

## ΠΥΡΚΑΓΙΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΕΙΡΗΝΗ  
ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΡΕΤΗ**

### Περίληψη

Στις ακόλουθες σελίδες γίνεται μια απόπειρα παρουσίασης της επίδρασης υψηλών θερμοκρασιών στα δομικά υλικά του οπλισμένου σκυροδέματος. Επιπλέον εξετάζεται η επιρροή της θερμότητας πάνω στα δομικά μέρη της κατασκευής και προτείνονται κατάλληλοι μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης. Τέλος, παρουσιάζεται παράδειγμα εφαρμογής μεθόδων επισκευής σε βλαμμένο από εμπρησμό κτίριο στην Bangalore city της Ινδίας.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

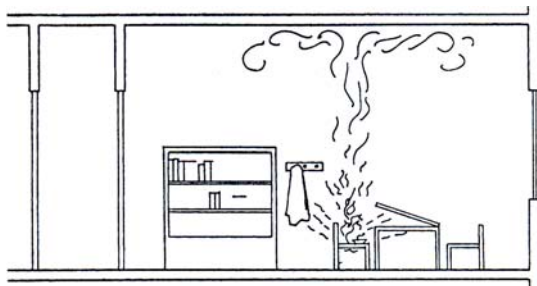
Η έκλυση υψηλών ποσοτήτων θερμότητας από μια πυρκαγιά επηρεάζει τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, όπως επίσης και τη συνάφεια σκυροδέματος–οπλισμού. Στην φάση σχεδιασμού ο μηχανικός καλείται να προσδώσει στην κατασκευή τον απαιτούμενο βαθμό πυρασφάλειας (ενεργητική–παθητική προστασία). Η ενεργητική προστασία αντιστοιχεί σε εκείνα τα μέτρα που έχουν σκοπό να μειώσουν την πιθανότητα εναύσεως και εξαπλώσεως μιας πυρκαγιάς. Αυτό εξαρτάται από την θέση και διάταξη του κτιρίου, την σωστή χρήση του, τα αντιπυρικά χωρίσματα, την θερμική μόνωση και την αποδοτικότητα των συστημάτων πυρανιχνεύσεως και πυροσβέσεως. Ενώ η παθητική προστασία αναφέρεται στην «ανθεκτικότητα» της κατασκευής. Ως ανθεκτικότητα ορίζεται:

- 1) Η Ικανότητα Ανάληψης Φορτίων
- 2) Η Διατήρηση Της Αντιπυρικής Ακεραιότητας → Διαχωριστικά στοιχεία (πλάκες, τοιχεία) εμποδίζουν τις φλόγες να διαπεράσουν
- 3) Η Διατήρηση Της Θερμομονωτικής Ικανότητας → Διαχωριστικά στοιχεία εμποδίζουν τη θερμότητα να μεταφερθεί στην μη εκτεθειμένη επιφάνειά τους ώστε η φωτιά να μην εξαπλώνεται σε γειτονικά πυροδιαμερίσματα [1]

### 2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Μια τυπική πυρκαγιά σε ένα πυροδιαμέρισμα (δηλαδή κάθε χώρος ο οποίος περιβάλλεται απ’όλες τις πλευρές είτε από τοίχους, είτε από πόρτες και παράθυρα) αποτελείται από τέσσερα στάδια:

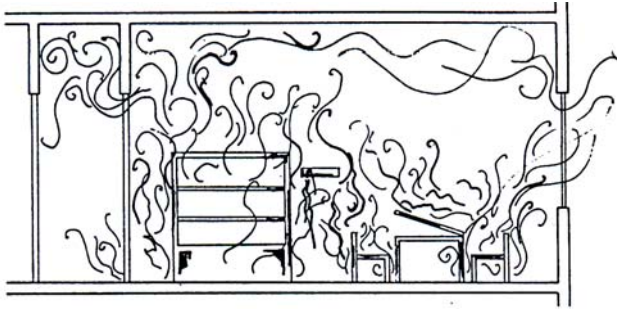
- α) Επώαση: Μετά την αρχική ανάφλεξη, στρώμα θερμών αερίων σχηματίζεται στην οροφή του κτιρίου (Σχ.1) β) Φούντωμα: Το συσσωρευμένο στην οροφή στρώμα αερίων προκαλεί την ανάφλεξη της διαθέσιμης καύσιμης ύλης στο πυροδιαμέρισμα. (Σχ.2) γ) Πλήρης Ανάπτυξη: Όλη η καύσιμη ύλη του πυροδιαμερίσματος καίγεται ενώ οι φλόγες και τα αέρια μεταφέρονται μέσω ανοιγμάτων σε παρακείμενα πυροδιαμερίσματα (Σχ.3) δ) Απόσβεση: Η εξάντληση της καύσιμης ύλης συνοδεύεται με την απομάκρυνση πλέον των θερμών αερίων (Σχ.4) .[1]



