγιάς. Τα μαθηματικά μοντέλα που γίνονται οι υπολογισμοί είναι είτε μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων είτε άλλων προηγμένων μεθόδων.

Επιπλέον κατά την χρήση προηγμένων μεθόδων υπολογισμού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πιθανές αστοχίες που οι αναλύσεις δεν καλύπτουν. Αστοχίες που είναι πιθανό να μην καλύπτουν οι μέθοδοι είναι η αποφλοίωση, ο τοπικός λυγισμός του οπλισμού, η αστοχία σε διάτμηση, αστοχία συνάφειας, αστοχία στις αγκυρώσεις, μη επαρκής στροφική ικανότητα κ.α., οι περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να εξετάζονται και να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Απαραίτητο για την χρήση των προηγμένων μεθόδων υπολογισμού είναι να περιλαμβάνονται κατά την επίλυση μοντέλα προσδιορισμού της ανάπτυξης και κατανομής της θερμοκρασίας (μοντέλο θερμικής απόκρισης) και της μηχανικής συμπεριφοράς οποιουδήποτε δομικού μέλους ή ολόκληρης της κατασκευής (μοντέλο μηχανικής απόκρισης).

Τέλος όλες οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε διατομή και είναι δυνατόν να γίνεται χρήση οποιασδήποτε θερμικής καμπύλης, με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστές οι ιδιότητες των υλικών για το αντίστοιχο εύρος θερμοκρασίας και ρυθμό θέρμανσης.

Καταλήγοντας, όλοι οι παραπάνω κανόνες που αναφέρθηκαν και αφορούν τις προχωρημένες μεθόδους υπολογισμού ισχύουν και στους δύο Κανονισμούς ακριβώς ίδιοι. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο prEN 1992-1-2:2021, σε αντίθεση με τον EN 1992-1-2:2004, προτείνει οι προχωρημένες μέθοδοι να χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη των τάσεων, των παραμορφώσεων και της θερμοκρασίας.

6.1 Θερμική ανάλυση

Η θερμική ανάλυση στις προχωρημένες μεθόδους υπολογισμού βασίζεται στις αρχές και τις παραδοχές της θεωρίας μεταφοράς θερμότητας. Το προσομοίωμα θερμικής απόκρισης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις θερμικές δράσεις όπως αυτές ορίζονται από τον αντίστοιχο Κανονισμό (EN 1991-1-2 ή prEN 1991-1-2) και τις θερμικές ιδιότητες των υλικών λόγω υψηλών θερμοκρασιών υπό συνθήκες πυρκαγιάς από τον ανάλογο Κανονισμό (EN 1992-1-2 ή prEN 1992-1-2). Επιπλέον οι επιπτώσεις της ανομοιομόρφης θερμικής έκθεσης, καθώς και η μεταφορά θερμότητας σε διπλανά δομικά μέλη μπορεί να περιλαμβάνονται στην ανάλυση μόνο όπου χρειάζεται, ενώ η επιρροή της υγρασίας και η μεταφορά της ανάμεσα στα υλικά μπορεί να παραλείπεται.

Οι παραπάνω κανόνες ισχύουν για τους δύο Κανονισμούς (EN 1992-1-2:2004 και prEN 1992-1-2:2021) ακριβώς ίδιοι. Επιπρόσθετα τον παραπάνω, ο EN 1992-1-2:2004 επιτρέπει το θερμοκρασιακό προφίλ των στοιχείων από ΟΣ να εκτιμάται αγνοώντας την παρουσία του σπλισμού στα στοιχεία, ενώ αντίστοιχα ο prEN 1992-1-2:2021 επιτρέπει να αγνοείται ο σπλισμός όταν η διάμετρος της ράβδου σπλισμού είναι μικρότερη από 50mm, ειδάλως θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον προσδιορισμό του θερμοκρασιακού προφίλ.

6.2 Μηχανική ανάλυση

Η μηχανική ανάλυση στις προηγμένες μεθόδους υπολογισμού βασίζεται στις αρχές και παραδοχές της μηχανικής.

Σύμφωνα με τον EN 1992-1-2:2004, το μοντέλο θερμικής απόκρισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών λόγω υψηλών θερμοκρασιών υπό συνθήκες πυρκαγιάς. Οι επιπτώσεις των θερμικών παραμορφώσεων και τάσεων λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, καθώς και οι διαφορές θερμοκρασίας θα πρέπει επίσης να συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση. Επιπλέον πρέπει να διασφαλίζεται η συμβατότητα παραμορφώσεων των μερών της κατασκευής, για αυτό το λόγο οι παραμορφώσεις στην τελική οριακή κατάσταση που προσδιορίζονται από την μέθοδο ανάλυσης θα πρέπει να περιορίζονται ώστε να αποφεύγεται η απώλεια στήριξης σε κάποιο μέλος της κατασκευής.

Σε μερικές περιπτώσεις, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο θερμικής απόκρισης τα μη γραμμικά γεωμετρικά φαινόμενα. Η συνολική παραμόρφωση ε μπορεί να προσδιορίζεται ως το άθροισμα της θερμικής παραμόρφωσης ε_{th} , της ερπυστικής παραμόρφωσης ε_{creep} , της παραμόρφωσης στην μεταβατική κατάσταση ε_{tr} και της στιγμιαίας παραμόρφωσης που εξαρτάται από την τάση ε_{σ} , δηλαδή $\varepsilon = \varepsilon_{th} + \varepsilon_{creep} + \varepsilon_{tr} + \varepsilon_{\sigma}$.

Η φέρουσα ικανότητα μεμονωμένων μελών ή ολόκληρης της κατασκευής σε συνθήκες πυρκαγιάς μπορεί να προσδιορίζεται με τη χρήση πλαστικών μεθόδων ανάλυσης. Η ικανότητα πλαστικής στρώσης του μέλους ΟΣ προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις τελικές αυξημένες παραμορφώσεις σκυροδέματος και χάλυβα σπλισμού (ε_{cu} και ε_{su}) στη θερμή κατάσταση. Η τελική παραμόρφωση του σκυροδέματος ε_{cu} επηρεάζεται και από τον σπλισμό ενίσχυσης που παρέχεται.

Επίσης η θλιβόμενη ζώνη του μέλους, ειδικά αν εκτίθεται κατευθείαν στην πυρκαγιά, θα πρέπει να εξετάζεται λεπτομερώς με ιδιαίτερη αναφορά στην θραύση και αποφλοιώση του σκυροδέματος. Όταν γίνεται ανάλυση μεμονωμένων μελών ή εξετάζεται μέρος της κατασκευής θα πρέπει να γίνεται λεπτομερής έλεγχος για να αποφευχθεί αστοχία λόγω ακατάλληλης στήριξης στα μέλη.

Όλοι οι παραπάνω κανόνες, που ισχύουν για τον EN 1992-1-2:2004, έχουν μεταφερθεί και στον Κανονισμό prEN 1992-1-2:2021. Επιπρόσθετα των ανωτέρω, ο Κανονισμός του 2021 αναφέρει

ότι το μηχανικό προσομοίωμα απόκρισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα μη γραμμικά γεωμετρικά φαινόμενα, όπως και ο EN 1992-1-2:2004, τις γεωμετρικές ατέλειες και τη μη γραμμική συμπεριφορά των υλικών, συμπεριλαμβάνοντας τις επιπτώσεις στη δυσκαμψία των δομικών στοιχείων από την φόρτιση και αποφόρτισή τους. Τέλος όταν γίνεται ανάλυση μεμονωμένων μελών, τα οποία υποβάλλονται σε αξονικό κεντρικό θλιπτικό φορτίο, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μία αρχική ημιτονοειδής ατέλεια σχήματος με μέγιστη τιμή στο μέσο μήκος $l/1000$, όπου l είναι το συνολικό μήκος του μέλους, πλην όπου αυτή προσδιορίζεται με διαφορετικό τρόπο. Όταν τα ίδια μέλη υποβάλλονται σε έκκεντρο φορτίο, τότε η ατέλεια μπορεί να αγνοείται κατά την ανάλυση.

