

ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Γενικά

Η πυροπροστασία αποτελεί ένα βασικό κριτήριο σχεδιασμού των έργων και αποσκοπεί

α) στον περιορισμό των απωλειών ζωής στο ίδιο το κτίριο που έχει συμβεί πυρκαγιά και στα γειτονικά του και

β) στον περιορισμό των βλαβών στα δομικά στοιχεία και τα περιεχόμενα του κτιρίου και των γειτονικών του.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων πρέπει να ληφθεί μια δέσμη μέτρων δομικού, τεχνικού και οργανωτικού χαρακτήρα, τα οποία θα επηρεάσουν την ικανοποίηση συγκεκριμένων κριτηρίων που θα συμφωνηθούν μεταξύ του κυρίου του έργου, της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας και του μελετητή. Πιο συγκεκριμένα απαιτείται η ανάπτυξη προληπτικών και κατασταλτικών μέτρων για την ενεργητική πυροπροστασία καθώς και μέτρων παθητικής πυροπροστασίας, συνιστώμενα σε χωρισμό του κτιρίου σε πυροδιαμερίσματα σε συνδυασμό με δομικά στοιχεία ανθεκτικά στην πυρκαγιά.

Τα προληπτικά μέτρα αφορούν την πυρανίχνευση και συνδέονται με την κατάλληλη τοποθέτηση επαρκούς αριθμού ανιχνευτών καπνού, θερμότητας ή φλογών, οι οποίοι όταν ενεργοποιηθούν θέτουν σε λειτουργία ένα σύστημα συναγερμού συνδεδεμένου με την Πυροσβεστική Υπηρεσία.

Τα κατασταλτικά μέτρα αφορούν την καταπολέμηση της πυρκαγιάς και συνδέονται με την κατάλληλη τοποθέτηση επαρκούς αριθμού καταιονιστήρων, οι οποίοι ενεργοποιούνται αυτόματα μόλις παραστεί ανάγκη. Σημειώνεται ότι τα στοιχεία του συστήματος πυρανίχνευσης και του συστήματος καταιονισμού απαιτούν επαρκή περιοδική συντήρηση σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Το σύστημα παθητικής πυροπροστασίας διαφέρει από άποψη φιλοσοφίας από το σύστημα ενεργητικής πυροπροστασίας. Έτσι, ενώ στο δεύτερο προσπαθούμε να αποφύγουμε την έναρξη μιας πυρκαγιάς, στο πρώτο δεχόμαστε την παρουσία της και προσπαθούμε να σχεδιάσουμε τα στοιχεία με τρόπο ώστε να αντέξουν στην πυρκαγιά επί ένα ορισμένο χρόνο. Ο χρόνος αυτός είναι συνήθως πολλαπλάσιος των 30 λεπτών (30/60/90 κ.λπ.) και αποτελεί την κατηγορία πυρκαγιάς του κτιρίου, συμβολιζόμενη με το γράμμα R και τον αριθμό των λεπτών. Έτσι R30 σημαίνει ότι ένα δομικό στοιχείο πρέπει να ικανοποιεί τα απαιτούμενα κριτήρια πυραντίστασης επί 30 λεπτά.

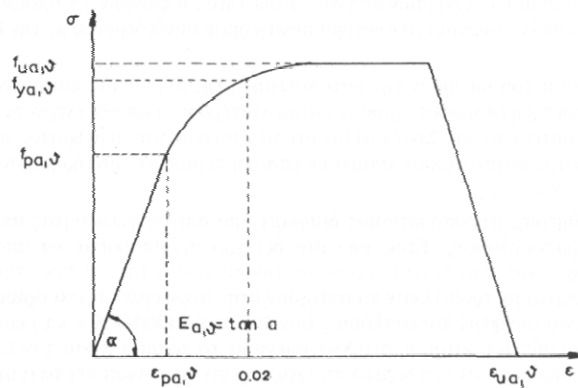
Το παρόν Κεφάλαιο δεν έχει σκοπό την πλήρη κάλυψη του αντικείμενου της πυροπροστασίας, αλλά την παρουσίαση ορισμένων μεθόδων για τον έλεγχο δομικών στοιχείων από σύμμικτη κατασκευή υπό συνθήκες πυρκαγιάς, προς επίτευξη της παθητικής πυροπροστασίας. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από τον σχετικό Κανονισμό περί πυροπροστασίας και την ειδική βιβλιογραφία [24], [25]. Η παρουσία του σκυροδέματος βελτιώνει σημαντικά την αντίσταση των μεταλλικών στοιχείων έναντι πυρκαγιάς, η μικρή τιμή της οποίας αποτελεί ίσως και το πλέον ευαίσθητο στοιχείο των κτιρίων από μεταλλικό σκελετό.

Συμπεριφορά υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες

Η συμπεριφορά του δομικού χάλυβα και του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες χαρακτηρίζεται από:

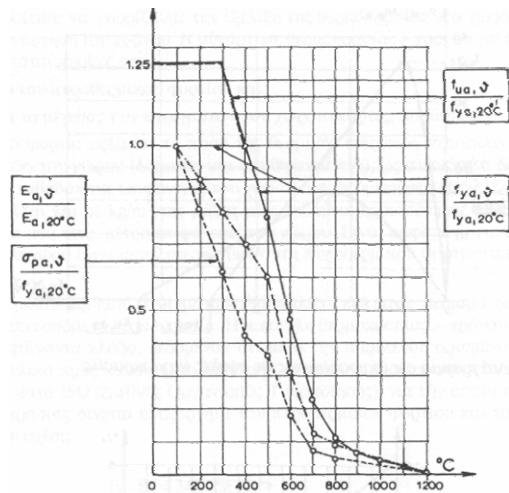
- μείωση του ορίου διαρροής και της εφελκυστικής αντοχής,
- μείωση της θλιπτικής αντοχής,
- μείωση του μέτρου ελαστικότητας,
- αύξηση της παραμόρφωσης θραύσης και
- μικρή μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας και της ειδικής θερμότητας.

Η μορφή του διαγράμματος τάσεων - παραμορφώσεων του δομικού χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες δίνεται στο Σχ. 1.



Σχήμα 1 Διάγραμμα σ - ϵ δομικού χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες

Το Σχ. 2 δείχνει τους λόγους των τιμών του ορίου διαρροής, της εφελκυστικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας του δομικού χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες προς τις αντίστοιχες τιμές για θερμοκρασία 20°C.



Σχ. 2 Μεταβολή μηχανικών χαρακτηριστικών δομικού χάλυβα με τη θερμοκρασία

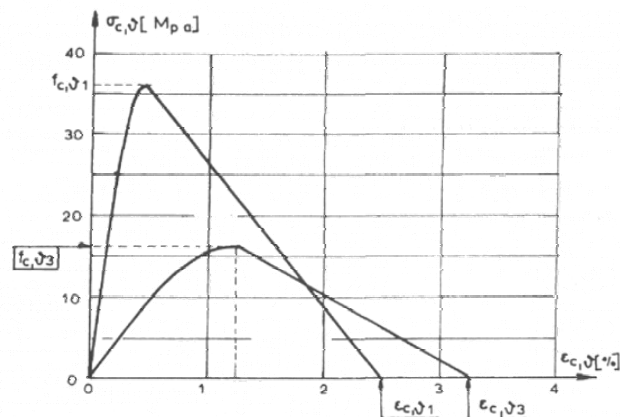
Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του χάλυβα μπορεί να ληφθεί σε όλο το φάσμα θερμοκρασιών ίσος με

$$\lambda_s = 30 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$$

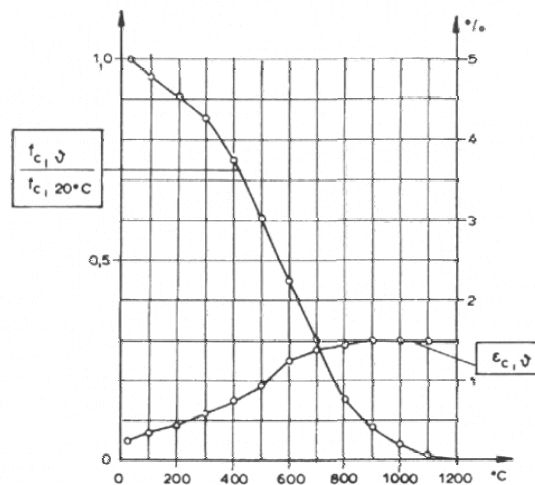
η ειδική θερμότητα του χάλυβα σταθερή και ίση με:

$$C_s = 0,215 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} = 520 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

ενώ το ειδικό βάρος του χάλυβα έχει επίσης σταθερή τιμή, ίση με αυτή στους 20°C. Στο Σχ. 3 φαίνεται το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων του σκυροδέματος για υψηλές θερμοκρασίες, ενώ στο Σχ. 4 οι λόγοι της θλιπτικής αντοχής και της παραμόρφωσης θραύσης προς τους αντίστοιχους λόγους στους 20°C.



Σχήμα 3 Διάγραμμα σ - ϵ σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες



Σχήμα 4 Μεταβολή μηχανικών χαρακτηριστικών σκυροδέματος με τη θερμοκρασία

Για τον υπολογισμό της αντίστασης ενός μέλους επί ένα ορισμένο χρόνο σε συνθήκες πυρκαγιάς είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την εξέλιξη της θερμοκρασίας στο χώρο που ξεσπά η πυρκαγιά ως συνάρτηση του χρόνου. Η συνάρτηση θερμοκρασίας - χρόνου για ένα συγκεκριμένο χώρο εξαρτάται κυρίως από:

- την πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου και

• τον αριθμό και το μέγεθος των ανοιγμάτων του χώρου (πόρτες, παράθυρα).

Ως πυροθερμικό φορτίο ορίζεται το ποσό της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά την καύση των υλικών του χώρου (δομικών και αποθηκευμένων), ως πυκνότητα δε αυτού ο λόγος του προς το εμβαδόν της επιφάνειας του χώρου εκφραζόμενη σε MJ/m². Συχνά η πυκνότητα αυτή μετριέται και σε kg/m² της μάζας μίας ισοδύναμης ποσότητας ξύλου που εκλύει την ίδια ενέργεια ανά τετρ. μέτρο επιφάνειας του χώρου. Είναι σαφές ότι η αποθήκευση π.χ. χρωμάτων σε ένα χώρο δίνει μεγαλύτερη πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου από την αποθήκευση επίπλων.

