

ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

**ΓΕΩΡΓΙΑΚΩΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΖΑΦΕΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

Περίληψη

Είναι γνωστό ότι το σκυρόδεμα παρουσιάζει γενικά ικανοποιητική συμπεριφορά έναντι πυρκαγιάς σε σχέση με άλλα δομικά υλικά, εντούτοις ένα τέτοιο φαινόμενο σε μεγάλη έκταση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη στατική επάρκεια της κατασκευής. Ενώ για τις συνήθεις δράσεις (εντατικές καταστάσεις, ίδια βάρη, σεισμός κ.α.) υπάρχουν σαφείς μέθοδοι υπολογισμού, για την ειδική δράση που λέγεται <<πυρκαγιά>>, το φαινόμενο αντιμετωπίζεται περισσότερο εμπειρικά.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της επίδρασης της φωτιάς σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος (ιδιότητες υλικών, συμπεριφορά δομικών στοιχείων, αιτίες βλαβών στο φέροντα οργανισμό, είδη ζημιών) και στη συνέχεια η επισκόπηση μεθόδων ενίσχυσης μέσα από το παράδειγμα της μεγάλης φωτιάς στο Μινιόν το 1980.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απόκριση του οπλισμένου σκυροδέματος σε υψηλά θερμικά φορτία είναι θέμα που απασχολεί το μηχανικό σε δύο φάσεις, στη φάση του σχεδιασμού μιας κατασκευής με προαπαιτούμενο βαθμό πυρασφάλειας και στη φάση της εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας μετά από έκθεση της κατασκευής σε υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να αποφασιστεί ο βαθμός ενίσχυσης της. Σε επίπεδο σχεδιασμού μιας κατασκευής, ο μελετητής πρέπει να λάβει μέτρα για την περίπτωση πυρκαγιάς, τόσο προληπτικά όσο και κατασταλτικά. Τα προληπτικά (παθητικά) μέτρα συνιστούν τη δομική πυροπροστασία (επιλογή μη καιγόμενων υλικών), προβλέψεις που έχουν ενσωματωθεί στη δομική κατασκευή, οδεύσεις διαφυγής, διαμερισματοποίηση των χώρων του κτιρίου και πάνω απ' όλα η επάρκεια δομοστατικής αντοχής. Ως ενεργητικά (ή κατασταλτικά) μέτρα πυροπροστασίας εννοούμε το σύνολο των προγραμματισμένων δραστηριοτήτων, οι οποίες ενεργοποιούνται μόνο με την εμφάνιση ή κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς (δίκτυα πυρανίχνευσης, σήμανσης, συναγερμοί, συστήματα κατασβεστικών υλικών). [10]

2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

2.1. Τρόπος ανάπτυξης μιας πυρκαγιάς

Η εξέλιξη της πυρκαγιάς συμβαίνει σε τρία στάδια ανάλογα προς το ύψος της θερμοκρασίας και τη διάρκειά της.

- Στο πρώτο στάδιο που διαρκεί περίπου 15 έως 30 λεπτά η φωτιά εξαπλώνεται και οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν γρήγορα στους 800° έως 900° C.
- Στο δεύτερο στάδιο καίγεται ό,τι μπορεί να καεί. Πρόκειται όχι τόσο για δομικά υλικά και στοιχεία, όσο για τα περιεχόμενα ή αποθηκευμένα. Έτσι η διάρκεια αυτού

- του σταδίου εξαρτάται από την ποσότητα αυτών των πραγμάτων . Οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν λίγο ακόμη , ανάλογα προς τα φλεγόμενα μέχρι 1000° έως 1100° C
- Στο τρίτο στάδιο η πυρκαγιά υποχωρεί και οι θερμοκρασίες πέφτουν γρήγορα.

Η θερμοκρασία στην εστία της φωτιάς εξαρτάται από :

1. την ποσότητα υλικών που υπόκεινται σε ανάφλεξη
2. τον καπνό και την εκλυόμενη θερμότητα
3. την ύπαρξη ατμοσφαιρικού αέρα (π.χ. στο υπόγειο η πυρκαγιά επεκτείνεται μόνο υπό ρεύμα αέρος)
4. τη διάρκεια της πυρκαγιάς
5. την ειδική ταχύτητα καύσης [3]

2.2 Εκτίμηση μέγιστης θερμοκρασίας στην εστία της φωτιάς .

Αφετηρία για τη εκτίμηση των ζημιών πυρκαγιάς σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα , είναι η θερμοκρασία στην εστία της φωτιάς . Η εκτίμηση της μέγιστης θερμοκρασίας που εμφανίζεται στα διάφορα τμήματα του κτιρίου , στοιχείο που έχει πρωταρχική σημασία για οποιαδήποτε μεταγενέστερη έρευνα , είναι ιδιαίτερα δύσκολη και στηρίζεται σε εμπειρικές - προσεγγιστικές διαδικασίες. Ένας μακροσκοπικός τρόπος εκτίμησης της μέγιστης θερμοκρασίας που έχει αναπτυχθεί σε ένα χώρο , είναι η παρατήρηση των *χρωμάτων πυρακτώσεως* στα στερεά σώματα μέσα στο χώρο ανάπτυξης της πυρκαγιάς. Βάσει αυτών των χρωμάτων , που είναι διαφορετικά για κάθε σώμα , μπορεί να εκτιμηθεί η μέγιστη θερμοκρασία .

Μετά την πυρκαγιά είναι δυνατόν από την τήξη των δομικών υλικών , τα κατακείμενα και τα χρησιμοποιήσιμα , να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς το ύψος της θερμοκρασίας .

ΥΛΙΚΟ	° C	ΥΛΙΚΟ	° C
Αλουμίνιο	658	Χαλκός	1083
Μόλυβδος	327	Νικέλιο	1455
Χρώμιο	1800	Αργυρος	960
Σίδηρος (πολύς C)	1200	Ψευδάργυρος	420
Σίδηρος καθαρός	1500	Σόδα	850
Χυτοσίδηρος	1200	Μαγειρικό αλάτι	802
Χρυσός	1063		

Βασικά κριτήρια για τον μακροσκοπικό έλεγχο του σκυροδέματος είναι η μεταβολή του χρωματισμού και της υφής του . Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η μεταβολή του χρώματος του σκυροδέματος σε συνάρτηση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας .Σημειώνεται ότι η μεταβολή του χρώματος επηρεάζεται από την προέλευση των αδρανών (σύσταση πετρώματος) και συνεπώς στη χώρα μας , όπου τα αδρανή προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα , σε αντίθεση με τις Ευρωπαϊκές χώρες , το κριτήριο αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται με επιφύλαξη.