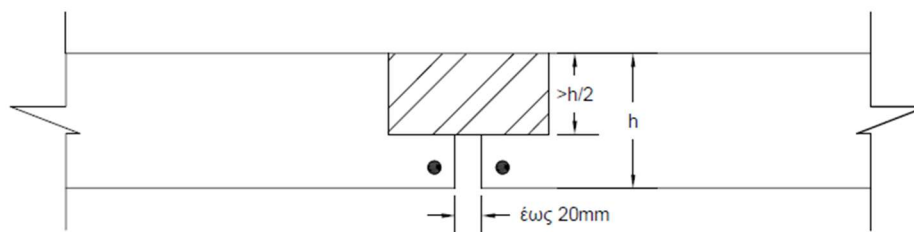
6.3 Επαλήθευση προηγμένων μεθόδων υπολογισμού

Οι δύο Κανονισμοί επίσης απαιτούν τα αποτελέσματα των προχωρημένων μεθόδων υπολογισμού να επαληθεύονται από σχετικές δοκιμές. Τα αποτελέσματα των μεθόδων μπορούν να αναφέρονται σε παραμορφώσεις, θερμοκρασίες και σε χρόνο αντοχής σε φωτιά, ενώ μπορούν να ελέγχονται και κρίσιμες παράμετροι, όπως το μήκος λυγισμού και το μέγεθος των στοιχείων. Τέλος οι κρίσιμες παράμετροι πρέπει να ελέγχονται ώστε να διασφαλίζεται ότι οι αρχές μηχανικής ακολουθούνται στο εξεταζόμενο μοντέλο.

7. Στηρίξεις

Η αντιμετώπιση των στηρίξεων στον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς είναι ίδια και στους δύο Κανονισμούς. Συγκεκριμένα ο σχεδιασμός των αρμών στις στηρίξεις γίνεται εκτιμώντας την συνολική δομική συμπεριφορά της κατασκευής σε συνθήκες πυρκαγιάς. Οι αρμοί εξετάζονται λεπτομερώς ώστε να συμμορφώνονται με τα κριτήρια φέρουσας ικανότητας R , ακεραιότητας E και θερμομόνωσης I που απαιτούνται για τα συνδεόμενα δομικά μέλη και να διασφαλίζουν την σταθερότητα της συνολικής κατασκευής. Στην περίπτωση των στοιχείων των αρμών που αποτελούνται από δομικό χάλυβα, ο σχεδιασμός τους γίνεται με τον αντίστοιχο Κανονισμό, δηλαδή τον EN 1993-1-2.

Λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο της μόνωσης I , πρέπει το κενό στους αρμούς να μην υπερβαίνει τα 20mm και το βάθος του να είναι μικρότερο από το ήμισυ του μικρότερου πάχους των πραγματικών διαχωριστικών (Εικόνα 39). Όταν ακολουθούνται τα παραπάνω όρια για το κενό στους αρμούς τότε, κατά την χρήση των Πινάκων, οι ράβδοι οπλισμού στις γωνίες κοντά στο κενό δεν χρειάζεται να θεωρούνται γωνιακές ράβδοι, αλλά μπορεί να αγνοείται το ίδιο το κενό. Τέλος όταν το κενό έχει μεγαλύτερο βάθος μπορεί να χρειαστεί να προστεθεί προϊόν στεγανοποίησης, ενώ η αντίσταση σε πυρκαγιά θα πρέπει να τεκμηριώνεται με κατάλληλες δοκιμές.



Εικόνα 39: Διαστάσεις κενού στους αρμούς

8. Συστήματα πυροπροστασίας

Σύμφωνα και με τους δύο Κανονισμούς η αντίσταση σε πυρκαγιά μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την χρήση προστατευτικών επιστρώσεων. Η απόδοση του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για τα προστατευτικά στρώματα και οι ιδιότητες του θα πρέπει να αξιολογούνται με κατάλληλες δοκιμές.

Τα συστήματα πυροπροστασίας θα πρέπει να εφαρμόζονται σύμφωνα με τις οδηγίες και την μέθοδο στερέωσης του κατασκευαστή, ενώ ο prEN 1992-1-2:2021 σημειώνει ότι η δοκιμή που ορίζει ο EN 13381-3 για τον προσδιορισμό της συμβολής των συστημάτων πυροπροστασίας στην αντοχή έναντι πυρκαγιάς στα μέλη από σκυρόδεμα ισχύει για όλα τα υλικά πυροπροστασίας που χρησιμοποιούνται για μέλη από σκυρόδεμα.

9. Συνδέσεις

Οι συνδέσεις είναι ένα κεφάλαιο που αφορά μόνο τον prEN 1992-1-2:2021, αφού ο EN 1992-1-2:2004 δεν αναφέρεται καθόλου σε αυτό το κομμάτι του σχεδιασμού. Οι συνδέσεις πρέπει να σχεδιάζονται, κατασκευάζονται και να συντηρούνται, ώστε η λειτουργία τους σε κατάσταση πυρκαγιάς να συνεχίζει να ικανοποιείται. Η λεπτομέρεια του σπλισμού των συνδέσεων σε συνεχείς κατασκευές πρέπει να λαμβάνει υπόψη την αύξηση της ροπής στην στήριξη λόγω της παρεμποδιζόμενης θερμικής διαστολής. Η στροφική ικανότητα της σύνδεσης μεταξύ ακραίων υποστρωμάτων και δοκών ή πλακών δαπέδου πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις πρόσθετες δυνάμεις που προκαλούνται λόγω της θερμικής διαστολής στη φάση θέρμανσης και, αντίστοιχα, τις πιθανές εφελκύστηκες δυνάμεις που προκαλούνται κατά την φάση ψύξεως.

10. Αποφλοίωση

10.1 Εκρηκτική αποφλοίωση κατά EN 1992-1-2:2004

Η εκρηκτική αποφλοίωση γενικά θα πρέπει να αποφεύγεται ή να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της στις απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας, ακεραιότητας και μόνωσης. Το φαινόμενο της εκρηκτικής αποφλοίωσης είναι απίθανο να συμβεί όταν η περιεκτικότητα σε υγρασία του σκυροδέματος είναι μικρότερη από $k\%$ κατά βάρος. Η προτεινόμενη τιμή του συντελεστή k είναι 3, ενώ το Εθνικό Προσάρτημα μπορεί να μεταβάλει αυτήν την τιμή. Αν η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε υγρασία είναι μεγαλύτερη από $k\%$ κατά βάρος τότε πρέπει να λαμβάνεται ακριβέστερη εκτίμηση της υγρασίας, του τύπου των αδρανών, της διαπερατότητας του σκυροδέματος και του ρυθμού αύξησης της θερμότητας.

Γενικά μπορεί να θεωρηθεί ότι τα μέλη σε πυρκαγιά που σχεδιάζονται για έκθεση Χ0 και ΧC1 (κατά EN 1992-1-1) έχουν περιεκτικότητα σε υγρασία σκυροδέματος μικρότερη από $k\%$ κατά βάρος, όπου $2,5 \leq k \leq 3,0$. Επίσης η χρήση των δεδομένων των Πινάκων του Κανονισμού για κανονικά σκυροδέματα δεν απαιτεί περαιτέρω έλεγχο για αποφλοίωση. Στην περίπτωση των δοκών, πλακών και εφελκόμενων μελών, αν η περιεκτικότητα σε υγρασία του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από $k\%$ κατά βάρος τότε η επίδραση της εκρηκτικής αποφλοίωσης στην φέρουσα ικανότητα μπορεί να εκτιμάται υποθέτοντας τοπική απώλεια κάλυψης μίας ράβδου οπλισμού ή μιας δέσμης ράβδων στην διατομή και ελέγχοντας την μειωμένη φέρουσα ικανότητα του μέλους. Οι υπόλοιπες ράβδοι μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκονται σε τμήμα του μέλους που δεν έχει υποστεί αποφλοίωση, ενώ, αν ελέγχεται πειραματικά με δοκιμές ή λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα για την σωστή συμπεριφορά της κατασκευής, τότε δεν χρειάζεται να γίνεται έλεγχος για κανένα δομικό στοιχείο.