Η παρουσία μεγάλου αριθμού ανοιγμάτων εξασφαλίζει καλύτερο αερισμό του χώρου και μειώνει την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία. Η καμπύλη θερμοκρασίας - χρόνου έχει έναν αύξοντα και ένα φθίνοντα κλάδο, δεδομένου ότι μετά την παρέλευση ορισμένου χρόνου δεν υπάρχει πλέον υλικό προς καύση. Παρ' όλα αυτά οι υπολογισμοί γίνονται συνήθως για μια πρότυπη φωτιά κατά ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης), για την οποία η χρονική εξέλιξη της θερμοκρασίας δίνεται ανεξάρτητα του πυροθερμικού φορτίου και του συντελεστή αερισμού από τη σχέση:

$$\theta_t - \theta_0 = 345 \log (8t + 1)$$

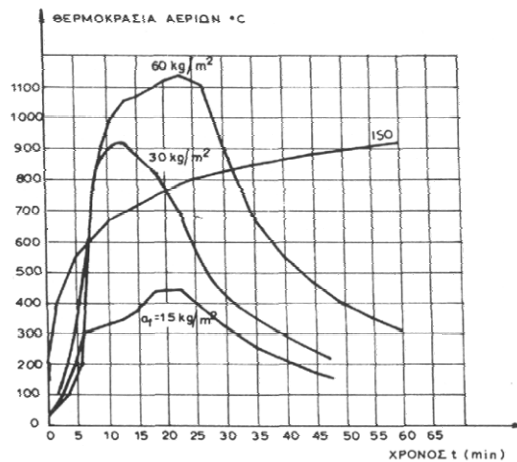
όπου:

θ_t = θερμοκρασία του χώρου σε °C κατά το χρόνο t,

θ_0 = 20°C θερμοκρασία του χώρου τη στιγμή εκδήλωσης της πυρκαγιάς,

t = χρόνος σε min από την εκδήλωση της φωτιάς

Διάφορες καμπύλες θερμοκρασίας - χρόνου δίνονται στο Σχ. 5. Διευκρινίζεται ότι οι ανωτέρω καμπύλες δίνουν τη θερμοκρασία των αερίων του χώρου και όχι των υλικών εντός του χώρου.



Σχήμα 5 Καμπύλες θερμοκρασίας αερίων - χρόνου

Βάσεις σχεδιασμού

Τα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία ενός χώρου όπως πλάκες, δοκοί, υποστυλώματα, τοίχοι, ψευδοροφές κ.λπ. πρέπει εν γένει να ικανοποιούν 3 κριτήρια ως προς:

- την φέρουσα ικανότητα R,
- τη μονωτική ικανότητα I και
- την ακεραιότητα E.

Το κριτήριο της φέρουσας ικανότητας συνδέεται με την εξασφάλιση της αντοχής και της ευστάθειας του μέλους επί ένα ορισμένο χρόνο υπό συνθήκες πυρκαγιάς.

Το κριτήριο της μονωτικής ικανότητας συνδέεται με την εξασφάλιση ότι η θερμοκρασία που θα αναπτυχθεί μετά παρέλευση ορισμένου χρόνου στο μέλος, θα είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία ανάφλεξης του.

Το κριτήριο της ακεραιότητας συνδέεται με την εξασφάλιση ότι εντός του προσδιορισμένου χρόνου δεν θα διαπεράσουν το υπόψη στοιχείο φλόγες ή καπνοί.

Τα διάφορα στοιχεία του χώρου μπορεί να παίζουν το ρόλο φερόντων στοιχείων (π.χ. υποστυλώματα), οπότε πρέπει να ικανοποιούν το κριτήριο R, ή το ρόλο διαχωριστικών στοιχείων (π.χ. ψευδοροφές), οπότε πρέπει να ικανοποιούν τα κριτήρια E+I, ή να παίζουν ρόλο και φερόντων και διαχωριστικών στοιχείων (π.χ. τοιχεία), οπότε πρέπει να ικανοποιούν και τα τρία κριτήρια R+E+I.

Από άποψη σχεδιασμού, η φωτιά αποτελεί τυχηματική δράση, οπότε σύμφωνα με τα δεδομένα του Κεφαλαίου 2 αφενός δεν συνδυάζεται με άλλες τυχηματικές δράσεις, αφ' ετέρου εξετάζεται σε συνδυασμό μόνο με τις οιονεί μόνιμες δράσεις. Ο συνδυασμός δράσεων στη θερμή κατάσταση γράφεται:

$$S_{fi,d,t} = \gamma_G G_k + \gamma_Q \psi_2 Q_k \quad (1)$$

όπου:

G_k = μόνιμες δράσεις ή αποτελέσματα αυτών,

Q_k = μεταβλητές δράσεις ή αποτελέσματα αυτών,

γ_G = 1,0 επιμέρους συντελεστής ασφαλείας των μόνιμων δράσεων στον τυχηματικό συνδυασμό

γ_Q = 1,0 επιμέρους συντελεστής ασφαλείας των μεταβλητών δράσεων στον τυχηματικό συνδυασμό

ψ_2 = μακροχρόνιος συντελεστής συνδυασμού για τις μεταβλητές δράσεις.

Από την εξ. (1) γίνεται σαφές ότι η πυρκαγιά δεν λαμβάνεται υπόψη με αύξηση των δράσεων αλλά με μείωση των αντιστάσεων. Η γενική ανίσωση ελέγχου στη θερμή κατάσταση για χρόνο ελέγχου t γράφεται ως:

$$S_{fi,d,t} < R_{fi,d,t} \quad (2)$$

όπου:

$S_{fi,d,t}$ = δράσεις σχεδιασμού ή αποτελέσματα αυτών σύμφωνα με την εξ. (1),

$R_{fi,d,t}$ = αντιστάσεις σχεδιασμού στη θερμή κατάσταση για χρόνο ελέγχου t. Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας των υλικών για τον προσδιορισμό της αντίστασης

σχεδιασμού $R_{Rj,d,t}$ είναι οι εξής:

δομικός χάλυβας	$\gamma_a = 1,0$
σκυρόδεμα	$\gamma_e = 1,3$
χάλυβας σκυροδέματος	$\gamma_s = 1,0$
κοχλίες συγκολλήσεως	$\gamma_b = 1,10$

Απλοποιημένος έλεγχος συμμίκτων δοκών και συμμίκτων υποστυλωμάτων

Ο πιο απλός τρόπος ελέγχου στη θερμή κατάσταση είναι αυτός με βάση Πινάκων που δίνονται στο μέρος 1.2 του Ευρωκώδικα 4. Η διαδικασία ελέγχου περιγράφεται στη συνέχεια.

Ο συνδυασμός δράσεων στην ψυχρή κατάσταση δίνεται από τη σχέση:

$$S_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q > Q_k = 1,35 G_k + 1,50 Q_k \quad (3)$$

Εάν η αντίσταση του στοιχείου στην ψυχρή κατάσταση είναι ίση με R_d τότε για το βασικό συνδυασμό δράσεων προκύπτει η ανίσωση ελέγχου:

$$S_d < R_d \quad (4)$$

οπότε ο συντελεστής εκμετάλλευσης του στοιχείου προκύπτει από την εξ. (5)

$$\eta = \frac{S_d}{R_d} \quad (5)$$

Ο συντελεστής η εκφράζει το ποσοστό εκμετάλλευσης της αντοχής του στοιχείου έναντι της καθοριστικής δράσης, π.χ. το λόγο της δράσας ροπής προς τη ροπή αντοχής μιας καμπτόμενης δοκού. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης είναι προφανώς 1. Ο λόγος των δράσεων ή των αποτελεσμάτων τους στη θερμή και την ψυχρή κατάσταση δίνεται από τη σχέση

$$\eta_{fi} = \frac{S_{fi,d,t}}{S_d} \quad (6)$$

Η εξ. (6) σε συνδυασμό με τις εξ. (1) και (3) δίνουν :

$$\eta_{fi} = \frac{1,0 G_k + 1,0 \psi_2 Q_k}{1,35 G_k + 1,5 Q_k} = \frac{1 + \psi_2 \xi}{1,35 + 1,5 \xi} \quad (7)$$

όπου $\xi = Q_k/G_k$

Ο αντίστοιχος λόγος των αντιστάσεων στη θερμή και την ψυχρή κατάσταση δίνεται από τη σχέση:

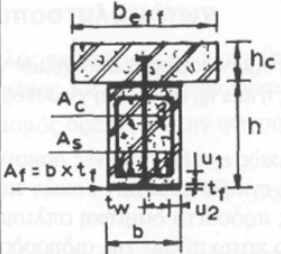
$$\eta_{fi,t} = \frac{R_{fi,d,t}}{R_d} \quad (8)$$

Η γενική ανίσωση ελέγχου στη θερμή κατάσταση (2) γράφεται με τη βοήθεια των εξ. (5) και (8) ως:

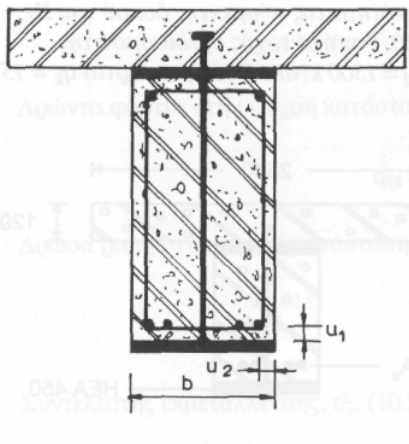
$$\frac{S_{fi,d,t}}{R_{fi,d,t}} = \frac{S_{fi,d,t}}{S_d} \cdot \frac{S_d}{R_d} \cdot \frac{R_d}{R_{fi,d,t}} = \frac{\eta_{fi}}{\eta_{fi,t}} \cdot \eta \leq 1 \quad (9)$$

Οι προαναφερθέντες Πίνακες δίνουν την τιμή του $\eta_{fi,t}$ διαφόρων δομικών στοιχείων για διάφορες κατηγορίες πυρκαγιάς, οπότε δεδομένου ότι οι τιμές η και η_{fi} είναι ήδη γνωστές μπορεί να γίνει απευθείας ο έλεγχος στη θερμή κατάσταση.