ΧΡΩΜΑ ΠΥΡΑΚΤΩΣΕΩΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΕ ° C
Στο σκοτάδι κόκκινο	Περίπου 500°
Κόκκινο βυσσινί	700°
Βαθύ βυσσινί	800°
Βυσσινί	900°
Ανοιχτό κόκκινο	1000°
Βαθύ πορτοκαλί	1200°
Ερυθρόλευκο	1300°
Ισχυρά λευκοπυρωμένο	1350°
Αστραφτερά λευκό	1500°

Ένας εναλλακτικός τρόπος εκτίμησης της θερμοκρασίας στα δομικά στοιχεία , γίνεται σύμφωνα με τον τύπο και το παράδειγμα που παρατίθεται παρακάτω.

Για κατοικίες, γραφεία και καταστήματα η θερμοκρασία στην εστία της φωτιάς μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής :

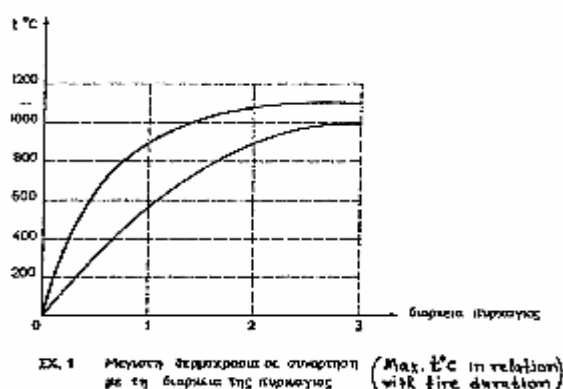
$$T = 40 \sqrt{t} \text{ (λεπτά)} + 600^\circ \text{ σε } ^\circ\text{C} < 1200^\circ, \text{ ισχύει για } t \geq 10 \text{ λεπτά}$$

Παράδειγμα : Διάρκεια φωτιάς $t = 90 \text{ min} \rightarrow T = 40 \sqrt{90} + 600 = 380 + 600 = 980^\circ$

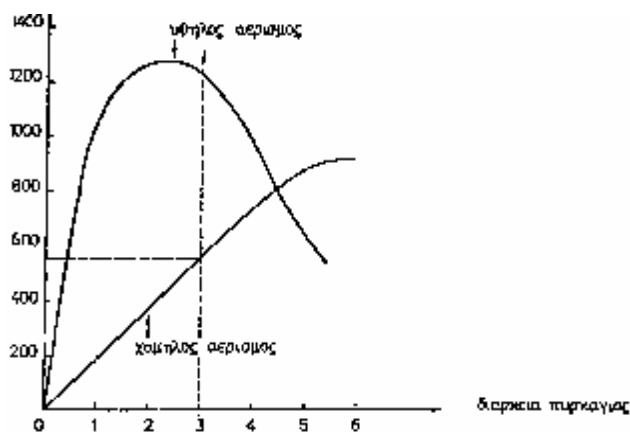
Βέβαια η θερμοκρασία στην επιφάνεια της κατασκευής βρίσκεται περίπου 100° έως 150° (κάτω της θερμοκρασίας στην εστία της φωτιάς) .Επομένως η θερμοκρασία στην κατασκευή ανέρχεται τότε :

$$T(x) = 980 - (100 \text{ έως } 150) = 830^\circ \text{ έως } 880^\circ \text{ C}$$

Η μέγιστη θερμοκρασία όμως είναι συνάρτηση δύο παραγόντων : της διάρκειας της φωτιάς και του βαθμού αερισμού. Σύμφωνα με το Σχ.1 (νομογράφημα του DIN 4102/1965) που αφορά συνηθισμένες πυρκαγιές κτιρίων , η μέγιστη θερμοκρασία είναι 1000° - 1100° C . Η εκτίμηση αυτή είναι πολύ υψηλή ιδιαίτερα δε για το υπόγειο και πιθανώς το ισόγειο και τους χαμηλούς ορόφους.



Η άποψη αυτή ενισχύεται από τις ενδείξεις του Σχ. 2 (J.K.Green 1971) , που αφορά την επίδραση του αερισμού στη διαμόρφωση της μέγιστης θερμοκρασίας.



Σχ. 2 Επίδραση βαθμού αερισμού στη διαμόρφωση της μέγιστης θερμοκρασίας

Ενδεικτικά αναφέρεται το πολυώροφο κτιριακό συγκρότημα του Μινιόν , στο οποίο η μέγιστη θερμοκρασία εκτιμήθηκε για τους πάνω ορόφους σε 800° - 900° C , για τους κάτω ορόφους σε 300°- 400° C , ενώ στα υπόγεια , όπου μόνο τα εύφλεκτα υλικά καταστράφηκαν σε 100°-200° C . [1],[3]

2.3.ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

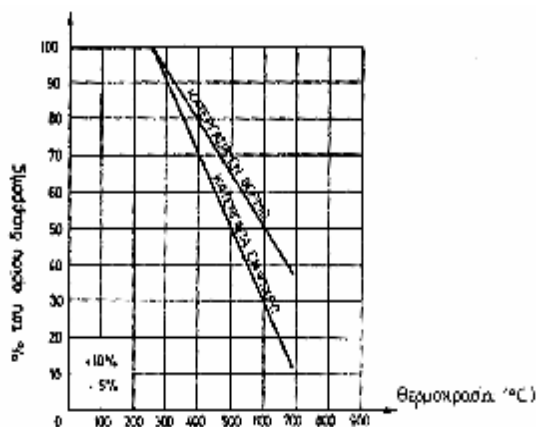
Είναι δεδομένο πως δομικά υλικά με απεριόριστη αντοχή στις θερμοκρασίες των συνηθισμένων πυρκαγιών δεν υπάρχουν άρα η καταστροφή τους είναι ζήτημα χρόνου έκθεσης . Αλλά και η συμπεριφορά των υλικών (από άποψη ανάφλεξης , διατήρησης της μορφής και των μηχανικών ιδιοτήτων σε πυρκαγιά) εξαρτάται από τις διαστάσεις και τον τρόπο στερέωσης του στοιχείου του οποίου αποτελούν μέρος. Έτσι δε μπορούμε να μιλάμε για αντοχή υλικών σε πυρκαγιά αλλά μόνο για αντοχή δομικών στοιχείων . Όμως η αντοχή αυτών των στοιχείων συναρτάται με τις ιδιότητες των υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες , οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω συνοπτικά :