Τέλος αν ο αριθμός των ράβδων οπλισμού είναι αρκετά μεγάλος, όπως σε συμπαγείς πλάκες με ομοιόμορφο κατανεμημένο οπλισμό και σε δοκούς με πλάτος πάνω από 400mm και τουλάχιστον 8 ράβδους οπλισμού, μπορεί να θεωρηθεί ότι γίνεται μια αποδεκτή ανακατανομή των τάσεων και δεν υπάρχει απώλεια της φέρουσας ικανότητας.

10.2 Αστοχία-πτώση σκυροδέματος κατά EN 1992-1-2:2004

Η αστοχία σε πτώση του σκυροδέματος στο τελευταίο στάδιο έκθεσης του μέλους σε πυρκαγιά πρέπει να αποφεύγεται ή λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της στις απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας, ακεραιότητας και μόνωσης. Όταν η αξονική απόσταση του οπλισμού είναι μεγαλύτερη ή ίση από 70mm και δεν έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές για τον έλεγχο έναντι πτώσης του σκυροδέματος τότε πρέπει να τοποθετείται οπλισμός ενίσχυσης. Το πλέγμα του οπλισμού που θα τοποθετείται πρέπει να έχει απόσταση μέχρι 100mm και η διάμετρος να μην είναι μικρότερη από τα 4mm.

10.3 Αποφλοίωση σε σκυρόδεμα υψηλής αντοχής κατά EN 1992-1-2:2004

Η αποφλοίωση κατά EN 1992-1-2:2004 για σκυρόδεμα υψηλής αντοχής αντιμετωπίζεται διαφορετικά ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, για σκυροδέματα από C 55/67 έως C 80/95 όλοι οι κανόνες των παραγράφων 10.1 και 10.2 ισχύουν όταν η μέγιστη περιεκτικότητα σε πυριτική παιπάλη είναι μικρότερη από 6% κατά βάρος τσιμέντου. Σε περίπτωση που η περιεκτικότητα σε πυριτική παιπάλη είναι μεγαλύτερη από 6% κατά βάρος τσιμέντου τότε ακολουθούνται οι κανόνες που ισχύουν για σκυροδέματα C 80/95 έως C 90/105. Για μέλη από σκυρόδεμα C 80/95 έως C 90/105 η αποφλοίωση μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε κατάσταση στην οποία το σκυρόδεμα εκτίθεται άμεσα σε πυρκαγιά, για αυτό το λόγο πρέπει να ακολουθείται τουλάχιστον μία από τις παρακάτω μεθόδους.

Μέθοδος Α

Χρησιμοποιείται δομικό πλέγμα ενίσχυσης με ονομαστική κάλυψη 15mm. Το πλέγμα πρέπει να έχει σύρματα με διάμετρο μεγαλύτερη ή ίση από 2mm και ο βρόχος του να είναι μικρότερος ή ίσο με 50x50mm. Η ονομαστική επικάλυψη του κύριου οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 40mm.

Μέθοδος Β

Χρησιμοποιείται τύπος σκυροδέματος που έχει αποδειχθεί είτε με δοκιμές είτε από την εμπειρία ότι δεν παρουσιάζει αποφλοίωση σε συνθήκες πυρκαγιάς.

Μέθοδος Γ

Χρησιμοποιούνται προστατευτικά επιστρώματα για τα οποία έχει αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει αποφλοίωση του σκυροδέματος υπό συνθήκες πυρκαγιάς.

Μέθοδος Δ

Στο μείγμα του σκυροδέματος τοποθετείται τουλάχιστον 2kg/m³ μονόκλωνων ινών προπυλένιου.

Η επιλογή της μεθόδου γίνεται σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα κάθε χώρας. Η κάθε χώρα είναι υπεύθυνη να επιλέξει ποια ή ποιες από τις μεθόδους θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την χρήση του Κανονισμού.

10.4 Αποφλοίωση κατά prEN 1992-1-2:2021

Ο prEN 1992-1-2:2021 παρουσιάζει τους κανόνες αποφλοίωσης που πρέπει να ακολουθούνται, οι οποίοι σε μερικά σημεία είναι ίδιοι και σε μερικά σημεία διαφέρουν σε σχέση με τους αντίστοιχους κανόνες του EN 1992-1-2:2004. Ο EN 1992-1-2:2004 χωρίζει το σκυρόδεμα σε τρεις κατηγορίας:

- σκυρόδεμα κατηγορίας μικρότερη από C 55/67,
- σκυροδέματα κατηγορίας από C 55/67 έως C 80/95 και
- σκυροδέματα κατηγορίας από C 80/95 έως C 90/105,

Ο prEN 1992-1-2:2021 χωρίζει το σκυρόδεμα σε δύο κατηγορίας σκυροδέματα με χαρακτηριστική αντοχή μικρότερη από 70MPa και σε σκυροδέματα χαρακτηριστικής αντοχής μεγαλύτερης ή ίσης με 70MPa.

Αρχικά σε περίπτωση που εξετάζεται πυρκαγιά 15 λεπτών (απαίτηση απόδοσης R15) τότε ο έλεγχος για αποφλοίωση μπορεί να παραλείπεται εκτός και αν αφορά απομονωμένο μέλος με πάχος κορμού μικρότερο από 80mm και χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος $f_{ck} \geq 70MPa$.

Δεύτερον, σε σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή, σε κατασκευές που βρίσκονται σε περιβάλλον κορεσμένο με νερό και σε κατασκευές με μόνιμο μονωτικό ξυλότυπο που εμποδίζει το σκυρόδεμα να στεγνώσει, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία πρέπει να ακολουθείται μία από της παρακάτω μεθόδους ελέγχου της αποφλοίωσης ή να χρησιμοποιούνται ίνες πολυπροπυλενίου στο μείγμα σκυροδέματος.

Τρίτον κατά την χρήση των Πινάκων του Κανονισμού αν πρόκειται για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή f_{ck} μικρότερη από 70MPa και με μέγιστη περιεκτικότητα σε πυριτική παιπάλη να είναι μικρότερη από 6% κατά βάρος τσιμέντου και δεν αντιστοιχεί σε κατασκευή που ανήκει σε μία από τις περιπτώσεις τις προηγούμενης παραγράφου, τότε ο έλεγχος σε αποφλοίωση μπορεί να αγνοείται. Ο λόγος που με την χρήση των Πινάκων μπορεί να αγνοείται ο έλεγχος της αποφλοίωσης είναι ότι οι Πίνακες έχουν αναπτυχθεί βασιζόμενοι σε δοκιμές πυρκαγιάς και σε υπολογισμούς έναντι δοκιμών πυραντίστασης φυσικής κλίμακας, επομένως ο έλεγχος της αποφλοίωσης περιλαμβάνεται στις δοκιμές που έχουν γίνει. Κατά τη χρήση των απλοποιημένων μεθόδων ή των προηγμένων μεθόδων υπολογισμού ο έλεγχος σε αποφλοίωση μπορεί να παραλείπεται όταν, όμοια με την χρήση των Πινάκων, η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος f_{ck} είναι μικρότερη από 70MPa, με μέγιστη περιεκτικότητα σε πυριτική παιπάλη μικρότερη από 6% κατά βάρος τσιμέντου και δεν πρόκειται για κατασκευή που αντιστοιχεί σε μία από τις περιπτώσεις τις προηγούμενης παραγράφου.