Στους Πίνακες 1 και 2 δίνονται τα στοιχεία για μερικώς εγκιβωτισμένες δοκούς. Στον Πίνακα 3 δίνονται τιμές ελάχιστες επικάλυψης πλήρως εγκλωβισμένων δοκών που προστατεύουν τη χαλύβδινη διατομή έναντι πυρκαγιάς, χωρίς πρόσθετο διαμήκη οπλισμό. Από τη σύγκριση των Πινάκων 2 και 3 φαίνεται ότι αν το κάτω πέλμα της σιδηροδοκού είναι γυμνό τότε ο χρόνος αντίστασης στη φωτιά είναι 30 min αν δεν τοποθετηθεί πρόσθετος οπλισμός.


Γραμμή		Κατηγορία πυρκαγιάς				
		R30	R60	R90	R120	R180
1	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $\eta_{fi} = 0,3$					
	min b [mm] και πρόσθετο ποσοστό οπλισμού A_s / A_r					
	1.1 $h \geq 0,9 \times \min b$	70/0,0	100/0,0	170/0,0	200/0,0	260/0,0
	1.2 $h \geq 1,5 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	150/0,0	180/0,0	240/0,0
1.3 $h \geq 2,0 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	150/0,0	180/0,0	240/0,0	
2	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $\eta_{fi} = 0,5$					
	min b [mm] και πρόσθετο ποσοστό οπλισμού A_s / A_r					
	2.1 $h \geq 0,9 \times \min b$	80/0,0	170/0,0	250/0,4	270/0,5	-
	2.2 $h \geq 1,5 \times \min b$	80/0,0	150/0,0	200/0,2	240/0,3	300/0,5
	2.3 $h \geq 2,0 \times \min b$	70/0,0	120/0,0	180/0,2	220/0,3	280/0,3
2.4 $h \geq 3,0 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	170/0,2	200/0,3	250/0,3	
3	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $\eta_{fi} = 0,7$					
	min b [mm] και πρόσθετο ποσοστό οπλισμού A_s / A_r					
	3.1 $h \geq 0,9 \times \min b$	80/0,0	270/0,4	300/0,6	-	-
	3.2 $h \geq 1,5 \times \min b$	80/0,0	240/0,3	270/0,4	300/0,6	-
	3.3 $h \geq 2,0 \times \min b$	70/0,0	190/0,3	210/0,4	270/0,5	320/1,0
	3.4 $h \geq 3,0 \times \min b$	70/0,0	170/0,2	190/0,4	270/0,5	300/0,8

Πίνακας 1 Ελάχιστες διαστάσεις και πρόσθετος διαμήκης οπλισμός για έλεγχο σε πυρκαγιά



Πλάτος σιδηροδοκού b [mm]	Ελάχιστη απόσταση [mm]	Κατηγορία πυρκαγιάς			
		R60	R90	R120	R180
170	u1	100	120	-	-
	u2	45	60	-	-
200	u1	80	100	120	-
	u2	40	55	60	-
250	u1	60	75	90	120
	u2	35	50	60	60
300	u1	40	50	70	90
	u2	(25)	45	60	60

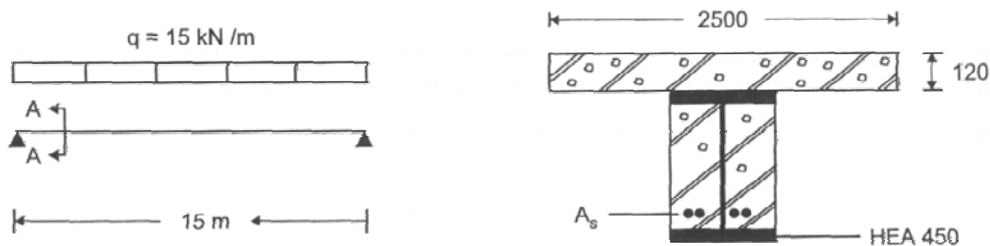
Πίνακας 2 Ελάχιστη επικάλυψη πρόσθετου απαιτούμενου οπλισμού του Πίνακα 10.1



Επικάλυψη σκυροδέματος	Κατηγορία πυρκαγιάς				
	R30	R60	R90	R120	R180
	0	25	30	40	50

Πίνακας 3 Ελάχιστη επικάλυψη για προστασία της σιδηροδοκού από πυρκαγιά

Παράδειγμα 1: Να γίνει ο έλεγχος σε φέρουσα ικανότητα της σύμμικτης δοκού του Σχ. 6 για κατηγορία πυρκαγιάς R120. Ροπή αντοχής σχεδιασμού της δοκού στην ψυχρή κατάσταση $M_{Rd}=1300\text{kNm}$. Ωφέλιμο φορτίο $q_k = 15 \text{ kN/m}$, $\psi_2 = 0,5$



Σχήμα 6 Σύμμικτη δοκός παραδείγματος 10.1

$$g_a = 1,4 \text{ kN/m}, g_c = (0,12 \cdot 2,5 + 0,3 \cdot 0,44 - 0,0178) \cdot 25 = 10,4 \text{ kN/m}$$

$$g_c = 1,4 + 10,4 = 11,8 \text{ kN/m}$$

$$\xi = \frac{q_k}{g_k} = \frac{15}{11,8} = 1,27$$

$$\text{εξ. (7)} \quad \eta_{fi} = \frac{1 + 0,5 \cdot 1,27}{1,35 + 1,5 \cdot 1,27} = 0,502$$

προϋποθέσεις ισχύος Πίνακα 1

$$d = 12 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 2,5 \text{ m} < 5 \text{ m}$$

$$\frac{b_f}{t_w} = \frac{300}{11,5} = 26 > 18$$

$$\frac{t_f}{t_w} = \frac{21}{11,5} = 1,8 < 2$$

Δρώντα φορτία στην ψυχρή κατάσταση:

$$q_{sd} = 1,35 \cdot 11,8 + 1,5 \cdot 15 = 38,4 \text{ kN/m}$$

Δρώσα ροπή στην ψυχρή κατάσταση:

$$M_{sd} = \frac{38,4 \cdot 15^2}{8} = 1.080 \text{ kNm}$$

Συντελεστής εκμετάλλευσης, εξ. (5):

$$\eta = \frac{1.080}{1.300} = 0,83$$

$$\text{εξ. (9)} \quad \frac{\eta_{fi} \cdot \eta}{\eta_{fi,t}} \leq 1 \rightarrow \eta_{fi,t} \geq \eta_{fi} \cdot \eta = 0,502 \cdot 0,83 = 0,42$$

Εμβαδόν κάτω πέλματος:

$$A_f = b \cdot t_f = 30 \cdot 2,1 = 63 \text{ cm}^2$$

Από Πίνακα 1 για $\eta_{fi,t} = 0,30$

$$b = 300 \text{ mm} > \min b = 180 \text{ mm}, h = 440 > 2,0 \min b = 2 \cdot 180 = 360 \text{ mm}$$

Από σειρά 1.3, στήλη R120

$$\rightarrow \min A_s = 0,0$$

Από Πίνακα 1 για $\eta_{fi,t} = 0,50$

$$b = 300 \text{ mm} > \min b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 440 = 2,0 \min b = 2 \cdot 220 = 440 \text{ mm}$$

Από σειρά 2.3, στήλη R 120

$$\rightarrow \min A_s = 0,3$$

Συνεπώς για $\eta_{fi,t} = 0,42$ προκύπτει με γραμμική παρεμβολή

$$\min A_s = 0,3 \cdot \frac{8}{20} = 0,12 \rightarrow \min A_s = 0,12 \cdot 63 = 7,56 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 4 \Phi 16 (=8,0 \text{ cm}^2)$$

Έλεγχος ποσοστού :

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} = \frac{8,0}{44 \cdot 30 - 178 + 8} = 0,695 < 5\%$$

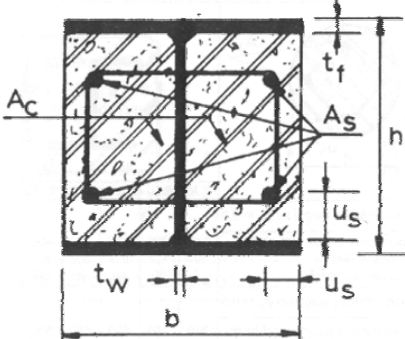
Επισημαίνεται ότι ο ανωτέρω οπλισμός είναι πρόσθετος στον τυχόν υπάρχοντα από άλλους λόγους.

Από Πίνακα 4.2 ελάχιστες επικαλύψεις του ανωτέρω οπλισμού για $b=300\text{mm}$:

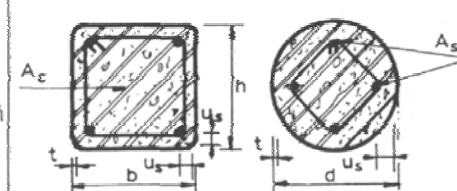
$$u_1 = 70 \text{ mm},$$

$$u_2 = 60 \text{ mm}.$$

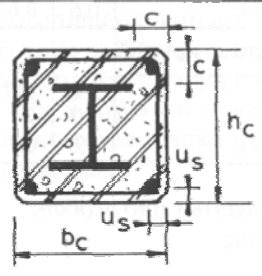
Ο έλεγχος συμμίκτων υποστυλωμάτων με βάση Πίνακες γίνεται κατ' ανάλογο τρόπο με αυτό των δοκών. Οι πίνακες 4 και 5 δίνουν τις σχετικές τιμές του $\eta_{fi,t}$ για υποστυλώματα από μερικώς εγκιβωτισμένες διατομές I και κοίλες διατομές γεμισμένες με σκυρόδεμα. Ο πίνακας 6 δίνει τιμές ελάχιστων διαστάσεων και επικάλυψης για σύμμικτα υποστυλώματα από πλήρως εγκιβωτισμένη διατομή I. Ο πίνακας 7 δίνει τιμές ελάχιστης επικάλυψης για την προστασία ενός χαλύβδινου υποστυλώματος έναντι πυρκαγιάς. Είναι προφανές ότι οι τιμές των επικαλύψεων του Πίνακα 7 ισχύουν και για άλλης μορφής χαλύβδινες διατομές και όχι μόνο για διατομές I.