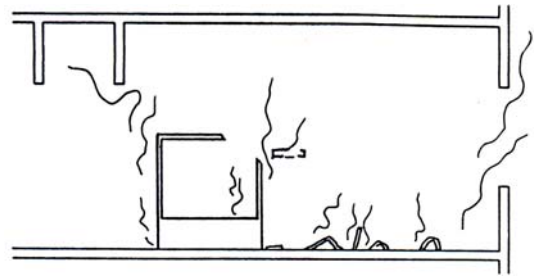
Σχ.1 [1]



Σχ.2 [1]



Σχ.3 [1]



Σχ.4 [1]

Το Φούντωμα διαρκεί περίπου 15-30 λεπτά και οι θερμοκρασίες φτάνουν στους 800-900<sup>0</sup> C. Στην Πλήρη Ανάπτυξη καίγεται ότι είναι δυνατό να καεί. Οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν λίγο περισσότερο και φτάνουν στους 1000-1100<sup>0</sup> C, ανάλογα με την ποσότητα των φλεγόμενων αντικειμένων. Στην Απόσβεση η πυρκαγιά υποχωρεί και οι θερμοκρασίες πέφτουν γρήγορα. [4]

## 2.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΑ ΧΡΩΜΑΤΑ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η εκτίμηση της θερμοκρασίας που εμφανίζεται στα διάφορα τμήματα του κτιρίου είναι πρωταρχικής σημασίας για την μεταγενέστερη έρευνα εκτίμησης της απομένουσας αντοχής των δομικών στοιχείων. Όταν το σκυρόδεμα καίγεται, ανάλογα με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία αποκτά διαφορετικά χρώματα. Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι όταν οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν στους 300-600<sup>0</sup> C το χρώμα του μπετόν γίνεται κόκκινο ή ροζ. Ενώ αν το χρώμα γίνεται γκρι αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία έφτασε στους 600-900<sup>0</sup> C. Τα χρώματα αποτελούν μια πρώτη ένδειξη και της εναπομένουσας αντοχής, έτσι, για παράδειγμα σε θερμοκρασία 600-800<sup>0</sup> C το σκυρόδεμα χάνει το 50%-80% της αντοχής του. [7]

## 3. ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

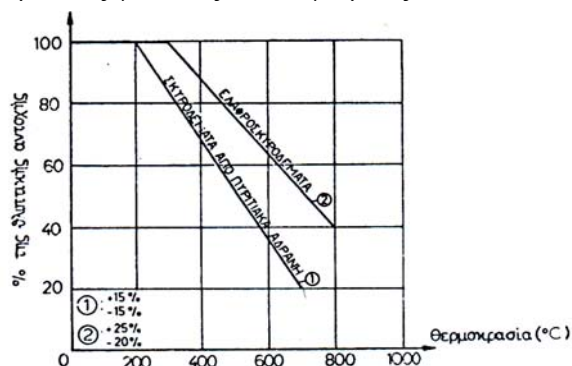
Οι παράμετροι που ακολουθούν για το σκυρόδεμα και το χάλυβα είναι αποτελέσματα πειραματικών διεργασιών οι οποίες διεξήχθησαν είτε κατά τη διάρκεια της έκθεσης των δοκιμίων σε υψηλές θερμοκρασίες είτε «μετά την απόψυξη». Η διαφοροποίηση αυτή συμβαίνει γιατί παρατηρείται μερική ανάκτηση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, οι οποίες είχαν μειωθεί κατά τη διάρκεια της φωτιάς. Το σκυρόδεμα δεν ανακτά όμως σημαντικό βαθμό των μηχανικών ιδιοτήτων σε αντίθεση με το χάλυβα. Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν διευκρινίζεται εάν οι μετρήσεις έγιναν ή όχι κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. [1]