Επίσης κατά την χρήση των προηγμένων ή απλοποιημένων μεθόδων υπολογισμού ο έλεγχος σε αποφλοίωση δεν μπορεί να παραλείπεται για μεμονωμένα μέλη που εκτίθενται σε πυρκαγιά σε τρεις πλευρές τους και οι ελάχιστες διαστάσεις του Πίνακα 31 δεν ακολουθούνται. Σε όλες τις περιπτώσεις που ο έλεγχος της αποφλοίωσης δεν μπορεί να παραληφθεί, τότε πρέπει να ακολουθούνται μία από τις μεθόδους που παρουσιάζονται παρακάτω ή να χρησιμοποιούνται ίνες πολυπροπυλενίου στη σύνθεση σκυροδέματος.

Πρότυπη Αντοχή σε πυρκαγιά	Ελάχιστο πάχος ιστού $b_{w,min}$ (mm)	Ελάχιστο πάχος κορμού $b_{w,min}$ για απόσταση 2h από την ενδιάμεση στήριξη σε συνεχή απομονωμένα μέλη
R30	80	80
R≥60	100	120

Πίνακας 31: Ελάχιστες διαστάσεις ιστού απομονωμένων μελών κάτω από τις οποίες απαιτείται ειδική αξιολόγηση για την αποφλοίωση

Τέταρτον, για μέλη σκυροδέματος με χαρακτηριστική αντοχή μεγαλύτερη ή ίση από 70MPa ή για περιεκτικότητα σε πυριτική παιπάλη υψηλότερη από 6% τότε πρέπει να ακολουθούνται μία από τις παρακάτω μεθόδους ή να χρησιμοποιούνται ίνες πολυπροπυλενίου στο μείγμα σκυροδέματος.

Τέλος οι μέθοδοι του Κανονισμού για την αποφυγή της αποφλοίωσης είναι:

- I. Χρήση προστατευτικών στρωμάτων για τον περιορισμό της αποφλοίωσης, όπως και στον EN 1992-1-2:2004
- II. Η επίδραση της αποφλοίωσης στην φέρουσα ικανότητα, ακεραιότητα και μόνωση μπορεί να αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη την απώλεια αντοχής του μέλους. Η απώλεια αντοχής μπορεί να εκτιμάται με χρήση απομειωμένης διατομής, όπου η αποφλοιωμένη στρώση σκυροδέματος αγνοείται στους υπολογισμούς. Η αποφλοιωμένη στρώση θα προσδιορίζεται από πειραματικές διαδικασίες, όπως αυτές τις μεθόδου III.
- III. Αν απαιτούνται πειραματικές δοκιμές για την αξιολόγηση της αποφλοίωσης τότε θα πρέπει οι δοκιμές αυτές να αντιπροσωπεύουν το πραγματικό δομικό μέλος ως προς την περιεκτικότητα σε υγρασία, τις τάσεις και τη γεωμετρία.
- IV. Υπάρχει η επιλογή για την αποφυγή σοβαρής αποφλοίωσης να χρησιμοποιηθούν ίνες από πολυπροπυλένιο στο μείγμα σκυροδέματος. Στο μείγμα σκυροδέματος τοποθετείται ελάχιστη περιεκτικότητα k_{pp} μονόκλωνων ινών με διάμετρο μικρότερη ή ίση από 50μm. Ο Κανονισμός προτείνει η τιμή του k_{pp} να είναι 2kg/m³, όπως και ο EN 1992-1-2:2004 για την χρήση μονόκλωνων ινών προπυλενίου, αλλά επιτρέπει την αλλαγή της τιμής αυτής στο Εθνικό Προσάρτημα της κάθε χώρας.

11. Σκυροδέματα υψηλής αντοχής

Ο EN 1992-1-2:2004 παρουσιάζει ένα ολόκληρο κεφάλαιο με επιπλέον κανόνες, οδηγίες και πληροφορίες για τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής, σε αντίθεση με τον prEN 1992-1-2:2021 όπου όλος ο Κανονισμός αφορά όλα τα σκυροδέματα για τα οποία ισχύει με τυχόν εξαιρέσεις ή ειδική μεταχείριση που απαιτείται να αναφέρεται στην κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Το κεφάλαιο του EN 1992-1-2:2004 προσφέρει πρόσθετους κανόνες για τη χρήση σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής. Αρχικά η μείωση της αντοχής του σκυροδέματος λόγω αυξημένων θερμοκρασιών υπολογίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 32, ενώ επιτρέπεται η χρήση διαφορετικών τιμών και διαφορετικού διαχωρισμού σε κατηγορίες σκυροδέματος σύμφωνα από το εθνικό προσάρτημα. Ο Κανονισμός στον πίνακά του διαχωρίζει τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής σε τρεις κλάσεις, όμως οι τιμές που παρουσιάζει βασίζονται σε περιορισμένες δοκιμές που έχουν γίνει. Η κλάση 1 αφορά σκυροδέματα C 55/67 και C 60/75, η κλάση 2 αφορά σκυροδέματα C 70/85 και C 80/95 και η κλάση 3 σκυροδέματα C 90/105.

Θερμοκρασία σκυροδέματος θ°C	f _{c,θ} /f _{ck}		
	Κλάση 1	Κλάση 2	Κλάση 3
20	1	1	1
50	1	1	1
100	0,9	0,75	0,75
200	0,7		
250	0,9		
300	0,85	0,65	
400	0,75	0,75	0,45
500	0,3		
600	0,25		
700			
800	0,15	0,15	0,15
900	0,08	0,08	
1000	0,04	0,04	
1100	0,01	0,01	
1200	0	0	0

Πίνακας 32: Μείωση της αντοχής σε μειωμένες θερμοκρασίες για σκυροδέματα υψηλής αντοχής κατά EN 1992-1-2:2004

Οι θερμικές ιδιότητες των σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής προκύπτουν σύμφωνα με τους ίδιους κανόνες που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3 για τα κανονικά σκυροδέματα.

Επιπλέον τα δομικά στοιχεία από σκυροδέματα υψηλής αντοχής θα πρέπει να σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα να συμβεί αποφλοίωση. Οι κανόνες που δίνει ο EN 1992-1-2:2004 για την αποφλοίωση σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής και παρουσιάστηκαν στην

παράγραφο 10.3 αποτελούν μέρος του Κανονισμού στο κεφάλαιο σχετικά με τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής.

Ο Κανονισμός EN 1992-1-2:2004 παρέχει οδηγίες για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας και τη χρήση των Πινάκων και των απλοποιημένων μεθόδων και όταν πρόκειται για μέλη από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής. Συγκεκριμένα η φέρουσα ικανότητα σε συνθήκες πυρκαγιάς πρέπει να προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση της αντοχής του υλικού λόγω αυξημένων θερμοκρασιών, τις επιπτώσεις των εσωτερικών μεγεθών αντίστασης λόγω θερμικής διαστολής, την θερμική έκθεση και τα φαινόμενα δευτέρας τάξης. Ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας μπορεί να γίνει είτε με χρήση απλοποιημένων μεθόδων υπολογισμού για δοκούς, πλάκες, υποστυλώματα και τοιχία είτε με αναλυτική συνολική ανάλυση. Η επίλυση της κατασκευής πρέπει να βασίζεται σε επιβεβαιωμένα δεδομένα.

Οι απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού που παρέχει ο Κανονισμός στο Παράρτημα Β μπορούν να χρησιμοποιούνται και σε κατασκευές από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής.