Γραμμή		Κατηγορία πυρκαγιάς			
		R30	R60	R90	R120
1	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $n_{fi} = 0,3$				
1.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	160	260	300	300
1.2	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμού u_s [mm]	40	40	50	60
1.3	Ελάχιστος λόγος παχών κορμού προς πέλμα t_w / t_f	0,6	0,5	0,5	0,7
2	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $n_{fi} = 0,5$				
2.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	200	300	300	-
2.2	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμού u_s [mm]	35	40	50	-
2.3	Ελάχιστος λόγος παχών κορμού προς πέλμα t_w / t_f	0,6	0,6	0,7	-
3	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $n_{fi} = 0,7$				
3.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	250	300	-	-
3.2	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμού u_s [mm]	30	40	-	-
3.3	Ελάχιστος λόγος παχών κορμού προς πέλμα t_w / t_f	0,6	0,7	-	-

Πίνακας 4 Συνθήκες για έλεγχο συμμίκτων υποστυλωμάτων από μερικώς εγκιβωτισμένες διατομές I έναντι πυρκαγιάς

Γραμμή		Κατηγορία πυρκαγιάς				
		R30	R60	R90	R120	R180
1	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $n_{st} = 0,3$					
1.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b ή ελάχιστη διάμετρος d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού $A_s / (A_c + A_s) \%$	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμών u, [mm]	-	30	40	50	60
2	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $n_{st} = 0,5$					
2.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b ή ελάχιστη διάμετρος d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού $A_s / (A_c + A_s) \%$	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμών u, [mm]	-	30	40	50	60
3	Ελάχιστες διαστάσεις διατομής για στάθμη φορτίου $n_{st} = 0,7$					
3.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b ή ελάχιστη διάμετρος d [mm]	260	450	550	-	-
3.2	Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού $A_s / (A_c + A_s) \%$	3,0	6,0	6,0	-	-
3.3	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμών u, [mm]	(25)	30	40	-	-

Πίνακας 5 Συνθήκες για έλεγχο σύμμικτων υποστρωμάτων από κοίλες διατομές γεμισμένες με σκυρόδεμα έναντι πυρκαγιάς

Γραμμή		Κατηγορία πυρκαγιάς					
		R30	R60	R90	R120	R180	R240
1.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	150	180	220	300	350	400
1.2	Ελάχιστη επικάλυψη σιδηροδοκού c [mm]	40	50	50	75	75	75
1.3	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμού u, [mm]	(20)	30	30	40	50	50
ή							
2.1	Ελάχιστες διαστάσεις h και b [mm]	-	200	250	350	400	-
2.2	Ελάχιστη επικάλυψη σιδηροδοκού c [mm]	-	40	40	50	60	-
2.3	Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμού u, [mm]	-	(20)	(20)	30	40	-

Πίνακας 6 Συνθήκες για έλεγχο συμμικτων υποστρωμάτων από πλήρως εγκιβωτισμένες διατομές I έναντι πυρκαγιάς

Γραμμή		Κατηγορία πυρκαγιάς				
		R30	R60	R90	R120	R180
Επικάλυψη σκυροδέματος		0	25	30	40	50

Πίνακας 7 Ελάχιστη επικάλυψη για προστασία χαλύβδινου υποστρώματος έναντι πυρκαγιάς

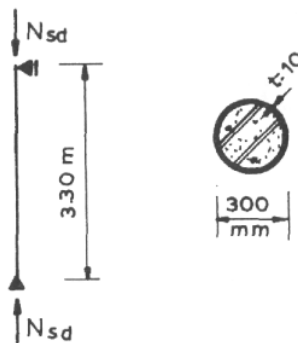
Κατά τον έλεγχο ενός υποστυλώματος σε λυγισμό με βάση τον Πίνακα 6 θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι δοκοί που συμβάλλουν στα άκρα του είναι σε ψυχρή κατάσταση εφ' όσον θεωρούμε ότι η πυρκαγιά λαμβάνει χώρα σε ένα μόνο όροφο. Αυτό σημαίνει ότι οι δοκοί προσφέρουν μεγαλύτερη ελαστική πάκτωση στο υποστύλωμα και μειώνουν το μήκος λυγισμού του. Αυτό λαμβάνει υπόψη σε αμετάθετα πλαίσια, θεωρώντας ότι το μήκος λυγισμού στη θερμή κατάσταση έχει κατά προσέγγιση τιμή ίση με τη μισή τιμή του μήκους λυγισμού στην ψυχρή κατάσταση, ίση δηλαδή με το μισό ύψος ορόφου. Άλλες προϋποθέσεις εφαρμογής των πινάκων είναι ότι τα υποστυλώματα θεωρούνται ότι υπόκεινται σε θλίψη, η δε κάμψη περιορίζεται από τη σχέση :

$$R = M_{Sd} / N_{Sd} \leq b_c \quad (10\alpha)$$

καθώς και ότι το ύψος του ορόφου περιορίζεται σύμφωνα με σχέση :

$$l_{\text{ορόφου}} \leq 30 \min \{b_c, h_c\} \quad (10\beta)$$

Παράδειγμα 2 : Να ελεγχθεί το υποστύλωμα του Σχ. 7 για κατηγορία πυρκαγιάς R90. Αξονικά φορτία λόγω μονίμων δράσεων 1000kN, λόγω μεταβλητών δράσεων 800kN, $\psi_2 = 0,6$.



Σχήμα 7 Υποστύλωμα παραδείγματος 2

$$N_{Sd} = 1,35 \cdot 1.000 + 1,5 \cdot 800 = 2.550 \text{ kN}$$

$$\xi = 800 / 1.000 = 0.8$$

εξ. (7)
$$\eta_{fi} = \frac{1 + 0,6 \cdot 0,8}{1,35 + 1,5 \cdot 0,8} = 0,58$$

Από το παράδειγμα 7.9 προκύπτει ότι η αντίσταση υποστυλώματος σε κεντρική θλίψη είναι ίση με $N_{Rd} = 3902,5 \text{ kN}$.

Συντελεστής εκμετάλλευσης, εξ. (5)

$$\eta = \frac{2.550}{3.902,5} = 0,65$$

εξ. (9)
$$\eta_{fi,t} \geq \eta_{fi} \cdot \eta = 0,58 \cdot 0,65 = 0,38$$

Προϋποθέσεις ισχύος του πίνακα 5

$$d/e = 300/10 = 30 > 25$$

Για $\eta_{fi,t} = 0,3$ $\rightarrow \min d = 220 \text{ mm}$
 Για $\eta_{fi,t} = 0,5$ $\rightarrow \min d = 400 \text{ mm}$
 Για $\eta_{fi,t} = 0,5$ $\rightarrow \min d = 220 + 180 \cdot 8/20 = 292 \text{ mm} < d = 300 \text{ mm}$

Ελάχιστο ποσοστό διαμήκουσ οπλισμού για $\eta_{fi,t} = 0,38$

$$\min \rho = 3 = 3 \cdot 8/20 = 4,2\%$$

$$\rightarrow \min A_s = 0,042 \cdot \pi \cdot 28^2/4 = 25,9 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 6 \Phi 25 (=29,5 \text{ cm}^2)$$

Απόσταση του οπλισμού από το εσωτερικό του σωλήνα $u_s = 40 \text{ mm}$.

Έλεγχοι συμμίκτων πλακών

Οι σύμμικτες πλάκες πρέπει εν γένει να ικανοποιούν τα κριτήρια φέρουσας ικανότητας R και μονωτικής ικανότητας I. Ένας προσεγγιστικός τρόπος ελέγχου των συμμίκτων πλακών έναντι πυρκαγιάς όπως προτείνεται στο μέρος 1.2 του Ευρωκώδικα 4 δίνεται ακολούθως.

Κριτήριο μονωτικής ικανότητας I

Ο έλεγχος σε πυρκαγιά έναντι του κριτηρίου αυτού γίνεται συγκρίνοντας το ενεργό πάχος της πλάκας με το ελάχιστο επιτρεπόμενο ενεργό πάχος, ως συνάρτηση του απαιτούμενου χρόνου πυραντίστασης.

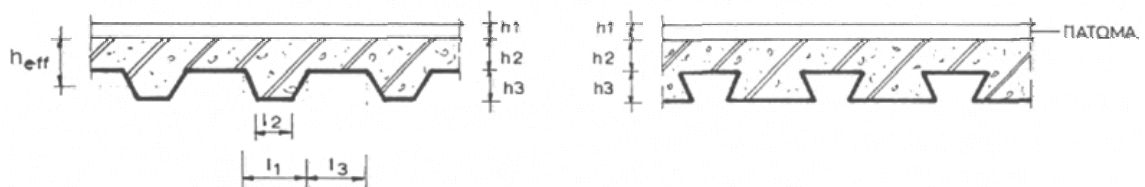
Το ενεργό πάχος h_{eff} μιας σύμμικτης πλάκας δίνεται με τη βοήθεια των εξ. (11) και (12), και του σχ. 8.

Για $h_2/h_1 \leq 1,5$ και $h_1 > 50 \text{ mm}$

$$h_{eff} = h_1 + 0,5 h_2 \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \quad (11)$$

Για $h_2/h_1 > 1,5$ και $h_1 > 50 \text{ mm}$

$$h_{eff} = h_1 \left(1 + 0,75 \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_1 + l_3} \right) \quad (12)$$



Σχήμα 8 Συμβολισμοί συμμίκτων πλακών

Το ελάχιστο ενεργό πάχος $\min h_{\text{eff}}$ δίνεται από τον Πίνακα 8.

Ο έλεγχος ικανοποίησης του κριτηρίου μονωτικής ικανότητας γίνεται με βάση την εξ. (13).

$$h_{\text{eff}} \geq \min h_{\text{eff}} \quad (13)$$

Χρόνος πυραντίστασης	$\min h_{\text{eff}} [mm]$
R30	60 - h_3
R60	80 - h_3
R90	100 - h_3
R120	120 - h_3
R180	150 - h_3
R240	175 - h_3
Παρατήρηση: Η μέγιστη τιμή του h_3 που θα λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό είναι 20mm	

Πίνακας 8 Ελάχιστο ενεργό πάχος συμμίκτων πλακών

Κριτήριο φέρουσας ικανότητας R

Ο έλεγχος ικανοποίησης του κριτηρίου φέρουσας ικανότητας γίνεται με βάση την εξ. (14) για τον απαιτούμενο χρόνο πυραντίστασης t.

$$M_{fi,Sd} \leq M_{fi,Rd} \quad (14)$$

Όπου :

$M_{fi,Sd}$ = δρώσα ροπή για τον τυχαματικό συνδυασμό δράσεων της εξ. (1),

$M_{fi,Rd}$ = ροπή αντοχής της πλάκας στη θερμή κατάσταση.