### 3.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

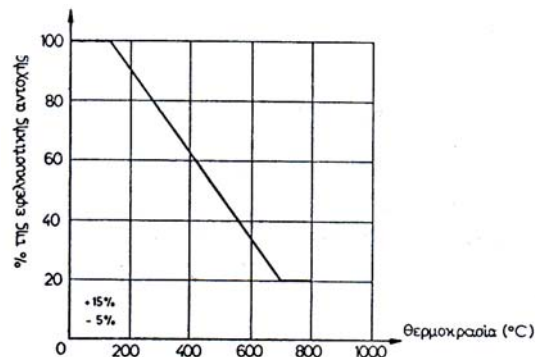
Το μπετόν από άποψη συμπεριφοράς σε πυρκαγιά είναι το καλύτερο από τα συνήθη δομικά υλικά για τους παρακάτω λόγους: **α)** Τα δομικά στοιχεία τα οποία κατασκευάζονται από μπετόν είναι γενικά πολύ μεγαλύτερης μάζας από αντίστοιχα ξύλινα ή χαλύβδινα, έτσι καθυστερεί η αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του στοιχείου. **β)** Το μπετόν ακόμα και σε ξηρό περιβάλλον περιέχει νερό και σε αυτό οφείλεται το ότι στους 600<sup>0</sup> C αποσυντίθεται ο τσιμεντοπολτός των εξωτερικών στρώσεων. **γ)** Σημαντικό ρόλο στην ιδιαίτερα υψηλή αντοχή του μπετόν σε φωτιά παίζει το είδος των αδρανών. Ασβεστολιθικά αδρανή (όπως αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως στην Ελλάδα) είναι πολύ ανθεκτικά καθώς, χάνουν την αντοχή τους στους 900<sup>0</sup> C. [2]

### 3. 1. 1 ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ-ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ-ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

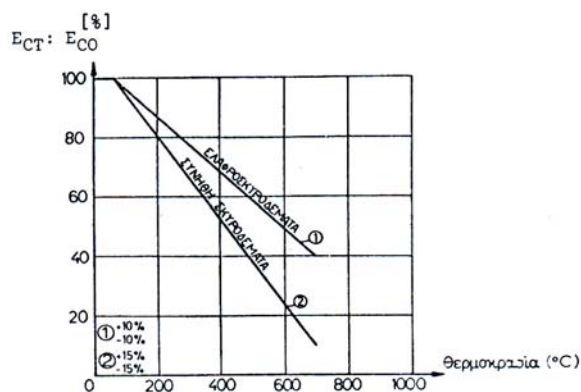
Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις προτείνονται από το CEB ως πρακτικές καμπύλες για τους υπολογισμούς.



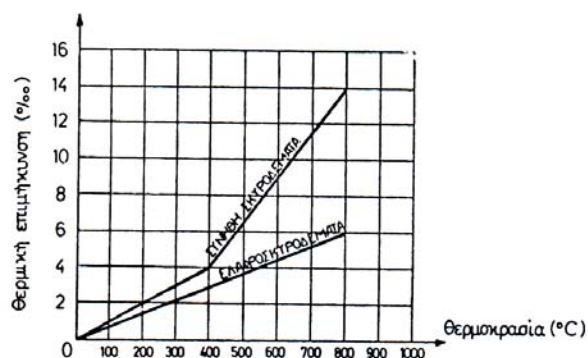
Σχ.5 Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος [1]



Σχ.6 Εφελκυστική αντοχή σκυροδεμάτων από πυριτικά αδρανή [1]



Σχ.7 Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος [1]



Σχ.8 Θερμική επιμήκυνση σκυροδέματος [1]