2.3.1.ΧΑΛΥΒΑΣ

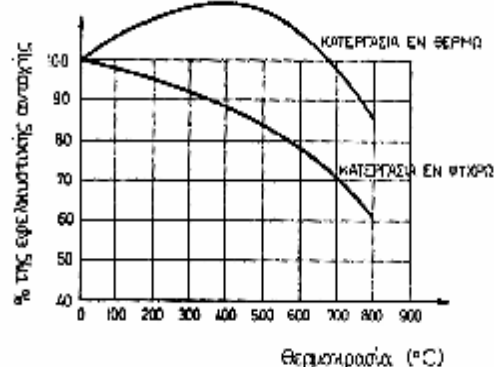
Παρότι άκαυστο υλικό ο χάλυβας παρουσιάζει αρκετά προβλήματα όταν εκτεθεί στη φωτιά σε σχέση με το σκυρόδεμα . Σύμφωνα με εργαστηριακές δοκιμές , σε μαλακό χάλυβα φαίνεται ότι η αντοχή (σε εφελκυσμό) αυξάνει αρχικά για θέρμανση μέχρι 250 βαθμούς για να επανέλθει στην αρχική στους 400 βαθμούς , από όπου πέφτει ξανά και στους 550 έχει φτάσει στην επιτρεπόμενη τάση με τους συνηθισμένους συντελεστές ασφαλείας. Πάνω από αυτή τη θερμοκρασία έχουμε αστοχία του δομικού στοιχείου. Ένα χαρακτηριστικό του χάλυβα είναι ότι δεν ανακτά την αρχική του αντοχή μετά από απόψυξη.

Γενικά προτιμούνται οι χάλυβες με θερμή εξέλαση μιας και οι χάλυβες «εν ψυχρώ», ναι μεν αποκτούν υψηλή αντοχή , έχουν όμως σαφώς ταχύτερη πτώση , γιατί με την

ανόπτηση που επέρχεται χάνεται η πρόσθετη αντοχή και η κρίσιμη θερμοκρασία τους είναι 400 έως 450 βαθμοί (Σχ. 3 και Σχ.4).



Σχ. 3: Μεταβολή σφ. διαρροής χαλύβων οπλισμού σε υψηλές θερμοκρασίες "πριν" την διάρκεια της πυρκαγιάς.



Σχ. 4: Ελαστικότητα αντοχή χαλύβων οπλισμού σε υψηλές θερμοκρασίες "μετά" την απόψυξη.

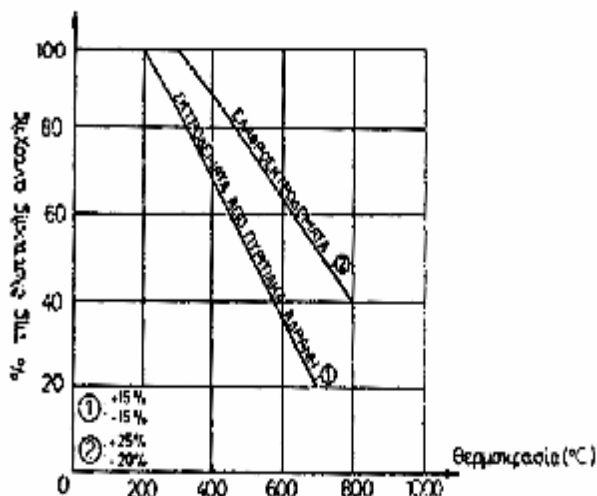
2.3.2. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το μπετόν είναι καλύτερο από τα συνήθη δομικά υλικά στη συμπεριφορά σε πυρκαγιά για τους εξής λόγους :

- Τα δομικά στοιχεία , που κατασκευάζονται από αυτό είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερης μάζας από τα αντίστοιχα χαλύβδινα ή ξύλινα , έτσι η ανύψωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του στοιχείου καθυστερεί.
- Το σκυρόδεμα , ακόμα και σε ξηρό περιβάλλον περιέχει νερό.

Το είδος των αδρανών παίζει σημαντικό ρόλο : Τα ασβεστολιθικά αδρανή (που χρησιμοποιούνται στη χώρα μας) είναι προτιμότερα (γιατί ο ασβεστόλιθος χάνει την ικανότητά του στους 900° C) σε σχέση με τα πυριτικά .

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα (Σχ. 5) που συσχετίζει τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος με τη θερμοκρασία . Η συμπεριφορά των ασβεστολιθικών αδρανών βρίσκεται κάπου μεταξύ των 2 καμπυλών. [5] , [8]



Σχ. 5: Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες.

2.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Ο./Σ. ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η συμπεριφορά δομικών στοιχείων απέναντι στη φωτιά δεν εξαρτάται μόνο από το υλικό αλλά και από τη μορφή, τις διαστάσεις και τον τρόπο σύνδεσης και συνεργασίας με τα άλλα φέροντα στοιχεία.