Ο προσδιορισμός της δρώσας ροπής προκύπτει από τη στατική ανάλυση κατά τα γνωστά. Εδώ ενδιαφέρει ιδιαίτερα ο προσδιορισμός των ροπών αντοχής στη θερμή κατάσταση $M_{fi,R,d,t}$. Αυτό γίνεται ξεχωριστά για τις θετικές και τις αρνητικές ροπές, θεωρώντας τη δυσμενέστερη περίπτωση όπου η φωτιά σημειώνεται κάτω από την πλάκα.

Θετικές ροπές αντοχής $M_{fi,Rd}$

Οι ροπές αντοχής προσδιορίζονται πάνω στις εξής αρχές :

- η συμβολή των χαλυβδοφύλλων στην αντοχή αγνοείται,
- το σκυρόδεμα θεωρείται ότι βρίσκεται σε ψυχρή κατάσταση, οπότε η θλιπτική αντοχή του f_{cd} είναι η ίδια αυτής των 20° C, αλλά με επιμέρους συντελεστή ασφαλείας $\gamma_c = 1,3$,
- ο οπλισμός της πλάκας βρίσκεται σε θερμή κατάσταση, οπότε η αντοχή του είναι μειωμένη.

Η θερμοκρασία του οπλισμού εξαρτάται από την επικάλυψή του από το σκυρόδεμα και από τον απαιτούμενο χρόνο πυραντίστασης, δίνεται δε στον πίνακα 9.

Η απόσταση z δίνεται από τη σχέση (15)

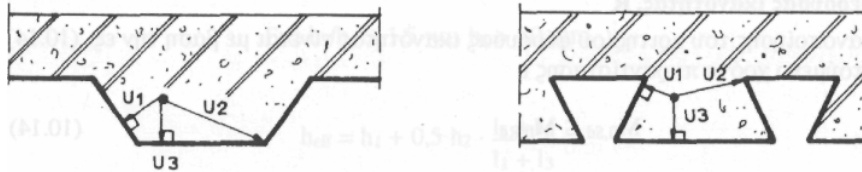
$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} \text{ σε mm} \quad (15)$$

όπου $u_1, u_2 \geq 50 \text{ mm}, u_3 \geq 35 \text{ mm}$

και $u_1, u_2, u_3 =$ αξονικές αποστάσεις της ράβδου από το χαλυβδόφυλλο (σχ.9)

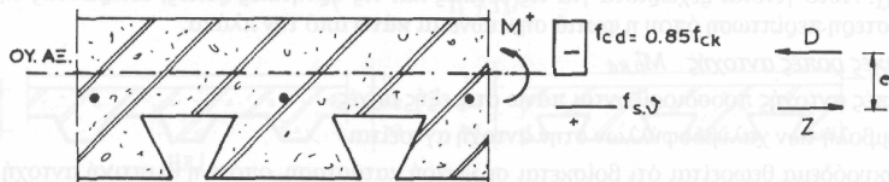
Χρόνος πυραντίστασης	Θερμοκρασία οπλισμού [°C]
R60	$\theta_s = 1175 - 350 z \leq 810^\circ\text{C}$
R90	$\theta_s = 1285 - 350 z \leq 880^\circ\text{C}$
R120	$\theta_s = 1370 - 350 z \leq 930^\circ\text{C}$
R180	$\theta_s = 1490 - 350 z \leq 1000^\circ\text{C}$
R240	$\theta_s = 1575 - 350 z \leq 1050^\circ\text{C}$

Πίνακας 9 Θερμοκρασία οπλισμού σύμμικτων πλακών



Σχήμα 9 Γεωμετρική θέση ράβδου οπλισμού

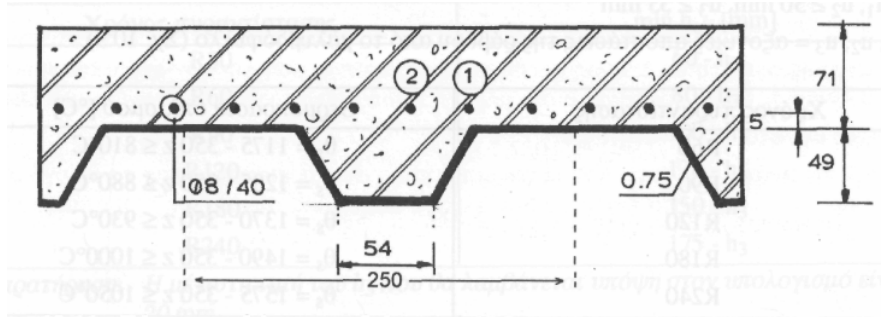
Εφόσον είναι γνωστή η θερμοκρασία του οπλισμού μπορεί να προσδιορισθεί και το όριο διαρροής του στη θερμή κατάσταση με βάση το Σχ. 2. Η κατανομή των τάσεων της σύμμικτης πλάκας στη θερμή κατάσταση φαίνεται στο Σχ.10.



Σχήμα 10 Οριακή κατάσταση σύμμικτης πλάκας για θετικές ροπές Η ροπή αντοχής βρίσκεται από τη σχέση

$$M_{f,Rd} = D \cdot e = Z e \quad (16)$$

Παράδειγμα 3: Να προσδιορισθεί η αντοχή σύμμικτης πλάκας τον Σχ.11 για κατηγορία πυρκαγιάς R240 και R60. Σκυρόδεμα C 20/25, οπλισμός S 400



Σχήμα 11 Συμμεκτη πλάκα παραδείγματος 3

Για R 240 ισχύει:

$$\text{Για ράβδο (1)} \quad z \approx \sqrt{5} \text{ mm} \rightarrow \theta_s = 1.575 - 350 \sqrt{5} = 792^\circ\text{C}$$

$$\text{Για ράβδο (2)} \quad u_1 = 25 \text{ mm}, u_2 = 85 \text{ mm}, u_3 = 59 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{\sqrt{25}} + \frac{1}{\sqrt{85}} + \frac{1}{\sqrt{59}} \rightarrow z = 2,28 \text{ mm}$$

$$\theta_s = 1.575 - 350 \cdot 2,28 = 777^\circ\text{C}$$

Επί πλάτους πλάκας 250 mm υπάρχουν συνολικά

$$\frac{250}{40} + 1 = 7,25 \text{ ράβδοι}$$

εκ των οποίων 2 ράβδοι τύπου (2) και 5,25 ράβδοι τύπου (1)

$$\text{Μέση θερμοκρασία ράβδων: } \theta_s = \frac{5,25 \cdot 792 + 2 \cdot 777}{7,25} = 788^\circ\text{C}$$

$$\text{Από Σχήμα 10.2 } f_s (788^\circ\text{C}) = 0,11 \cdot f_{sd} \rightarrow$$

$$f_{sd} = 0,11 \cdot 40/1,0 = 4,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Αντοχή σκυροδέματος } f_{cd} = 0,85 \cdot 2/1,3 = 1,31 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Εφελκυστική δύναμη } Z_s = 7,25 \cdot \pi \cdot \frac{0,8^2}{4} \cdot 4,4 = 16,0 \text{ kN}$$

$$\text{Ουδέτερος άξονας } z_o = \frac{16,0}{25 \cdot 1,31} = 0,489 \text{ cm}$$

$$\text{Ροπή αντοχής } M_{f_{i,Rd,240}} = 16 (7,1 - 0,5 - 0,489 / 2) = 102 \text{ kNcm}$$

Για R60 ισχύει

$$\text{Ράβδος (1)} \quad \theta_s = 1.175 - 350 \sqrt{5} = 392^\circ\text{C}$$

$$\text{Ράβδος (2)} \quad \theta_s = 1.175 - 350 \cdot 2,28 = 377^\circ\text{C}$$

$$\text{Μέση } \theta_s = 388^\circ\text{C}$$

$$f_s (388^\circ\text{C}) = 1,0 \cdot 40/1,0 = 40,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$Z_s = 7,25 \cdot \pi \cdot \frac{0,8^2}{4} \cdot 40 = 145 \text{ kN}$$

$$z_o = \frac{145}{25 \cdot 1,31} = 4,42 \text{ cm}$$

$$M_{fi,Rd,60} = 145 (7,1 - 0,5 - 4,42/2) = 637 \text{ kNcm}$$

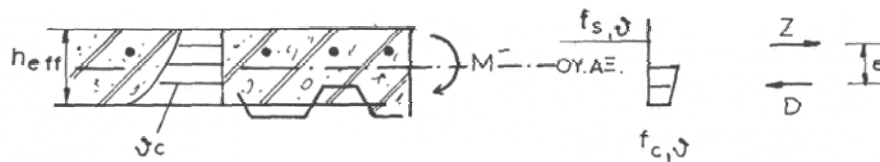
$$M_{fi,Rd,60} / M_{fi,Rd,240} = 637 / 102 = 6,25$$

Αρνητικές ροπές αντοχής

Οι ροπές αντοχής προσδιορίζονται πάνω στις εξής αρχές:

- η συμβολή των χαλυβδοφύλλων στην αντοχή αγνοείται,
- το σκυρόδεμα και ο οπλισμός βρίσκονται σε θερμή κατάσταση.

Η κατανομή των θερμοκρασιών και των τάσεων της πλάκας δίνεται στο Σχ.12.



Σχήμα 12 Οριακή κατάσταση σύμμικτης πλάκας για αρνητικές ροπές

Η θερμοκρασία της πλάκας προσδιορίζεται από τη λύση της διαφορικής εξίσωσης μετάδοσης της θερμότητας, η οποία σε μορφή πεπερασμένων διαφορών δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\lambda}{c\rho} \cdot \frac{\Delta^2\theta}{\Delta x^2} \quad (17)$$

όπου :

$\Delta\theta$ = αύξηση της θερμοκρασίας του στοιχείου σε χρόνο Δt ,

λ = συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας,

c = ειδική θερμότητα,

ρ = πυκνότητα,

Δx = πάχος στοιχείου.