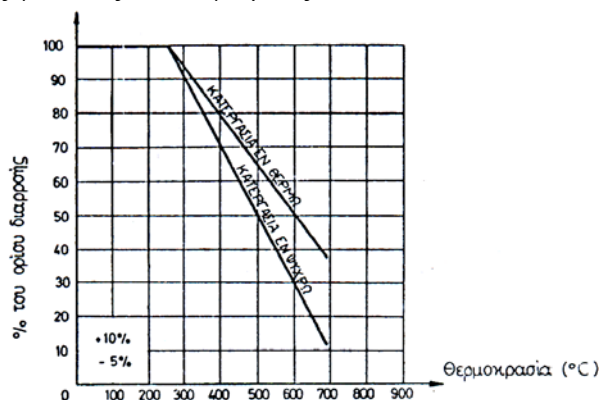
Στο Σχ.5 για την εύρεση της συμπεριφοράς σκυροδεμάτων από ασβεστολιθικά αδρανή κινούμαστε μεταξύ των δύο καμπύλων και λαμβάνεται η μέση τιμή των τιμών τους. Στο Σχ.6 η καμπύλη ισχύει για σκυροδέματα από πυριτικά αδρανή, η ίδια όμως προτείνεται και για σκυροδέματα από ασβεστολιθικά αδρανή. Στο Σχ.7 παρατηρείται ότι το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος παρουσιάζει συναρτήσεως της θερμοκρασίας μεταβολές ανάλογες με τη θλιπτική αντοχή. [1]

### 3. 2 ΧΑΛΥΒΑΣ

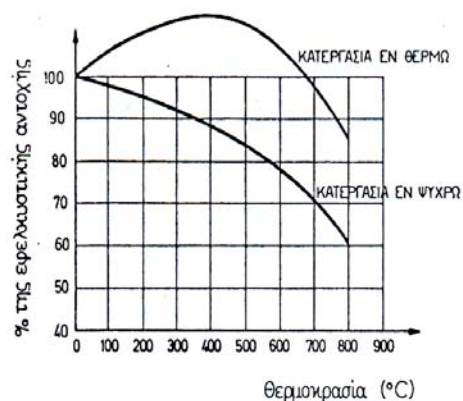
Ο χάλυβας είναι ένα άκαυστο υλικό το οποίο όμως δεν αντέχει για πολλή ώρα στις θερμοκρασίες εκείνες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια συνήθων πυρκαγιών. Εργαστηριακές δοκιμές του συνήθους μαλακού χάλυβα δείχνουν ότι η αντοχή σε εφελκυσμό αυξάνει αρχικά σε θέρμανση μέχρι τους 250<sup>0</sup> C για να επανέλθει στην αρχική στους 400<sup>0</sup> C, από όπου πέφτει ξανά και στους 550<sup>0</sup> C τελικά φτάνει στην επιτρεπόμενη τάση σύμφωνα με τους συνηθισμένους συντελεστές ασφάλειας. Οι χάλυβες οι οποίοι έχουν αποκτήσει υψηλή αντοχή με ψυχρά έλαση παρουσιάζουν ταχύτερη πτώση γιατί με την ανόπτηση που επέρχεται χάνεται η πρόσθετη αντοχή έτσι η κρίσιμη θερμοκρασία τους είναι 400<sup>0</sup>C – 450<sup>0</sup>C. Ο σπλισμός του μπετόν έχει φυσικά τις ιδιότητες του χάλυβα, αλλά για να έχει και τα πλεονεκτήματα του μπετόν θα πρέπει να πραγματοποιείται η κατάλληλη κάλυψή του, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. [2]

### 3. 2. 1 ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ-ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ & ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις προτείνονται από το CEB ως πρακτικές καμπύλες για τους υπολογισμούς.

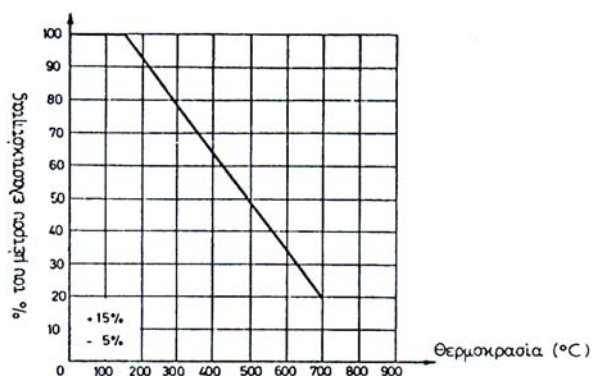


Σχ.9 Μεταβολή ορίου διαρροής χαλύβων οπλισμού “κατά την διάρκεια” της πυρκαγιάς [1]