Ο προσδιορισμός της φέρουσας ικανότητας υποστυλωμάτων και τοιχίων από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής μπορεί να γίνεται με χρήση των μεθόδων στο Παράρτημα Β του Κανονισμού. Αρχικά πρέπει να υπολογίζεται η απομειωμένη διατομή του μέλους λόγω αυξημένων θερμοκρασιών σύμφωνα με οποιαδήποτε μέθοδο του Παραρτήματος. Όμως η απομειωμένη διατομή που θα υπολογιστεί πρέπει να λαμβάνει υπόψη της και τα φαινόμενα δευτέρας τάξης. Τελικά για την απομειωμένη ενεργό διατομή προσδιορίζεται το μειωμένο πάχος σκυροδέματος από το βάθος της ισόθερμης των 500°C, a_{500} , και προσαυξάνεται σύμφωνα με τον συντελεστή k . Δηλαδή:

$$a_z = k a_{500}.$$

Ο συντελεστής k επιτρέπει την μετατροπή από το βάθος της ισόθερμης των 500°C σε 460°C για την κλάση σκυροδέματος 1 και την μετατροπή από το βάθος της ισόθερμης των 500°C σε 400°C για την κλάση σκυροδέματος υψηλής αντοχής 2. Οι τιμές του συντελεστή k προσδιορίζονται από το Εθνικό προσάρτημα, αλλά οι προτεινόμενες τιμές του Κανονισμού είναι 1,1 για σκυροδέματα κλάσης 1 και 1,3 για σκυροδέματα κλάσης 2. Αν το σκυρόδεμα είναι κλάσης 3 τότε συνιστάται να χρησιμοποιούνται πιο ακριβείς μέθοδοι για την ανάλυση. Η ροπή αντοχής για διατομές που υπόκεινται σε κάμψη και αξονική θα υπολογίζονται επίσης σύμφωνα με το Παράρτημα Β του Κανονισμού.

Για δοκούς και πλάκες σε συνθήκες πυρκαγιάς, υπολογίζεται η ροπή αντοχής τους χρησιμοποιώντας τις μεθόδους που δίνονται, αλλά χρησιμοποιώντας την ενεργή διατομή του μέλους. Η ενεργή διατομή του μέλους υπολογίζεται σύμφωνα με τις μεθόδους του Παραρτήματος Β του Κανονισμού EN 1992-1-2:2004 για τον προσδιορισμό της απομειωμένης διατομής.

Επιπλέον της απομειωμένης διατομής η ροπή αντοχής μειώνεται επιπλέον σύμφωνα με τον συντελεστή k_m . Δηλαδή η τελική ροπή σχεδιασμού έναντι πυρκαγιάς $M_{d,fi}$ θα είναι:

$$M_{d,fi} = M_{500}k_m$$

όπου

M_{500} είναι η ροπή που προκύπτει για την ενεργό διατομή προσδιορισμένη με την μέθοδο της ισόθερμης των 500°C

k_m είναι ο μειωτικός συντελεστής, ο οποίος προκύπτει από τον Πίνακα 33.

Οι τιμές του Πίνακα 33 είναι οι προτεινόμενες τιμές του Κανονισμού και μπορούν αυτές να μεταβάλλονται με το Εθνικό Προσάρτημα. Ακόμη ο συντελεστής k_m εξαρτάται από τον συντελεστή μείωσης της αντοχής του σκυροδέματος (Πίνακα 32), ενώ για σκυροδέματα κλάσης 3 προτείνεται να χρησιμοποιούνται ακριβέστερες μέθοδοι ανάλυσης.

	k_m	
	Τάξη 1	Τάξη 2
Δοκοί	0,98	0,95
Πλάκες εκτιθέμενες σε πυρκαγιά στην θλιβόμενη ζώνη	0,98	0,95
Πλάκες εκτιθέμενες σε πυρκαγιά στην εφελκυστική πλευρά με $h_1 \geq 120\text{mm}$	0,98	0,95
Πλάκες εκτιθέμενες σε πυρκαγιά στην εφελκυστική πλευρά με $h_1 = 50\text{mm}$	0,95	0,85
h_1 είναι το πάχος της πλάκας σκυροδέματος		

Πίνακας 33: Συντελεστής k_m για την ροπή αντοχής σε δοκούς και πλάκες

Για πλάκες σκυροδέματος πάχους 50 έως 120mm με την φωτιά να εκτίθεται στην εφελκυστική πλευρά η τιμή του συντελεστή μπορεί να προκύπτει από γραμμική παρεμβολή των τιμών του Πίνακα 33.

Τέλος οι Πίνακες του Κανονισμού μπορούν να χρησιμοποιούνται και στην περίπτωση των σκυροδεμάτων υψηλής αντοχής με την προϋπόθεση ότι η μικρότερη διάσταση της διατομής θα πρέπει να προσαυξάνεται κατά:

- $(k-1)a$ για τοίχους και πλάκες που μία πλευρά εκτίθεται σε πυρκαγιά
- $2(k-1)a$ για όλα τα άλλα δομικά μέλη και η απόσταση a συνυπολογίζεται με τον συντελεστή k

όπου k είναι ο συντελεστής που παρουσιάστηκε παραπάνω και a η απαιτούμενη απόσταση μεταξύ αξόνων, όπως η ίδια έχει ήδη οριστεί στο κεφάλαιο των Πινάκων .

12. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι ο prEN 1992-1-2:2021 αποτελεί μια αναπυγμένη έκδοση του EN 1992-1-2:2004, δηλαδή έχοντας ως βάση τις πληροφορίες και τους κανόνες του EN 1992-1-2:2004 και λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα της επιστήμης έχει προσθέσει επιπλέον στοιχεία και αναπτύξει τα ήδη υπάρχοντα στον σχεδιασμό κατασκευών έναντι πυρκαγιάς.

Αρχικά έχει διευρύνει το εύρος χρήσης του Κανονισμού. Ο Κανονισμός του 2021 ισχύει για σκυροδέματα μέχρι κατηγορία C 100/115 και ελαφροσκυροδέματα μέχρι κατηγορία LC 50/60, ενώ η έκδοση του 2004 ισχύει μέχρι για σκυροδέματα C 90/105 και για ελαφροσκυροδέματα LC 55/60.

Στη συνέχεια οι ιδιότητες των υλικών για τους δύο Κανονισμούς έχουν παραμείνει γενικά ίδιες και δεν έχουν αλλάξει. Μία αισθητή διαφορά όσον αφορά τις ιδιότητες των υλικών είναι ότι η έκδοση του έτους 2004 του Κανονισμού δεν αναφέρεται καθόλου στις ιδιότητες των ελαφροσκυροδεμάτων, σε αντίθεση με τον prEN 1992-1-2:2021 όπου έχει εντάξει και τον υπολογισμό των ιδιοτήτων των ελαφροσκυροδεμάτων στον Κανονισμό. Ακόμη όσον αφορά τις ιδιότητες των υλικών αισθητή είναι και η διαφορά ότι από την μια πλευρά ο EN 1992-1-2:2004 διαχωρίζει το σκυρόδεμα σε κανονικά σκυροδέματα και σκυροδέματα κλάσεων 1, 2 και 3 για τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής. Από την άλλη πλευρά ο prEN 1992-1-2:2021 διαχωρίζει το σκυρόδεμα σε δύο πιο απλές κατηγορίες, μία κατηγορία τα σκυροδέματα με χαρακτηριστική αντοχή μικρότερη από 70MPa και μία άλλη κατηγορία τα σκυροδέματα με μεγαλύτερη ή ίση με 70MPa χαρακτηριστική αντοχή.

Όσον αφορά τη χρήση των Πινάκων, αν και υπάρχουν κάποιες αλλαγές είτε σε αριθμητικά δεδομένα είτε σε κάποιους κανόνες που μπορεί να άλλαξαν από τον ένα Κανονισμό στον άλλον, η μέθοδος που χρησιμοποιείται στον prEN 1992-1-2:2021 είναι γενικά παρόμοια με αυτήν του EN 1992-1-2:2004.