Η επίλυση γίνεται χωρίζοντας την πλάκα σε λωρίδες, για κάθε μία από τις οποίες προσδιορίζεται σταδιακά για αύξηση χρόνου κατά Δt , π.χ. κατά 5 sec., η θερμοκρασία. Με γνωστή την κατανομή της θερμοκρασίας μπορεί να προσδιορισθούν η τάση του σκυροδέματος και του οπλισμού και να βρεθεί η οριακή ροπή αντοχής.

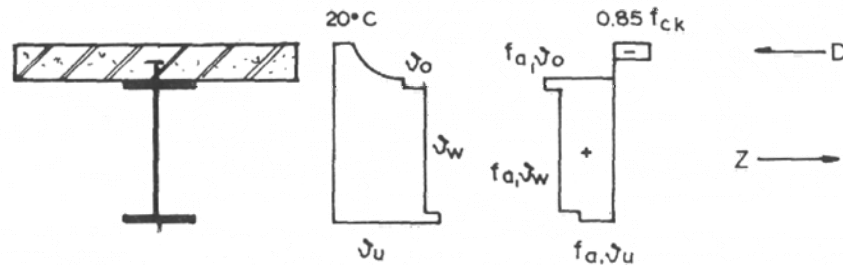
Έλεγχος συμμίκτων δοκών και υποστλωμάτων με αναλυτικές μεθόδους

Οι έλεγχοι αυτοί συνίστανται στην επίλυση του προβλήματος της μετάδοσης θερμότητας στα δομικά στοιχεία, προσδιορισμό των οριακών τάσεων συναρτήσει της θερμοκρασίας και ολοκλήρωση του διαγράμματος των τάσεων για την εύρεση των

οριακών εντατικών μεγεθών σε συνθήκες πυρκαγιάς. Η διαδικασία για επιμέρους δομικά στοιχεία περιγράφεται παρακάτω.

Μη εγκιβωτισμένες σύμμικτες δοκοί

Η κατανομή των θερμοκρασιών και των τάσεων στη σύμμικτη δοκό και την πλάκα φαίνονται στο Σχ.13.



Σχήμα 13 Κατανομή θερμοκρασιών και τάσεων σε μη εγκιβωτισμένη σύμμικτη δοκό

Η αύξηση της θερμοκρασίας της σιδηροδοκού $\Delta\theta_a$ για αύξηση του χρόνου κατά Δt δίνεται από τις εξ. (18) και (19).

Απροστάτευτη σιδηροδοκός:

$$\Delta\theta_a = \frac{\alpha}{c_a \rho_a} \cdot \frac{A}{V} (\theta_t - \theta_a) \cdot \Delta t \quad (18)$$

Προστατευμένη σιδηροδοκός με πυρίμαχα υλικά:

$$\Delta\theta_a = \frac{\lambda_i / d_i}{c_a \rho_a} \cdot \frac{A_i}{V} \left[\frac{1}{1 + 2/3 \xi} \right] (\theta_t - \theta_a) \cdot \Delta t - (e^{\xi/5} - 1) \cdot \Delta\theta_t \quad (19)$$

όπου:

α = συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]

c_a = ειδική θερμότητα χάλυβα [$J/kg \text{ } ^\circ C$]

ρ_a = πυκνότητα χάλυβα [$kg/m^3 \text{ } ^\circ C$]

A/V = λόγος επιφάνειας προς όγκο στοιχείου [m^{-1}]

$$\xi = \frac{c_i \cdot \lambda_i \cdot \rho_i \cdot A_i}{2 c_a \rho_a V}$$

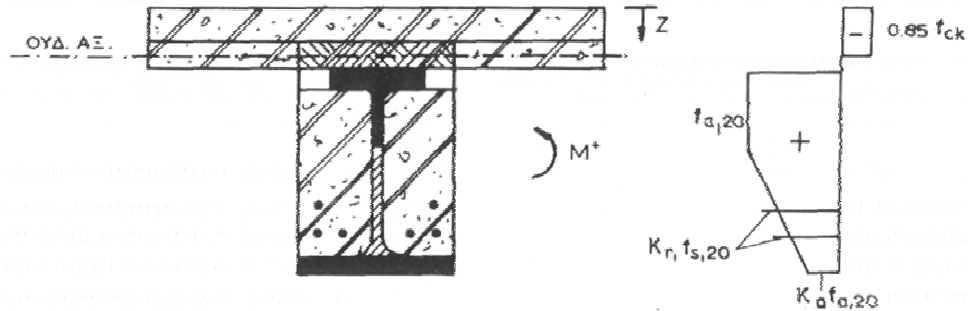
λ_i = θερμική αγωγιμότητα πυρίμαχου υλικού [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]

d_i = πάχος πυρίμαχου υλικού [m],

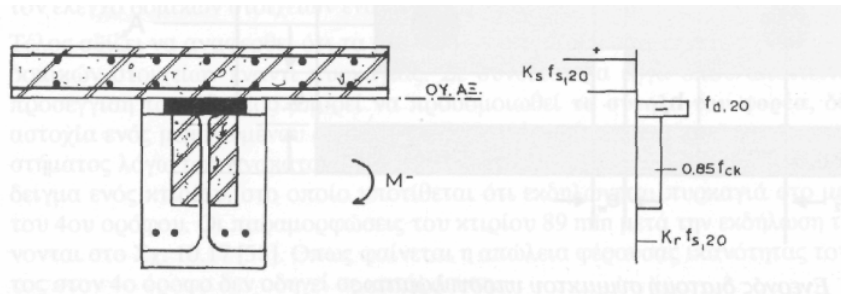
c_i = ειδική θερμότητα πυρίμαχου υλικού [$J/kg \text{ } ^\circ C$]

Μερικώς εγκλωβισμένες συμμικτες δοκοί

Η κατανομή των τάσεων της συμμικτης δοκού για θετικές και αρνητικές ροπές δίνεται στα Σχ. 14 και 15.



Σχήμα 14 Κατανομή τάσεων για θετικές ροπές



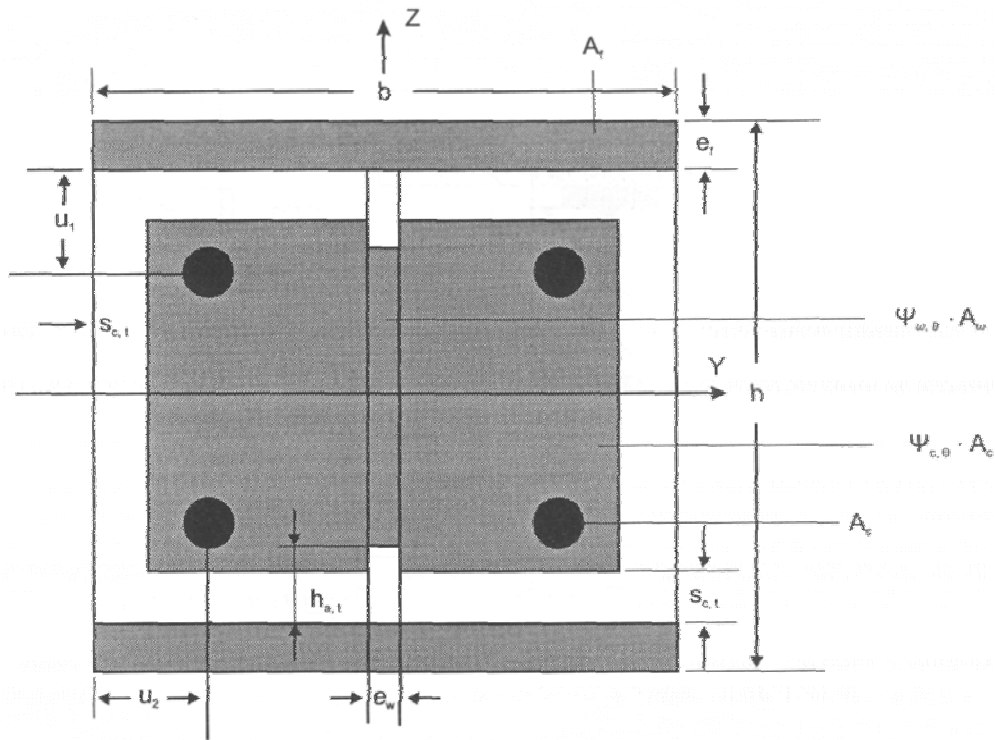
Σχήμα 15 Κατανομή τάσεων για αρνητικές ροπές

Οι τάσεις προσδιορίζονται προσεγγιστικά μέσω μειωτικών συντελεστών k που εφαρμόζονται στις οριακές τάσεις. Οι συντελεστές αυτοί δίνονται από βοηθητικούς Πίνακες.

Σύμμικτα υποστολώματα

Η αντίσταση τους σε λυγισμό περί τον ασθενή άξονα z προσδιορίζεται στη βάση μιας ενεργού διατομής (Σχ.16) που αποτελείται από:

- τη μειωμένη επιφάνεια κορμού $\psi_{w,\theta} A_w$
- τα πέλματα, εμβαδού A_f
- τις ράβδους οπλισμού, εμβαδού A_s ,
- το μειωμένο εμβαδά του σκυροδέματος $\psi_{c,\theta} A_c$



Σχήμα 16 Ενεργός διατομή σύμμικτου υποστυλώματος

Το πλαστικό αξονικό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$N_{pl,\theta} = \psi_{w,\theta} \cdot A_w \sigma_{a,\theta} + A_f \sigma_{a,\theta} + A_s \sigma_{s,\theta} + \psi_{c,\theta} \cdot A_c \sigma_{c,\theta} \quad (12)$$

η ενεργός δυσκαμψία από τη σχέση:

$$EI_{e,\theta} = (E_{w,\theta} \cdot I_w) + (E_{f,\theta} \cdot I_f) + (E_{s,\theta} \cdot I_s) + (E_{c,\theta} \cdot I_c) \quad (21)$$

το φορτίο Euler από τη σχέση:

$$E_{E,\theta} = EI_{e,\theta} \cdot \frac{\pi^2}{l_0^2} \quad (22)$$

όπου l_0 = μήκος λυγισμού υπό συνθήκες πυρκαγιάς όπως αναφέρθηκε στην παρ.4. Η ανοιγμένη λυγηρότητα προσδιορίζεται κατά τα γνωστά από:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pl,\theta} / N_{E,\theta}} \quad (23)$$

ο δε έλεγχος γίνεται με βάση την εξ. (24)

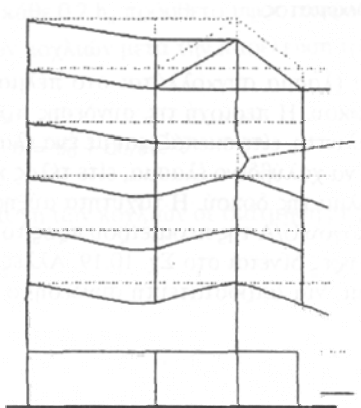
$$N_{Sd} \leq N_{Rd,\theta} = \chi N_{p,\theta} \quad (24)$$

όπου χ = μειωτικός συντελεστής από την καμπύλη λυγισμού c.