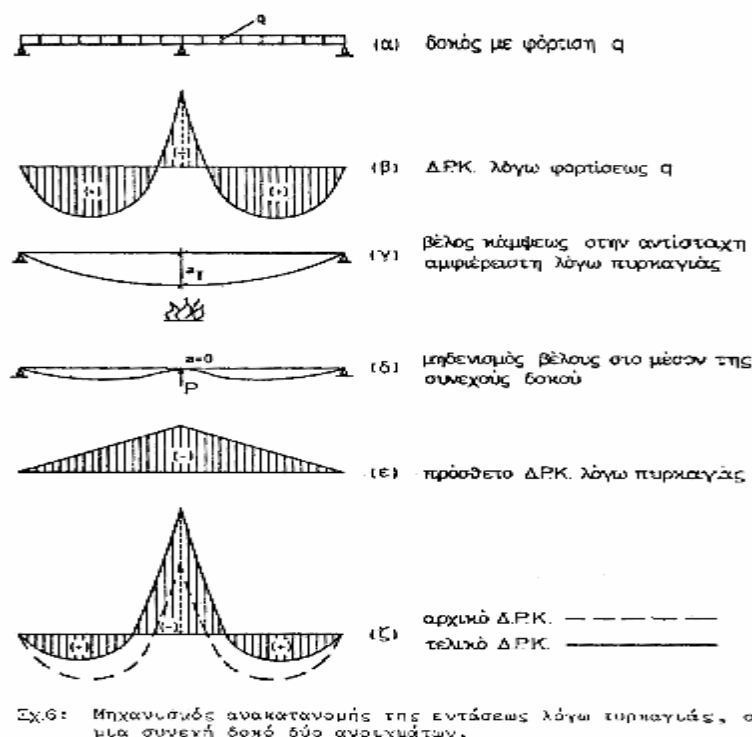
2.4.1. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Ο κυριότερος κίνδυνος είναι η απόσχιση – αποφλοίωση του μπετόν ιδίως στις γωνίες, οπότε ο οπλισμός είναι εκτεθειμένος στην προσβολή των φλογών και αν θερμανθεί πάνω από 600° φτάνει το όριο διαρροής του για συνήθεις φορτίσεις. Πάντως ακόμα και αν αποφλοιωθούν οι επιφάνειες, αν οι διαστάσεις του στύλου είναι μεγάλες, ο στύλος δεν καταρρέει. Υποστυλώματα με διατομή πάνω από 40×40 αντέχει σε πυρκαγιά 1 ½ ώρα με το φορτίο του στατικού υπολογισμού. Υποστυλώματα 25×25 cm αντέχουν σε πυρκαγιά 1 ώρα. Πρόβλημα υπάρχει για υποστυλώματα πλευράς 20cm, που κατά τη πυρκαγιά δεν καταστρέφονται από υπέρβαση αντοχής σε θλίψη αλλά από λυγισμό. Έτσι συμπεραίνουμε πως πρόσθετη επένδυση χρειάζεται κατά κανόνα μόνο σε υποστυλώματα με διάσταση κάτω των 25 cm.

2.4.2. ΔΟΚΟΙ

Σημαντικό ρόλο στην αντοχή σε πυρκαγιά παίζουν το πλάτος διατομής της δοκού, το βάθος του οπλισμού από την επιφάνεια και η ύπαρξη πυκνού επιφανειακού οπλισμού (συνδετήρων). Ουσιαστική σημασία έχει το σύστημα στατικής λειτουργίας της δοκού: αμφιέριστες δοκοί ή πλαίσια είναι ασφαλέστερα, γιατί από τη θερμοκρασία προσβάλλεται ο κάτω οπλισμός (ανοιγμάτων), ενώ στις στηρίξεις ο οπλισμός είναι κοντά στο δάπεδο (του υπερκείμενου ορόφου), όπου κυκλοφορεί ο εισερχόμενος αέρας και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες. Έτσι εάν ο οπλισμός των ανοιγμάτων φθάσει στο όριο διαρροής θα γίνει ανακατανομή των ροπών με αύξηση των ροπών στήριξης, τις οποίες ο εκεί ψυχρότερος

οπλισμός είναι ικανός να αναλάβει . Για το λόγο αυτό ένα καλό μέτρο αύξησης της ικανότητας των συνεχών δοκών είναι η συνέχιση μέρους των ράβδων στο άνοιγμα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο μηχανισμός ανακατανομής της ροπής σε μια συνεχή δοκό δύο ανοιγμάτων (Σχ. 6).



2.4.3. ΠΛΑΚΕΣ

Πλάκες σκυροδέματος συνήθους πάχους 8-9 cm (με χαλαρό οπλισμό) θεωρούνται από τους κανονισμούς ανασταλτικές του πυρός (αντοχή 30 λεπτών). Πλάκες πάνω από 10 cm θεωρούνται πυράντοχες για 1,5 ώρα . Επαύξηση της αντοχής συνεχών πλακών γίνεται με την τοποθέτηση οπλισμού στο πάνω μέρος των ανοιγμάτων , ως επέκταση του οπλισμού στηρίξεων .

Η φορτοϊκανότητα μιας πλάκας είναι συνάρτηση του βέλους κάμψης και της ταχύτητας αύξησής του. Πλήρης απώλεια φορτοϊκανότητας παρουσιάζεται όταν ισχύουν οι παρακάτω τιμές στους τύπους :

- Βέλος κάμψης : $f = l^2 / 800d^2$ (cm) , l το μήκος ανοίγματος (m) και d ύψος διατομής (cm)
- Ταχύτητα αύξησης βέλους : $u = l^2 / 900d$ [mm/λεπτ] [5] , [8]

2.5. ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Οι βλάβες οπλισμένου σκυροδέματος επικεντρώνονται σε :

(α) βλάβες που προέρχονται από την επίδραση της θερμοκρασίας στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών σκυροδέματος και χάλυβα .

(β) βλάβες που προέρχονται από την πρόσθετη εντατική κατάσταση , που επιφέρει η θερμοκρασία.

2.5.1. ΕΙΔΗ ΒΛΑΒΩΝ

- 1)Αποσύνθεση (ασβεστοποίηση) του σκυροδέματος (κυρίως σε πλάκες)
- 2)Επιφανειακές ρηγματώσεις διάφορου βαθμού
- 3)Αποφλοιώση σκυροδέματος
- 4)Αποκοπή γωνιών
- 5)Απόσχιση σκυροδέματος σε υποστρώματα και δοκούς
- 6)Αχρήστευση οπλισμού από παραμόρφωση (διαστολή) ή αποκόλληση από το σκυρόδεμα
- 7)Οξείδωση οπλισμού
- 8)Σημαντικό βέλος κάμψης προβόλων , κλιμάκων και πιθανά πλακών
- 9)Πιθανή επικάλυψη χλωριδίων λόγω καύσης στοιχείων από PVC και τήξης της εξηλασμένης πολυστερίνης , η οποία χρησιμοποιείται ως μονωτικό .Ουσιαστικά πρόκειται για λεπτότατες στρώσεις υδροχλωρικού οξέος και δημιουργούν οξειδώσεις δομικών στοιχείων κατασκευής.