Έπειτα έγινε αναφορά στις απλοποιημένες μεθόδους υπολογισμού. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο είναι αυτό που έχει υποστεί τις μεγαλύτερες αλλαγές. Αρχικά έχει αλλάξει ο τρόπος υπολογισμού των θερμοκρασιακών προφίλ. Ο EN 1992-1-2:2004 υπολογίζει το θερμοκρασιακό προφίλ ενός μέλους σύμφωνα με διαγράμματα που δίνονται για συγκεκριμένες διατομές στο Παράρτημά του A, ενώ ο prEN 1992-1-2:2021 παρουσιάζει εξισώσεις στο κύριο μέρος του για τον προσδιορισμό του θερμοκρασιακού προφίλ κατά περίπτωση. Στη συνέχεια ο EN 1992-1-2:2004 δεν παρουσιάζει στο κύριο μέρος του κανέναν τρόπο υπολογισμού της απομειωμένης διατομής και τρόπο αντιμετώπισης μελών που υπόκεινται σε καθαρή κάμψη ή κάμψη και αξονικό φορτίο, αλλά μέσω των Παραρτημάτων του παρουσιάζει διάφορους τρόπους υπολογισμού και αντιμετώπισης της απομειωμένης διατομής, της κάμψης και του αξονικού φορτίου, οι οποίοι όμως έχουν μορφή πληροφοριακού χαρακτήρα. Αντίθετα ο prEN 1992-1-2:2021 προσφέρει σαφείς οδηγίες και

τρόπους αντιμετώπισης των παραπάνω προβλημάτων, οι οποίοι όμως αξίζει να σημειωθεί ότι ο κορμός τους αποτελεί μέρος των μεθόδων υπολογισμού που παρουσιάζει ο EN 1992-1-2:2004 στα Παραρτήματα του. Τέλος μία ακόμη εμφανής διαφορά των δύο Κανονισμών είναι οι Πίνακες που αφορούν τον λυγισμό, οι οποίοι έχουν αλλάξει εντελώς τρόπο παρουσίασης των δεδομένων τους. Η έκδοση του 2004 χωρίζει τους Πίνακες ανάλογα με την εκκεντρότητα του φορτίου και το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σπλισμού ω , ενώ ο Κανονισμός του 2021 διαχωρίζει τους Πίνακες κατά την αντίσταση σε πυρκαγιά που απαιτείται.

Οι προχωρημένες μέθοδοι υπολογισμού και των δύο Κανονισμών ακολουθούν περίπου την ίδια διαδικασία και τους ίδιους κανόνες, όπως και ο έλεγχος των στηρίξεων σε συνθήκες πυρκαγιάς. Ο prEN 1992-1-2:2021, σε αντίθεση με τον EN 1992-1-2:2004, έχει προσθέσει επιπλέον του τρόπου αντιμετώπισης των στηρίξεων και τις απαραίτητες πληροφορίες για τον έλεγχο των συνδέσεων και αρμών έναντι πυρκαγιάς.

Τέλος ο έλεγχος της αποφλοίωσης έχει αλλάξει από την μία έκδοση του Κανονισμού στην άλλη. Στον prEN 1992-1-2:2021 ο έλεγχος σε αποφλοίωση, ενώ βασίζεται στις οδηγίες του EN 1992-1-2:2004, είναι σαφής και έχει συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος και της κατασκευής, οι οποίες διαφέρουν από τον Κανονισμό του 2004 και είναι συγκεντρωμένες όλες σε ένα Κεφάλαιο. Αντίθετα, ο EN 1992-1-2:2004 παρουσιάζει πληροφορίες σχετικά με την αποφλοίωση, οι οποίες όμως όταν πρόκειται για σκυροδέματα υψηλής αντοχής δεν ισχύουν και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από διαφορετικό Κεφάλαιο του Κανονισμού.

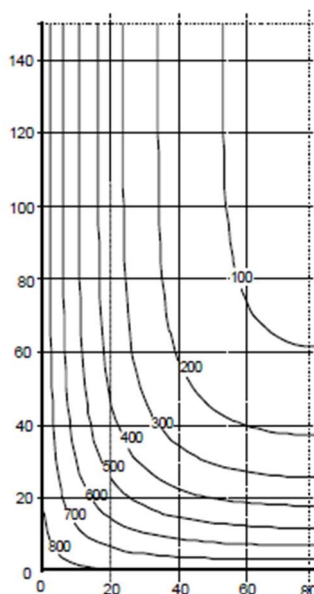
Εν κατακλείδι ο prEN 1992-1-2:2021 αποτελεί μια νεότερη έκδοση του EN 1992-1-2:2004, για την αντιμετώπιση κατασκευών έναντι πυρκαγιάς, η οποία δίνει πιο σαφείς και συγκεκριμένους τρόπους αντιμετώπισης σχεδιασμού δομικών μελών και ολόκληρων κατασκευών σε σχέση με την παλαιότερη έκδοση του έτους 2004.

13. Αριθμητικές εφαρμογές: Σύγκριση EN1992-1-1 και prEN 1992-1-2:2021

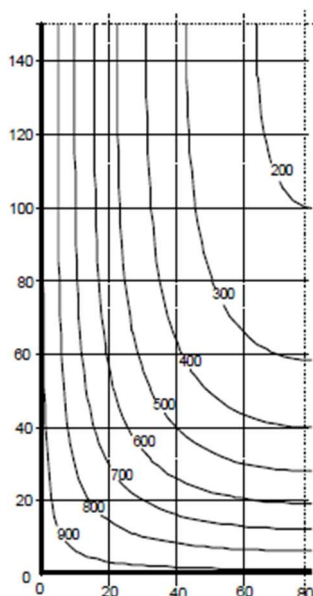
13.1 Διάχυση θερμοκρασίας σε διατομή

Με σκοπό την σύγκριση των θερμοκρασιακών καμπυλών του EN 1992-1-2:2004 και των εξισώσεων υπολογισμού του θερμοκρασιακού προφίλ του prEN 1992-1-2:2021 εξετάστηκε διατομή δοκού διαστάσεων 300x160(mm).

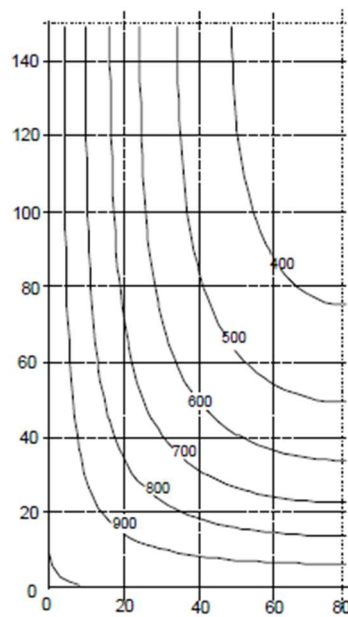
Ο EN 1992-1-2:2004 παρέχει τα διαγράμματα των εικόνων 40, 41 και 42 για διατομή δοκού διαστάσεων 300x160(mm) για πυρκαγιά διάρκειας 30, 60 και 90 λεπτών.