Η αναλυτικότερη παρουσίαση των παραπάνω ελέγχων ξεφεύγει του σκοπού του παρόντος βιβλίου. Εδώ αναφέρεται μόνο ότι στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών έχουν αναπτυχθεί στο ΕΜΠ κατάλληλα προγράμματα ελέγχου διαφόρων δομικών συμμίκτων στοιχείων σε συνθήκες πυρκαγιάς [26], [36], [48], [45]. Γενικώς γίνεται

χρήση διαφόρων βοηθημάτων υπό μορφή Πινάκων, διαγραμμάτων κ.λπ. [40], [41], [11], [58] καθώς και άλλων προσεγγιστικών μεθόδων καθώς και των γνωστών προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων που επιτρέπουν τον έλεγχο δομικών στοιχείων έναντι πυρκαγιάς.

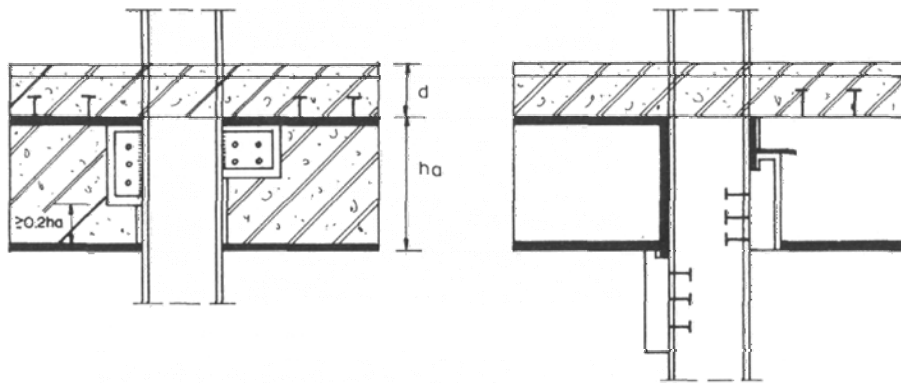
Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι τα ανωτέρω αναπτυχθέντα αφορούν τον έλεγχο μεμονωμένων δομικών στοιχείων έναντι πυρκαγιάς. Σε συνθετότερα έργα όπου απαιτείται ακριβέστερη προσέγγιση του θέματος μπορεί να προσομοιωθεί το σύνολο τον φορέα, δεδομένου ότι η αστοχία ενός μεμονωμένου δομικού στοιχείου δεν οδηγεί κατ' ανάγκη στην αστοχία του συστήματος λόγω των ανακατανομών των εντατικών μεγεθών. Κάτι τέτοιο φαίνεται στο παράδειγμα ενός κτιρίου, στο οποίο υποτίθεται ότι εκδηλώνεται πυρκαγιά στο μεσαίο φάτνωμα του 4ου ορόφου. Οι παραμορφώσεις του κτιρίου 89 min μετά την εκδήλωση της φωτιάς φαίνονται στο Σχ.17 [58]. Όπως φαίνεται η απώλεια φέρουσας ικανότητας του υποστυλώματος στον 4ο όροφο δεν οδηγεί σε κατάρρευση.



Σχήμα 17 Παραμορφώσεις κτιρίου 89 min μετά την εκδήλωση πυρκαγιάς

Συνδέσεις

Βασική προϋπόθεση της ικανοποίησης του κριτηρίου φέρουσας ικανότητας των δομικών στοιχείων είναι η εξασφάλιση της αντοχής των συνδέσεων τους έναντι πυρκαγιάς. Και εδώ έχουν αναπτυχθεί προσεγγιστικές μέθοδοι για την πρακτική αντιμετώπιση του προβλήματος πέραν της χρήσης πολύπλοκων προγραμμάτων τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων. Με τη βοήθεια κατάλληλων διαγραμμάτων [9], [10] προσδιορίζεται κατ' αρχήν η θερμοκρασία των μέσων σύνδεσης και στη συνέχεια η αντοχή τους σε υψηλή θερμοκρασία. Τυπικές συνδέσεις τέμνουσας δοκών - υποστυλωμάτων φαίνονται στο Σχ.18.

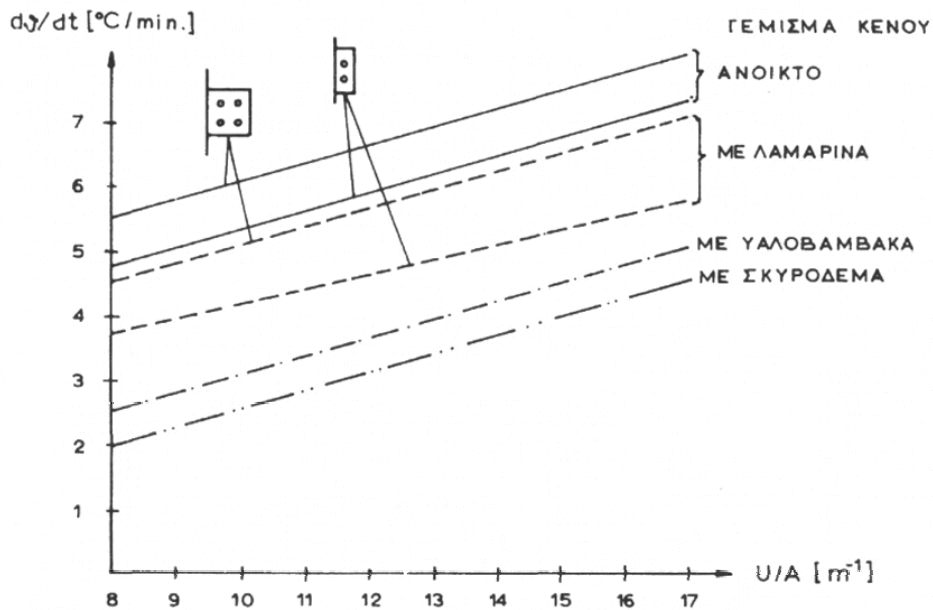


Σχήμα 18 Κόμβοι δοκών - υποστυλωμάτων

Οι συνδέσεις διαμορφώνονται συνήθως είτε κοχλιωτές με τη βοήθεια ελασμάτων, είτε με τη βοήθεια παχέων χαλύβδινων πλακών που αγκυρώνονται μέσω διατμητικών ήλων στο σκυρόδεμα τον κορμού του υποστυλώματος.

Κοχλιωτές συνδέσεις

Στις κοχλιωτές συνδέσεις το έλασμα συγκολλάται στο πέλμα του υποστυλώματος και κοχλιώνεται στον κορμό της δοκού. Η περιοχή της σύνδεσης πρέπει να ελέγχεται σε συνθήκες πυρκαγιάς και είτε μένει ακάλυπτη, είτε σκεπάζεται με ένα έλασμα, είτε καλύπτεται με υαλοβάμβακα προστατευμένο με ένα χαλύβδινο έλασμα, είτε τέλος καλύπτεται από έγχυτο σκυρόδεμα μέσω οπών στο άνω πέλμα της δοκού. Η ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας των κοχλιών $d\theta/dt$ συναρτήσει του λόγου U/A της περιμέτρου προς το εμβαδόν της δοκού για συνθήκες φωτιάς από τις τρεις πλευρές δίνεται στο Σχ.19. Άλλες παράμετροι είναι οι συνθήκες προστασίας της σύνδεσης και, για απροστάτευτη σύνδεση, ο αριθμός των στηλών των κοχλιών.



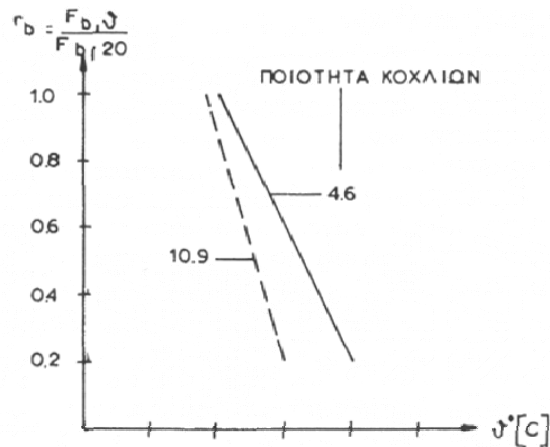
Σχήμα 19 Ταχύτητα θέρμανσης των κοχλιών

Οι καμπύλες ισχύουν αν το σκυρόδεμα του κορμού της δοκού κάτω από τη σύνδεση έχει ύψος $0,2 h_a$. Αν το ύψος αυτό είναι μεγαλύτερο, τότε επιτρέπεται η μείωση της ταχύτητας θέρμανσης κατά $0,5^\circ\text{C}/\text{min}$ για κάθε $0,2 h_a$ πρόσθετο ύψος σκυροδέματος.

Αφού βρεθεί η θερμοκρασία των κοχλιών μετά την παρέλευση του αναγκαίου χρόνου από τη σχέση:

$$\theta = \theta_0 + d\theta/dt \cdot t \quad (25)$$

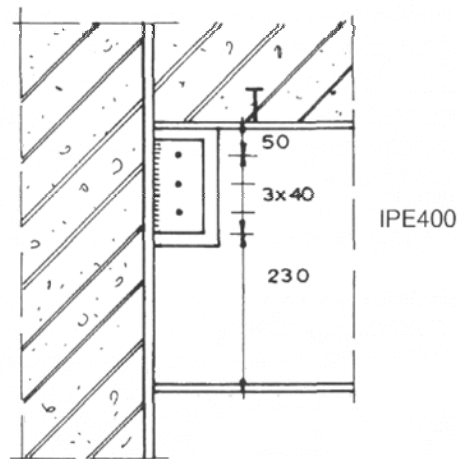
προσδιορίζεται η μειωμένη αντοχή των κοχλιών σε διάτμηση με βάση το Σχ.20.