2.5.2 ΑΙΤΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ ΛΟΓΩ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Οι ζημιές και ο κίνδυνος κατάρρευσης κατά την πυρκαγιά οφείλονται στις ακόλουθες αιτίες :

- Ο χάλυβας χάνει την αντοχή του λόγω της θερμότητας και μηκώνεται υπέρμετρα.
- Το σκυρόδεμα υπόκειται λόγω εμποδιζόμενης θερμικής διαστολής σε τάσεις εξαναγκασμού και θραύεται.
- Η θλιβόμενη ζώνη καμπτόμενων φορέων αστοχεί εν μέρει , λόγω υπερβολικής μήκυνσης του χάλυβα .
- Το μπετόν εκρήγνυται λόγω αλματώδους ογκομετρικής μεταβολής των συστατικών του από χαλαζία .
- Στο σκυρόδεμα αναπτύσσονται ανομοιόμορφες θερμικές τάσεις με μερική καταστροφή του , λόγω επίδρασης του νερού κατάσβεσης. Το τελευταίο προκαλεί μεγάλες διαταράξεις μιας και η απότομη ψύξη δημιουργεί τάσεις στο σκυρόδεμα (ιδιαίτερα σε θερμοκρασίες άνω των 300° C) . [9]

2.6. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΧΑΛΥΒΑ- ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η έκθεση του οπλισμένου σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζει τόσο τα μηχανικά χαρακτηριστικά όσο και τη συνάφεια σκυροδέματος-οπλισμού. Η συνάφεια εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως είναι : η ποιότητα σκυροδέματος , είδος και μέγεθος αδρανών μέσα στο σκυρόδεμα , είδος επιπόνησης , επιφάνεια ράβδου οπλισμού , επικάλυψη , θέση ράβδου σε σχέση με τη φορά εντύπησης .

Η θερμοκρασία επηρεάζει άμεσα τη συνάφεια :

- λόγω της διαφοροποίησης των συντελεστών θερμικής διαστολής σκυροδέματος – χάλυβα , που στους 200° C είναι ήδη εμφανής (Πίνακας 2)
- λόγω της πτώσης της θλιπτικής και της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τα αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων εναπομένουσας αντοχής συνάφειας μετά από θέρμανση έδειξαν ότι η εναπομένουσα αντοχή συνάφειας παρακολουθεί την πτώση της θλιπτικής αντοχής με τη θέρμανση και μπορεί να εκφρασθεί συναρτήσει της εναπομένουσας θλιπτικής αντοχής . Ο ρυθμός πτώσης της αντοχής σε συνάφεια είναι μικρότερος από αυτόν της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μέχρι τη θερμοκρασία των 300° C περίπου για σκυροδέματα αντοχής πάνω από 30 Μpa. Μέχρι τη θερμοκρασία των 150° C δεν υπάρχει μείωση της συνάφειας για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος. Η συνάφεια μειώνεται στο 50% της αρχικής με θέρμανση στους 400° C. Ένα γενικό συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί είναι πως υψηλή θλιπτική αντοχή και μεγάλες διαμέτρου ράβδοι ευνοούν τη διατήρηση υψηλότερων ποσοστών αντοχής σε συνάφεια και μετά τη θέρμανση.

Πίνακας 1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΕΝΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ
150° – 200° C	87 – 98 %
400° C	40 – 45 %
600° C	70 %

Πίνακας 2

T °C	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	ΧΑΛΥΒΑΣ
20	1,25x10 ⁻⁵	1,25x10 ⁻⁵
200	2,00x10 ⁻⁵	1,40x10 ⁻⁵
400	3,00x10 ⁻⁵	1,60x10 ⁻⁵
600	3,00x10 ⁻⁵	1,80x10 ⁻⁵

[6]

3. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΝΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η προσέγγιση των αντοχών δεν προκύπτει αποκλειστικά από την εκτίμηση της αναπτυχθείσας θερμοκρασίας , αφού οι βλάβες και το είδος τους ποικίλλει όχι μόνο μεταξύ δομικών στοιχείων αλλά και μεταξύ των θέσεων τους σε μια κατασκευή. Έτσι η επιθεώρηση είναι απαραίτητα ο πρώτος έλεγχος για την αποτίμηση της κατάστασης ενός δομήματος , που μαζί με μια σειρά εγκεκριμένων εργαστηριακών και επιτόπου του έργου δοκιμών , συμβάλλουν στην εκτίμηση της αντοχής των διαφόρων μελών μιας κατασκευής . Πρόκειται για τις έμμεσες (μη καταστροφικές μεθόδους) και τις ελάχιστα καταστρεπτικές , οι οποίες είναι και πολύ πιο αξιόπιστες από τις πρώτες. Η εξόλκευση ήλου , η μέθοδος των υπερήχων ,

της εξόλκευσης ήλου , του κρουσίμετρου (η οποία συγκεκριμένα δεν ενδείκνυται στην περίπτωση σκυροδέματος που έχει πληγεί από φωτιά) και αντίστοιχα η πυρηνοληψία , η ενανθράκωση και οι ηλεκτρικές μέθοδοι είναι χαρακτηριστικές για κάθε κατηγορία. [7]

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σε ένα κτίριο που έχει υποστεί βλάβες , μετά την καταγραφή των ζημιών και τους μακροσκοπικούς και εργαστηριακούς ελέγχους που πρέπει να γίνονται , ακολουθεί η *μελέτη σκοπιμότητας*. Αυτή έχει ως αντικείμενο κατά πρώτο λόγο την σύγκριση της δαπάνης επισκευής με την δαπάνη κατεδάφισης και επανακατασκευής και κατά δεύτερο λόγο την επιλογή της μεθόδου επισκευής , στην περίπτωση που αυτή είναι οικονομικότερη. Δηλαδή πρέπει όχι μόνο το κτίριο να είναι επισκευάσιμο από στατικής άποψης , αλλά και από πλευράς κόστους να μην έχει επέλθει <<λογιστική κατάρρευση>>. Γι αυτό πρέπει να γίνεται πλήρης μελέτη , να συγκρίνονται τα αποτελέσματα ώστε να παρθεί η σωστή απόφαση.

Όσον αφορά την επιλογή της μεθόδου επισκευής , αυτή εκτός από το κόστος εξαρτάται και από τον βαθμό της βλάβης , τη διάρκεια της επέμβασης , το μέγεθος της ενόχλησης των ενοίκων καθώς επίσης και από τη διαθεσιμότητα καταλλήλου εξειδικευμένου προσωπικού.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο , η συνηθισμένη θεραπευτική τακτική είναι :

- Απομάκρυνση της επιφανειακής στρώσης του κατεστραμμένου σκυροδέματος πάχους περίπου 3 έως 5 cm . Ο θρυμματισμός της στρώσης γίνεται μέχρι να αποκαλυφθεί ο οπλισμός.
- Καθάρισμα και τράχυνση της επιφάνειας με αμμοριπή , σε βαθμό που να μη δημιουργούνται αισθητές αιχμές ή απότομες μεταβολές της διατομής , χωρίς να έχουμε απότομη μεταβολή του πάχους του σκυροδέματος πλήρωσης.
- Ευθυγράμμιση των ενδεχομένως καμπυλωμένων οπλισμών. Εάν πρόκειται για διελασμένους <<εν ψυχρώ>> χάλυβες που ζεστάθηκαν πάνω από τους 300° C , προσθήκη νέων ράβδων ανάλογα προς την απώλεια αντοχής και στερέωση τους .
- Ενσωμάτωση νέων συνδετήρων και ενδεχομένως διαμηκών ράβδων όπου χρειάζονται , στις δοκούς και στα υποστυλώματα
- Αποκατάσταση της παλιάς διατομής με εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα
- Ανθεκτικό σφράγισμα των δημιουργημένων ρωγμών