Εικόνα 40: Διάγραμμα θερμοκρασιακού προφίλ διατομής 300x160(mm) για πυρκαγιά διάρκειας 30min



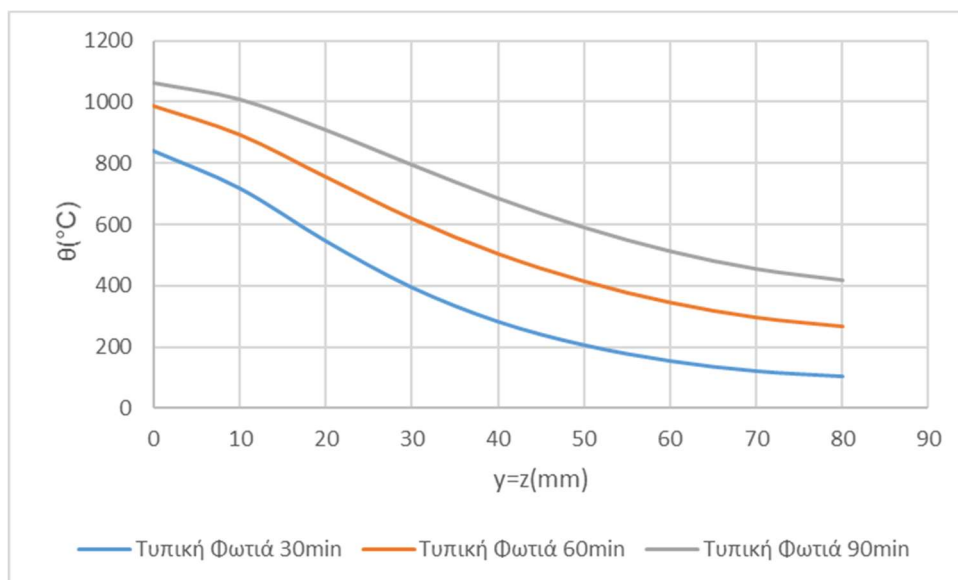
Εικόνα 41: Διάγραμμα θερμοκρασιακού προφίλ διατομής 300x160(mm) για πυρκαγιά διάρκειας 60min



Εικόνα 42: Διάγραμμα θερμοκρασιακού προφίλ διατομής 300x160(mm) για πυρκαγιά διάρκειας 90min

Στην περίπτωση του prEN 1992-1-2:2021 υπολογίστηκαν οι θερμοκρασίες για διατομή 300x160(mm), η οποία εκτίθεται σε φωτιά διάρκειας 30, 60 και 90 λεπτά και στις τέσσερις πλευρές της. Οι θερμοκρασίες υπολογίστηκαν για τα σημεία, όπου ισχύει $z=b$.

Το διάγραμμα της εικόνας 43 παρουσιάζει τα αποτελέσματα για τις τρεις διάρκειες πυρκαγιάς για τα αντίστοιχα σημεία. Επιπλέον στις εικόνες 44 και 45 παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα σημείων όπου $z=y$ για πυρκαγιά διάρκειας 60 λεπτών.



Εικόνα 43: Διάγραμμα αποτελεσμάτων σημείων διατομής όπου $z=y$ κατά prEN 1992-1-2:2021

y(mm)	y(m)	b-y(m)	$\theta_1(y)$	$\theta_1(b-y)$	θ_2
0	0	0,3	872,0323	0,157865	872,1902
10	0,01	0,29	654,3212	0,210391	654,5316
20	0,02	0,28	490,9637	0,280394	491,2441
30	0,03	0,27	368,39	0,373688	368,7637
40	0,04	0,26	276,4179	0,498025	276,916
50	0,05	0,25	207,4076	0,663732	208,0713
60	0,06	0,24	155,6263	0,884574	156,5109
70	0,07	0,23	116,7727	1,178897	117,9516
80	0,08	0,22	87,61931	1,57115	89,19046

Εικόνα 44: Αριθμητικά αποτελέσματα κατά prEN 1992-1-2:2021 για πυρκαγιά διάρκειας 60 λεπτών

z(mm)	z(m)	h-z(m)	$\theta_1(z)$	$\theta_1(h-z)$	θ_2	$\Delta\theta$	θ
0	0	0,16	872,0323	8,803738	880,8361	95,9836	988,0143
10	0,01	0,15	654,3212	11,73299	666,0542	53,99077	894,6484
20	0,02	0,14	490,9637	15,63689	506,6006	23,9959	756,456
30	0,03	0,13	368,39	20,83972	389,2297	5,998975	619,3955
40	0,04	0,12	276,4179	27,77368	304,1916	0	504,5108
50	0,05	0,11	207,4076	37,01477	244,4223	0	414,1732
60	0,06	0,1	155,6263	49,33063	204,9569	0	344,6825
70	0,07	0,09	116,7727	65,74432	182,517	0	295,7813
80	0,08	0,08	87,61931	87,61931	175,2386	0	266,5059

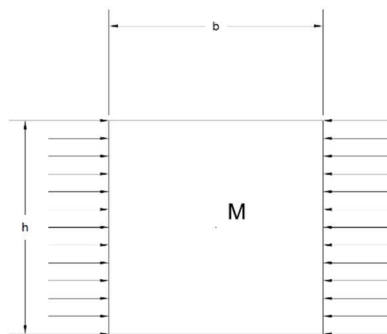
Εικόνα 45: Αριθμητικά αποτελέσματα κατά prEN 1992-1-2:2021 για πυρκαγιά διάρκειας 60 λεπτών

Εν τέλει, όταν συγκρίνονται τα αποτελέσματα του prEN 1992-1-2:2021 για τα σημεία αυτά, για πυρκαγιά διάρκειας 30, 60 και 90 λεπτά, με τα αντίστοιχα διαγράμματα του EN 1992-1-2:2004 προκύπτει ότι είναι όμοια μεταξύ τους. Επομένως οι δύο κανονισμοί δίνουν τα ίδια αποτελέσματα.

13.2 Υπολογισμός με τη μέθοδο της απομειωμένης διατομής

Με στόχο την σύγκριση της απομειωμένης διατομής σύμφωνα με τον EN 1992-1-2:2004 και τον prEN 1992-1-2:2021 δημιουργήθηκε το παρακάτω αριθμητικό παράδειγμα. Ο EN 1992-1-2:2004 υπολογίζει στο παράρτημά του την απομειωμένη διατομή σύμφωνα με την μέθοδο των ζωνών, ενώ ο prEN 1992-1-2:2021 έχει εντάξει μία απλοποιημένη σχέση υπολογισμού.

Έστω διατομή διαστάσεων $h \times b = 300 \times 300$ (mm), η οποία εκτίθεται σε πυρκαγιά σε δύο αντίθετες πλευρές, όπως φαίνεται την εικόνα 46.



Εικόνα 46: Έκθεση της διατομής σε πυρκαγιά

Παράδειγμα 1: Υπολογισμός απομειωμένης διατομής υποστυλώματος

Περίπτωση Α: Σύμφωνα με τον EN 1992-1-2:2004

Ο EN 1992-1-2:2004 υπολογίζει το πάχος της απομειωμένης διατομής σύμφωνα με την παρακάτω σχέση, ανάλογα με το είδος της διατομής.

Το πάχος a_z που θα μειωθεί η διατομή είναι:

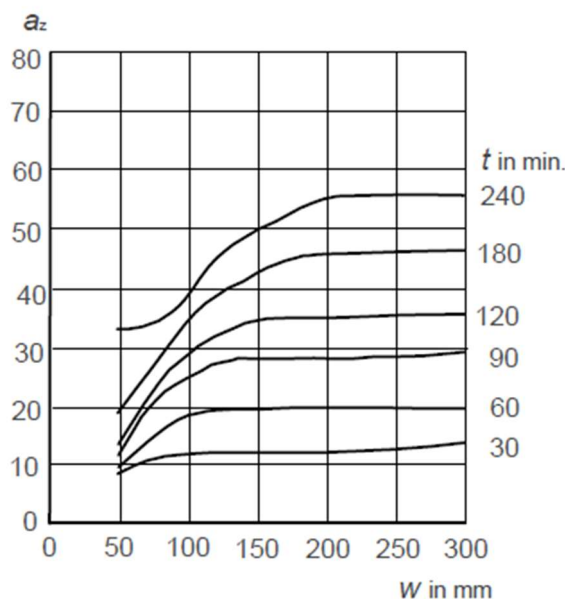
- Για πλάκες, δοκούς και μέλη με καθαρή διάτμηση