Σχήμα 20 Μειωτικός συντελεστής διατμητικής αντοχής κοχλιών σε υψηλές θερμοκρασίες

Παράδειγμα 4:

Να ελεγχθεί η επάρκεια της σύνδεσης της δοκού του Σχ. 21 για κατηγορία πυρκαγιάς R180. Ακάλυπτη σύνδεση. Τέμνουσα δύναμη από μόνιμες δράσεις $V_G = 20 \text{ kN}$, από μεταβλητές δράσεις $V_Q = 50 \text{ kN}$, $\psi_2 = 0,7$. Κοχλίες M 16,4.6.



Σχήμα 21 Σύνδεση παραδείγματος 4

Δρώσα τέμνουσα σε ψυχρή κατάσταση:

$$V_{sd} = 1,35 \cdot 20 + 1,5 \cdot 50 = 102 \text{ kN}$$

Δρώσα τέμνουσα σε θερμή κατάσταση:

$$V_{fi, sd} = 20 + 0,7 \cdot 50 = 55 \text{ kN}$$

Μερικώς εγκιβωτισμένη δοκός IPE 400:

$$U = 2 \cdot 0,4 + 0,18 = 0,98 \text{ m}, A = 0,4 \cdot 0,18 = 0,072 \text{ m}^2$$

$$U/A = 0,98/0,072 = 13,6 \text{ m}^1$$

Από Σχ.19 για ακάλυπτη σύνδεση και 1 στήλη κοχλιών $dB/dt = 6,3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$

Απόσταση από κάτω πέλμα:

$$230/400 = 0,575 > 0,2$$

Μείωση της ταχύτητας θέρμανσης κατά:

$$0,5 \cdot \frac{0,575}{0,2} = 1,4^\circ\text{C}/\text{min}$$

Τελική ταχύτητα θέρμανσης:

$$d\theta/dt = 6,3 - 1,4 = 4,9^\circ\text{C}/\text{min}$$

Θερμοκρασία στα 120 min, εξ. (10.25):

$$\theta = 20 + 4,9 \cdot 120 = 608 \text{ }^\circ\text{C}$$

Από Σχ. 20 $r_b = 0,55$

Αντοχή κοχλία σε διάτμηση από τη σχέση:

$$F_{b, Rd} = 0,6 \cdot A \cdot f_u / \gamma_M$$

Αντοχή στους 20°C :

$$F_{b, Rd} = 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} \cdot \frac{40}{1,25} = 38,6 \text{ kN}$$

Αντοχή σύνδεσης στους 20°C :

$$F_{Rd} = 3F_{b, Rd} = 3 \cdot 38,6 = 115,8 \text{ kN}$$

Έλεγχος στους 20°C :

$$V_{Sd} = 102 \text{ kN} < 115,8 \text{ kN}$$

Αντοχή κοχλία σε θερμή κατάσταση:

$$F_{fi, Rd} = 0,55 \cdot 0,6 \cdot \frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} \cdot \frac{40}{1,10} = 24,1 \text{ kN}$$

Αντοχή σύνδεσης σε θερμή κατάσταση:

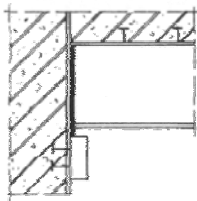
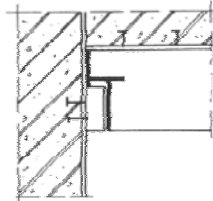
$$F_{fi, Rd} = 3 \cdot 24,1 = 72,4 \text{ kN}$$

Έλεγχος σε θερμή κατάσταση:

$$V_{fi, Sd} = 55 < 72,4 \text{ kN}$$

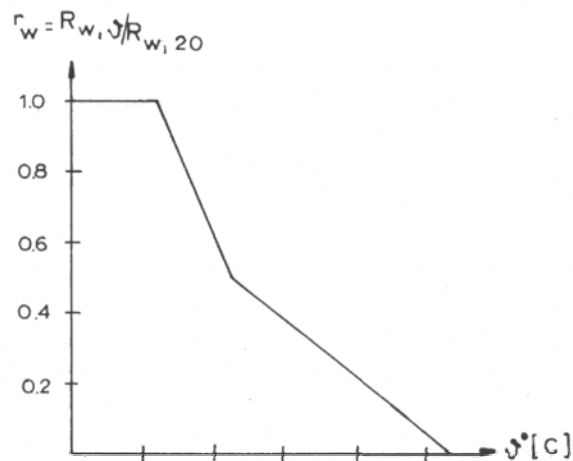
Συγκολλητές συνδέσεις

Στην περίπτωση συνδέσεων μέσω παχέων χαλύβδινων πλακών, η τέμνουσα δύναμη μεταφέρεται από τη δοκό στο υποστύλωμα μέσω αφ' ενός των ραφών συγκόλλησης των πλακών με το πέλμα του υποστύλωματος, αφ' ετέρου δε, αν υπάρχουν, των διατμητικών ήλων. Ραφές δεν επιτρέπεται να παραλαμβάνουν δύναμη στη θερμή κατάσταση, αν το υποστύλωμα αποτελείται από κοίλη διατομή γεμισμένη με σκυρόδεμα. Στην περίπτωση αυτή η τέμνουσα μεταφέρεται μόνο μέσω των ήλων. Ο έλεγχος γίνεται και εδώ ακριβώς όπως στην περίπτωση των κοχλιωτών συνδέσεων. Οι ταχύτητες θέρμανσης των διατμητικών ήλων και των ραφών συγκόλλησης δίνονται στον Πίνακα 10. Για τους ήλους διακρίνεται η περίπτωση που η πλάκα καλύπτεται ή όχι από τη δοκό.

Τύπος σύνδεσης		
Διατμητικοί ήλοι	$\frac{d\theta}{dt} = 11 - 0,05d$ [°C/min] $5,0 \leq d\theta/dt \leq 9,5$ $\min t_p = 30$ mm	$\frac{d\theta}{dt} = 8,5 - 0,05d$ [°C/min] $3,5 \leq d\theta/dt \leq 7,0$ $\min t_p = 30$ mm
Εξωραφές	άνω $d\theta/dt = 6,5$ °C/min κάτω και πλευρικές $d\theta/dt = 9,5$ °C/min	

Πίνακας 10 Ταχύτητα θέρμανσης διατμητικών ήλων και εξωραφών

Η αντοχή των ραφών και των διατμητικών ήλων σε υψηλές θερμοκρασίες δίνεται από το Σχ.22. Η πορεία ελέγχου είναι η ίδια όπως στις κοχλιώσεις.



Σχήμα 22 Μειωτικός συντελεστής διατμητικής αντοχής εξωραφών και διατμητικών ήλων σε υψηλές θερμοκρασίες

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bode, H., «Verbundbau, Werber 0 Verlag», Dusseldorf 1987.
2. Johnson, R.P., “Composite Construction 1 and 2”.
3. Hart, F., Henn, W., Sontag, H., “Multi – Storey Buildings in Steel”, Second Edition, Collins, London 1985.
4. Lawson, R.M., “Design of Composite Slabs and Beams with Steel Decking”, SCI – Publication 055, 1989.
5. Bucheli, P., Crisinel M., “Verbundtrager im Hochbau, Schweizerische Zentalstelle fur Stahlbau (SZS)”, Zurich 1982.
6. Muess, H., “Verbundtrager im Stahlhochbau”, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin / Munchen/Dusseldorf 1973.
7. Eurocode 4 : “Design of Composite Steel and Concrete Structures” : ENV 1994-1.1 : Part 1.1 : General rules and rules for building, CEN (in press).
8. Eurocode 3 : “Design of Steel Structures”: ENV 1993-1-1. Part 1.1 : General rules and rules for buildings. CEN, 1992.
9. Dowling, P.J., Knowles, Owens, G., “Structural Stell Design”, Steel Construction Institute, 1988 (UK).
10. Eurocode 1 : “Basis of Design and Actions on Structures”, CEN (in preparation).
11. Stark, J.W.B., van Hove, B.W.E., “Composite Steel and Concrete Beams with Partial Shear Connection”, HERON, TNO-Building and Construction Ressearch/TU-Delft pyblication, 2nd quarter 1990 (UK).
12. Eurocode 2: “Design of Concrete Structures”. ENV 1992-1-1: Part 1.1: General rules and rules for buildings, CEN, 1992.
13. Johnson R.P., “Composite Structures of Steel and Concrete : Volume 1 : Beams, Columns, Frames and Applications in Building”, Granada, 1975.
14. Johnson R.P. and Buckby R.J., “Composite Structures of Steel and Concrete : Volume 2 : Bridges”, Second edition, Collins, 1986.
15. Brett P.R., Nethercot D.A. and Owens G.W., “Continuous Construction in Steel for Roofs and Composite Floors”, Structural Engineer, Volume 65A, October 1987, pp.355-368.
16. Johnson R.P. and Hope Gill M.C., “Tests on Three Three – Span Continuous Composite Beams”, Proc.Inst.Civ.Engrs. Part 2, Vol. 61, June 1976, pp.367-381.
17. Ansourian P., “Experiments on Continuous Composite Beams”, Proc. Inst. Civ. Engrs., Part 2, vol. 71, December 1981, pp. 25-51.
18. ENV 206 “Concrete – Performance, Production Placing and Compliance Criteria”, CEN.
19. Comite Euro – International du Beton – Federation Internationale de la Precontrainte (CEB-FIP), CEB FIP Model Code for concrete structures, Paris,

London, Berlin, 1978.

20. http://library.tee.gr/digital/m1964/m1964_193.pdf, Σταθόπουλος «Σύμμικτες Γέφυρες»,
21. Esdep Working Group 17, “Seismic Design”.
22. Ιωάννης Βάγιας, «Σύμμικτες Κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα», εκδόσεις «ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ».
23. Φωτογραφικό υλικό με εισήγηση του Πολιτικού Μηχανικού Τ.Ε. Ζαρμακούπη Περικλή, Σύμμικτη Κατασκευή επί της Λεωφ. Συγγρού δίπλα από το ξενοδοχείο Lydra Marriott.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**Φωτογραφικό Υλικό με εισήγηση του
Πολιτικού Μηχανικού Τ.Ε.
Ζαμμακούπη Περικλή**