[9]

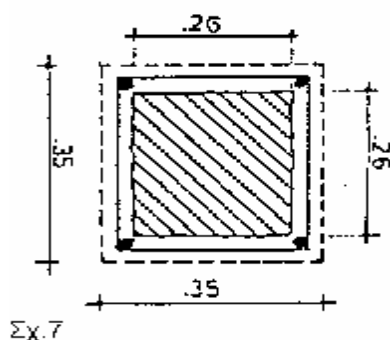
Όσον αφορά την πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στο υποκατάστημα του Μινιόν το 1980 και τον τρόπο επισκευής του που παρουσιάζεται εκτενέστερα , αξίζει να αναφέρουμε ότι το κτιριακό του συγκρότημα περιελάμβανε πέντε πολυώροφα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα , το καθένα κτισμένο σε διαφορετική χρονολογία .Έτσι ανάλογα με τις βλάβες που προκάλεσε η φωτιά , οι μέθοδοι επισκευής που επιλέχθηκαν ήταν:

1. Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα σε όλα τα στοιχεία που χρειάζονταν ενίσχυση .

2. Μανδύες από άοπλο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα τοπικά στα στοιχεία που δεν χρειάζονταν ενίσχυση αλλά εμφάνιζαν αποφλοιώσεις και περιορισμένες αποκαλύψεις οπλισμών.
3. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα σε λίγες περιπτώσεις υποστύλωμάτων του υπογείου , όπου η μεγάλη αύξηση της διατομής τους δεν παρουσίαζε λειτουργικά προβλήματα .
4. Πλήρωση όλων των ρωγμών με εποξειδικές ρητίνες
5. Κατεδάφιση και ανακατασκευή με έγχυτο σκυρόδεμα του τελευταίου ορόφου και όλων των πλακών που παρουσίαζαν μεγάλο βέλος κάμψης .

Σε περιπτώσεις που προβλέπεται η αφαίρεση της επιφανειακής στρώσης του σκυροδέματος σε αρκετό βάθος, αυτό σημαίνει ότι η διατομή των στοιχείων και συνεπώς και η φέρουσα ικανότητα τους μειώνεται αισθητά. Επειδή λοιπόν ο φέρων οργανισμός χάνει ένα μέρος της φορτοϊκανότητάς του , χρειάζεται προσωρινή υποστύλωση , η οποία μπορεί να έχει πραγματοποιηθεί και κατά το στάδιο της έρευνας , πριν δηλαδή ακόμα εκτιμηθούν οι βλάβες της κατασκευής.

Βλέποντας το και στην πράξη , όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα , σε ένα βλαμμένο υποστύλωμα του πολυκαταστήματος με διαστάσεις 35x35 , κατά την προετοιμασία για την κατασκευή του μανδύα , η τελική διάστασή του ήταν 26x26, δηλαδή η επιφάνεια μειώθηκε κατά 45% . Αν σημειώσουμε ότι στο στάδιο αυτό είναι αμφίβολο αν ο οπλισμός είναι σε θέση να παραλάβει θλιπτικές τάσεις λόγω απουσίας δυνάμεων συνάφειας , αμέσως γίνεται αντιληπτό ότι το υποστύλωμα χάνει προσωρινά πάνω από το 50% της φέρουσας ικανότητάς του.



Στην περίπτωση μάλιστα του παλαιότερου κτιρίου που χρειάστηκε επισκευή , έγινε γενική υποστύλωση όλων των ορόφων , συμπεριλαμβανομένου και του υπογείου.

Η υποστύλωση η οποία έγινε με μεταλλικούς πύργους, τοποθετήθηκε από κάτω προς τα πάνω και αφαιρέθηκε αντίστροφα μετά το πέρας των εργασιών , ώστε να επιτευχθεί ομαλή μετάβαση των φορτίων στο έδαφος χωρίς να υπάρχει κίνδυνος προσωρινής υπερφόρτισης ορισμένων στοιχείων. Στα μεταγενέστερα κτίρια προσωρινή υποστύλωση έγινε μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις επισκευής υποστύλων με μικρές διαστάσεις ή πλακών και δοκών με μεγάλα ανοίγματα , κάτι που ενισχύει το γεγονός ότι όσο μεγαλύτερες διαστάσεις έχουμε τόσο καλύτερα συμπεριφέρονται τα δομικά στοιχεία έναντι πυρκαγιάς.

4.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Οι εργασίες που αφορούν την προετοιμασία των επιφανειών των στοιχείων που ενισχύονται με μανδύα, περιέλαβαν την καθαίρεση της σαθρής στρώσης του σκυροδέματος, την απομάκρυνση των χαλαρών κομματιών και τη δημιουργία επίπεδων και τραχειών επιφανειών, οι οποίες έγιναν με καλέμι, μικρή αερόσφυρα και με εκτόξευση άμμου με πεπιεσμένο αέρα (αμμοβολή).

Έγινε επίσης αποκάλυψη και καθαρισμός των υπαρχόντων ράβδων οπλισμού που σύμφωνα με τη μελέτη επρόκειτο να συνδεθούν με τους οπλισμούς των μανδυνών. Ακολούθησε η πλήρωση των πάσης φύσεως ρωγμών με εποξειδικές ρητίνες.

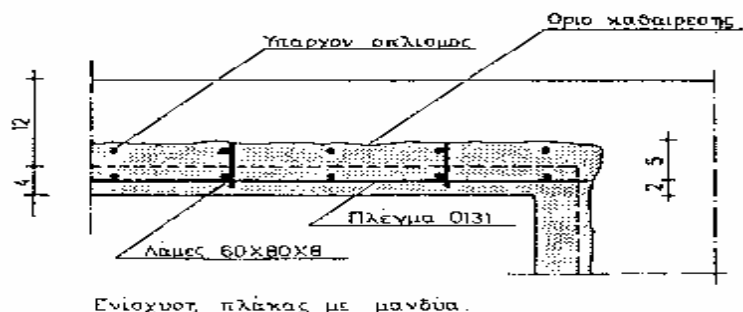
4.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ

Όσον αφορά το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, η εκτόξευση έγινε σε μια στρώση για τους μανδύες πάχους 4 cm και σε δυο στρώσεις για τους μανδύες πάχους 5-8 cm. Οι τελικές επιφάνειες διαμορφώθηκαν τελείως επίπεδες αμέσως μετά το τέλος της εκτόξευσης και διατηρήθηκαν υγρές για 48 ώρες με διαβροχή.