$$a_z = w \left(1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)$$

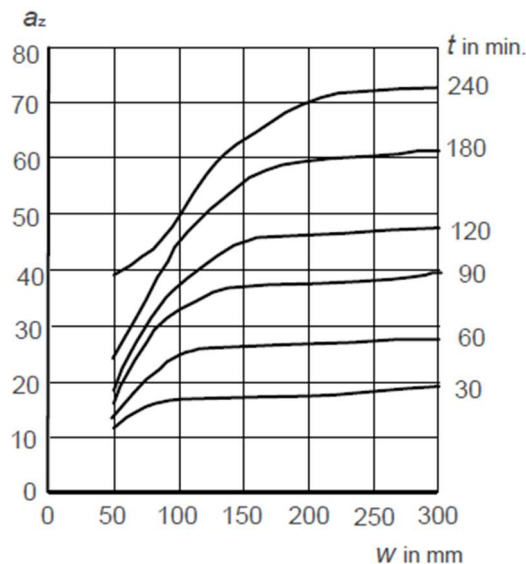
- Για υποστυλώματα, τοίχους και μέλη που λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα δευτέρας τάξης

$$a_z = w \left(1 - \frac{k_{c,m}^{1,3}}{k_c(\theta_M)} \right).$$

Ο EN 1992-1-2:2004 παρέχει σε διαγράμματα το πάχος μείωσης a_z της διατομής σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις για διατομές από πυριτικά αδρανή, ενώ για διαφορετικά είδη αδρανών τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν μία συντηρητική προσέγγιση. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες και σύμφωνα με αυτά υπολογίστηκαν τα πάχη απομείωσης για διάρκειες πυρκαγιάς 30, 60, 90, 120, 180 και 240 λεπτά.



Εικόνα 47: Πάχος απομείωσης διατομής a_z για δοκούς και πλάκες με πυριτικά αδρανή κατά EN 1992-1-2:2004



Εικόνα 48: Πάχος απομείωσης διατομής a_z για υποστυλώματα και τοίχους με πυριτικά αδρανή κατά EN 1992-1-2:2004

Δεδομένου ότι η διατομή εκτίθεται σε πυρκαγιά σε δύο αντίθετες πλευρές ο συντελεστής w είναι το ήμισυ του συνολικού πλάτους της διατομής, δηλαδή $w = 300/2 = 150\text{mm}$.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι το πάχος απομείωσης είναι:

- Για $R_{fi} = 30\text{min}$ τότε $a_z \cong 18\text{mm}$.
- Για $R_{fi} = 60\text{min}$ τότε $a_z \cong 26\text{mm}$.
- Για $R_{fi} = 90\text{min}$ τότε $a_z \cong 36\text{mm}$.
- Για $R_{fi} = 120\text{min}$ τότε $a_z \cong 45\text{mm}$.
- Για $R_{fi} = 180\text{min}$ τότε $a_z \cong 55\text{mm}$.
- Για $R_{fi} = 240\text{min}$ τότε $a_z \cong 63\text{mm}$.

Περίπτωση Β: Σύμφωνα με τον prEN 1992-1-2:2021

Ο prEN 1992-1-2:2021 υπολογίζει το πάχος a_z της απομείωσης σύμφωνα με την παρακάτω σχέση, η οποία παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

$$a_z = \begin{cases} 0,011 \sqrt{1 + \frac{R_{fi}-27}{27} \sqrt{\frac{w}{0,0125}}} & \text{για } 0,75 \leq w < 0,20 \\ 0,011 \sqrt{1 + 4 \frac{R_{fi}-2}{27}} & \text{για } w \geq 0,20 \end{cases}$$

Όμοια με τον EN 1992-1-2:2004 ο κανονισμός ορίζει τον συντελεστή w στην περίπτωση έκθεσης σε πυρκαγιά σε δύο αντίθετες πλευρές ίσο με το ήμισυ του πλάτους της διατομής, δηλαδή $w = 300/2 = 150\text{mm} = 0,15\text{m}$. Ο prEN 1992-1-2:2021 ορίζει ότι το πάχος είναι ίδιο ανεξάρτητα από το είδος της διατομής, δηλαδή αν πρόκειται για δοκό, πλάκα ή υποστυλωμα κλπ., αλλά εξαρτάται από την αντοχή του σκυροδέματος. Συγκεκριμένα αν το σκυρόδεμα έχει αντοχή $f_{ck} \geq 70\text{MPa}$ τότε οι τιμές της παραπάνω εξίσωσης προσαυξάνονται σύμφωνα με τον συντελεστή 1,5.

Άρα το πάχος απομείωσης σε κάθε πλευρά της διατομής που εκτίθεται σε πυρκαγιά είναι:

Αν $f_{ck} < 70MPa$ τότε

- Για $R_{fi} = 30min$ τότε $a_z = 12,95mm$.
- Για $R_{fi} = 60min$ τότε $a_z = 25,17mm$.
- Για $R_{fi} = 90min$ τότε $a_z = 33,15mm$.
- Για $R_{fi} = 120min$ τότε $a_z = 39,56mm$.
- Για $R_{fi} = 180min$ τότε $a_z = 49,96mm$.
- Για $R_{fi} = 240min$ τότε $a_z = 58,55mm$.

Αν $f_{ck} \geq 70MPa$ τότε

- Για $R_{fi} = 30min$ τότε $a_z = 1,15 * 12,95 = 14,89mm$.
- Για $R_{fi} = 60min$ τότε $a_z = 1,15 * 25,17 = 28,95mm$.
- Για $R_{fi} = 90min$ τότε $a_z = 1,15 * 33,15 = 38,12mm$.
- Για $R_{fi} = 120min$ τότε $a_z = 1,15 * 39,56 = 45,49mm$.
- Για $R_{fi} = 180min$ τότε $a_z = 1,15 * 49,96 = 57,45mm$.
- Για $R_{fi} = 240min$ τότε $a_z = 1,15 * 58,55 = 67,33mm$.

Παράδειγμα 2: Υπολογισμός απομειωμένης διατομής δοκού

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διατομή έχει τις ίδιες διαστάσεις με το παράδειγμα 1 τότε οι τιμές του πάχους απομείωσης κατά prEN 1992-1-2:2021 δεν μεταβάλλονται και παραμένουν ίδιες. Από την άλλη πλευρά επειδή πρόκειται για διατομή δοκού το πάχος απομείωσης της διατομής κατά EN 1992-1-2:2004 προσδιορίζεται από διαφορετικό διάγραμμα του οποίου τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

- Για $R_{fi} = 30min$ τότε $a_z \cong 13mm$.
- Για $R_{fi} = 60min$ τότε $a_z \cong 20mm$.
- Για $R_{fi} = 90min$ τότε $a_z \cong 28mm$.
- Για $R_{fi} = 120min$ τότε $a_z \cong 35mm$.
- Για $R_{fi} = 180min$ τότε $a_z \cong 43mm$.
- Για $R_{fi} = 240min$ τότε $a_z \cong 50mm$.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα προκύπτουν τελικά τα παρακάτω:

1. Στη περίπτωση υποστυλωμάτων όπου το σκυρόδεμα έχει αντοχή μικρότερη από 70MPa το πάχος απομείωσης της διατομής κατά EN 1992-1-2:2004 είναι μεγαλύτερο από αυτό του prEN 1992-1-2:2021 και εν τέλει η απομειωμένη διατομή θα είναι μικρότερη στον κανονισμό του 2004.
2. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση το πάχος απομείωσης a_z της διατομής είναι μεγαλύτερο στην έκδοση του 2021 του κανονισμού και επομένως η απομειωμένη διατομή είναι μεγαλύτερη στον κανονισμό EN 1992-1-2:2004.

14. Βιβλιογραφία

- [1] EN 1992-1-2:2004. Ευρωκώδικας 2004.
- [2] prEN 1992-1-2:2021 . Ευρωκώδικας 2022.