4.2.1 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΠΛΑΚΩΝ

Οι συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται από την διάταξη και τοποθέτηση του οπλισμού είναι :

- Η πλήρης κάλυψη των ράβδων από στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος ελάχιστου πάχους 2 cm
 - Η αποφυγή δημιουργίας κενών στον μανδύα
 - Η αποφυγή της μετακίνησης των οπλισμών κατά την εκτόξευση του σκυροδέματος
 - Η ομαλή ανάληψη των τάσεων που προβλέπει ο υπολογισμός
- Το θεωρητικό πάχος του μανδύα (που λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό) ήταν 4 cm ενώ το πραγματικό 7 cm (Σχ. 8).



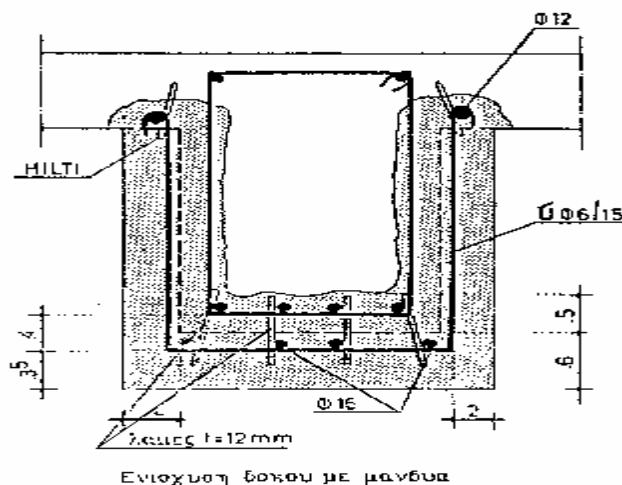
Σχ. 8

4.2.2. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΔΟΚΩΝ

Ισχύουν οι ίδιες αρχές που αφορούν τις πλάκες με εξαίρεση το πάχος της κάλυψης των ράβδων που πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 3,5 cm και τους συνδετήρες σε απόσταση μεγαλύτερη των 10 cm. Όπως φαίνεται στο Σχ. 9, οι ράβδοι ηλεκτροσυγκολλήθηκαν στον υπάρχοντα οπλισμό με λάμες ανά αποστάσεις 70 cm περίπου, ενώ οι συνδετήρες μέσω δυο εγκάρσιων ράβδων Φ12 στερεώθηκαν με HILTI στην πλάκα.

Στην περίπτωση που προβλεπόταν μανδύας στις γειτονικές πλάκες, οι συνδετήρες ηλεκτροσυγκολλήθηκαν στο πρόσθετο πλέγμα.

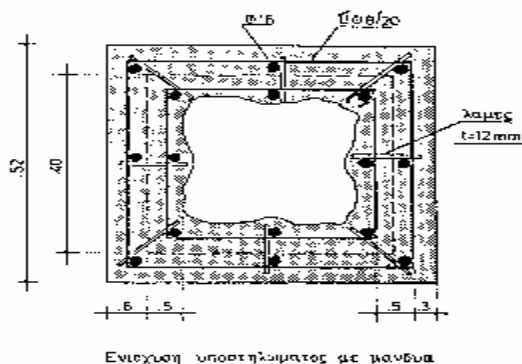
Σε περιπτώσεις δοκών με μεγάλα φορτία, που είχαν υποστεί σημαντικές βλάβες από την πυρκαγιά, οι συνδετήρες στην περιοχή των στηρίξεων περάστηκαν μέσα από οπές και περιέλαβαν όλη τη διατομή.



Σχ. 9

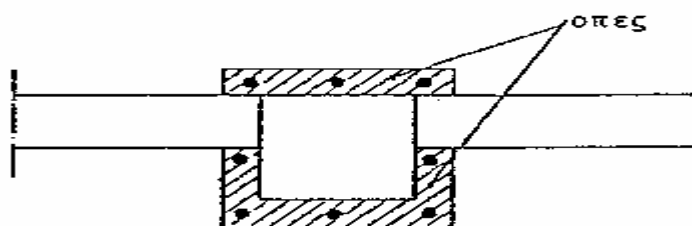
4.2.3. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Σε γενικές γραμμές ισχύουν οι ίδιες αρχές που αφορούν τις δοκούς. Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι ράβδοι ηλεκτροσυγκολλήθηκαν στον υπάρχοντα οπλισμό με λάμες ανά αποστάσεις 70 cm περίπου (Σχ. 10)



Σχ. 10

Ιδιαίτερο πρόβλημα είναι αυτό της καθ' ύψος σύνδεσης των μανδυνών των υποστυλωμάτων από όροφο σε όροφο. Επειδή λοιπόν στη χώρα μας, που λόγω σεισμών αναπτύσσονται αυξημένες τάσεις στους κόμβους, απορρίφθηκε η πρόταση της αγκύρωσης του κυρίου οπλισμού στους μανδύες των συντρεχουσών δοκών. Η λύση που εφαρμόστηκε τελικά ήταν η συνέχιση των οπλισμών του μανδύα με μορφή αναμονών στον επόμενο όροφο, παρόλο που παρουσίασε αυξημένο κόστος και τεχνικές δυσκολίες, μιας και όπως φαίνεται και στο Σχ. 11, χρειάστηκε να ανοιχτούν τρύπες στην πλάκα.

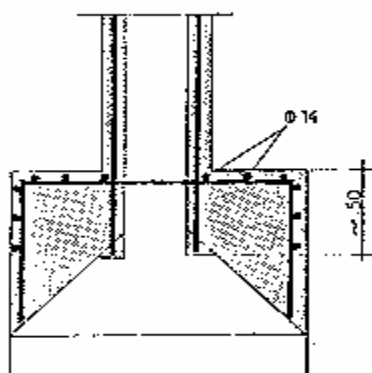


Σχ. 11

Υπήρχαν όμως περιπτώσεις που αποδείχτηκε αδύνατη η πλήρης εφαρμογή του συστήματος αυτού (περίπτωση που συντρέχουν 3 ή 4 δοκοί σ' ένα υποστυλώμα.) Έτσι όσες ράβδοι δεν ήταν εφικτό να επεκταθούν σαν αναμονές, ακυρώθηκαν στους μανδύες των δοκών.

Ένα ειδικό πρόβλημα παρουσιάστηκε στον πόδα των υποστυλωμάτων του ισογείου, αφού τα περισσότερα υποστυλώματα δεν χρειάζονταν επισκευή. Η ανάγκη σωστής διαμόρφωσης του κόμβου απαίτησε την προς τα κάτω επέκταση του οπλισμού του μανδύα σε μήκος 40d.

Η επέκταση αυτή οδήγησε στην κατασκευή τοπικού μανδύα στην κεφαλή των αντίστοιχων υποστυλωμάτων. Για τα λίγα που ενισχύθηκαν με μανδύα καθώς και γι' αυτά του υπογείου, έγινε ειδική διαμόρφωση στη θέση του πέδιλου (Σχ.12) [2]



Σχ. 12

4.3 ΣΥΜΒΟΛΗ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΟΣ

Σε πολλές κανονικά εξελισσόμενες πυρκαγιές από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι ζημιές περιορίζονται από το γεγονός ότι τα πρώτα 3 με 5 cm μπετόν που είναι απευθείας

εκτεθειμένα στη φωτιά , χάνουν μεν την αντοχή τους , αλλά συγχρόνως ενεργούν σαν προστατευτική στρώση του πυρήνα. Εκτός όμως από τη δεδομένη προστασία της επικάλυψης , η επιρροή του επιχρίσματος , αν είναι εξασφαλισμένη η πρόσφυσή του με το σκυρόδεμα , είναι ιδιαιτέρως ευνοϊκή. Αυτό έχει αποδειχθεί κατ' επανάληψη κατά τις συστηματικές αυτοψίες των κατασκευών. Συνήθη επιχρίσματα (ασβεστοτσιμεντοκονιάματα) , σε καλή όμως κατάσταση και με μικρό (σχετικά) πάχος (~10 έως 20 mm) , παρουσίασαν ικανοποιητική συμπεριφορά (χωρίς έντονες και εκτεταμένες εκτινάξεις / αποκολλήσεις) και προστάτευσαν σκυρόδεμα και οπλισμούς. Γι αυτό και ο Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων προβλέπει ότι ως πάχος επικάλυψης μπορεί να συνυπολογισθεί και το πάχος επιχρίσματος , υπό την προϋπόθεση ότι για $t > 15$ mm το επίχρισμα θα οπλίζεται με ελαφρό δομικό πλέγμα (π.χ. πυκνό κοτετσόσυρμα) που θα στερεώνεται με μηχανικά μέσα (π.χ. εκτοξευόμενα καρφιά) στα φέροντα στοιχεία. [4]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- 1)Υψηλός βαθμός αερισμού συνεπάγεται ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών
- 2)Αποφυγή χρήσης χάλυβα ψυχρής εξέλασης .
- 3)Ως στατικά συστήματα προτιμούνται συνεχείς δοκοί και πολύστυλα πλαίσια
- 4)Προτιμούνται τα ασβεστολιθικά αδρανή σε σχέση με τα πυριτικά
- 5)Εχοντας μεγάλες διατομές , η βραδεία διείσδυση της θερμοκρασίας δεν αχρηστεύει σε μικρό χρόνο μεγάλο ποσοστό της αντοχής του στοιχείου.
- 6)Επαύξηση της αντοχής στις πλάκες γίνεται με επέκταση μέρους του οπλισμού στα ανοίγματα στο πάνω πέλμα .
- 7)Καλή διάστρωση του σκυροδέματος ώστε να προκύψει επιφάνεια χωρίς ανωμαλίες και να αυξηθεί η αντοχή.
- 8) Υψηλή θλιπτική αντοχή και μεγάλες διαμέτρου ράβδοι ευνοούν τη διατήρηση υψηλότερων ποσοστών αντοχής σε συνάφεια και μετά τη θέρμανση.

Βιβλιογραφία

- [1]”Επίδραση της Πυρκαγιάς σε Φέροντες Οργανισμούς από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Α.ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ , Τεχνικά Χρονικά Α 1983 , Τεύχος 1-4
- [2]”Επισκευή του Φέροντα Οργανισμού από Οπλισμένο Σκυρόδεμα Κτιρίου που Έπαθε Ζημιές από Πυρκαγιά” , Α.ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ,Τεχνικά Χρονικά Α. 1986 ,Τόμος 6, Τεύχος 1
- [3]”Βλάβες Δομικών Έργων” , RUDOLF RYBICKI , Εκδόσεις Γκιούρδας 1981 Τόμος 2, σελ. 130-143
- [4] “Πρακτικές Συστάσεις για την Εκτίμηση της Αντοχής του Σκυροδέματος μετά από Πυρκαγιά”, Μ.ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ,Χ.ΣΠΑΝΟΣ Τεχνικά Χρονικά
- [5]”Πρακτικός Σχεδιασμός Κατασκευών Έναντι Πυρκαγιάς”, Θ.Π.ΤΑΣΙΟΣ, Γ.ΔΕΟΔΑΤΗΣ, Αθήνα 1984 σελ.19-25,117

[6]”Επιρροή της Αντοχής Σκυροδέματος στη Συνάφεια Χάλυβα-Σκυροδέματος μετά από Έκθεση σε Υψηλές Θερμοκρασίες”, ΒΑΔΑΚΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗ ΙΩΑΝΝΑ

[7]”Πρακτικά-Διδακτικά Εγχειρίδια , Μέθοδοι για την Επιτόπου Αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των Υλικών”, ΧΡ.ΣΠΑΝΟΣ –Μ.ΣΠΙΘΑΚΗΣ-Κ.ΤΡΕΖΟΣ Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας , Αθήνα 2002 σελ.34

[8]”Επίδραση της Πυρκαγιάς σε Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα” , ΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ , ΤΣΙΤΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ , 7^ο Φοιτητικό Συνέδριο <<Επισκευές Κατασκευών -01>> , Μάρτιος 2001

[9]”Επίδραση της Πυρκαγιάς σε Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα” , ΣΤΥΛΙΑΝΙΔΗΣ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ,Φοιτητικό συνέδριο επισκευών 1997

[10]”Στοιχεία Παθητικής και Ενεργητικής Προστασίας “, Ε.ΚΑΤΣΑΝΟΥ , Ι. ΧΑΤΖΗΘΑΝΟΣ