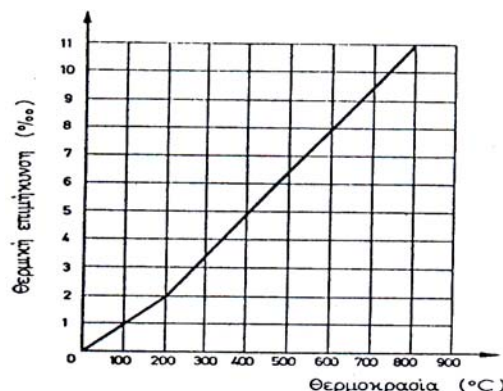


Σχ.10 Εφελκυστική αντοχή χαλύβων οπλισμού “μετά την απόψυξη” [1]

Στα Σχ.9 & 10 παρουσιάζεται η μείωση του ορίου διαρροής των ράβδων οπλισμού συναρτήσει της θερμοκρασίας. Η εφελκυστική αντοχή εξαρτάται από την ιστορία φορτίσεως και από το είδος του χάλυβα. [1]



Σχ.11 Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα “κατά την διάρκεια” της πυρκαγιάς [1]



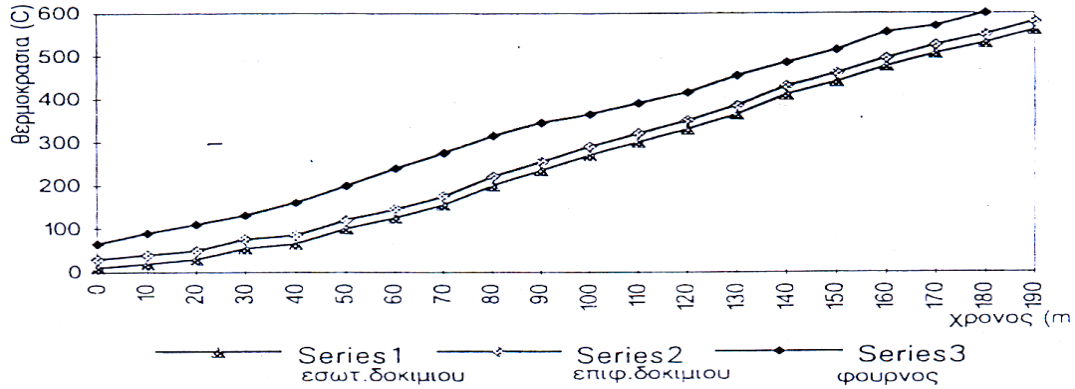
Σχ.12 Θερμική επιμήκυνση χαλύβων οπλισμού(αφόρτιστα δοκίμια) [1]

### 3. 3 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΧΑΛΥΒΑ-ΣΚΥΡ/ΤΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η συνάφεια αποτελεί πρωταρχικό χαρακτηριστικό του οπλισμένου σκυροδέματος και εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του μήκους αγκυρώσεως και είναι οι ακόλουθοι: α) ποιότητα σκυροδέματος (θλιπτική-εφελκυστική αντοχή), β) είδος και μέγεθος αδρανών μέσα στο σκυρόδεμα, γ) είδος επιπόνησης που ασκείται στο σκυρόδεμα, δ) επιφάνεια ράβδου οπλισμού, ε) επικάλυψη οπλισμού, στ) παρουσία εγκάρσιου οπλισμού, ζ) θερμοκρασία. Η θερμοκρασία ειδικά επηρεάζει άμεσα τη συνάφεια λόγω της διαφοροποίησης των συντελεστών θερμικής διαστολής σκυροδέματος – χάλυβα. [3]

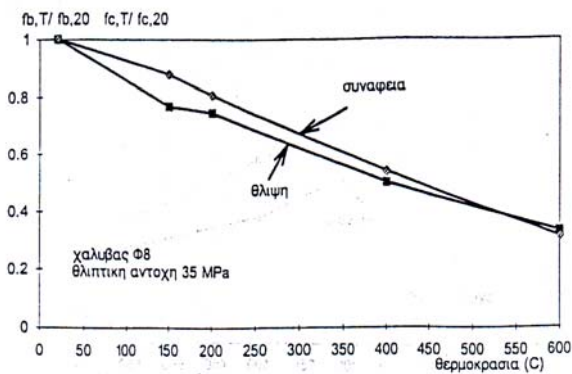
### 3. 3. 1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΧΑΛΥΒΑ-ΣΚΥΡ/ΤΟΣ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι παράμετροι που ελέγχθηκαν είναι: 1) η επιρροή της ποιότητας του σκυροδέματος. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις ποιότητες αντοχής 22.5, 30.0, 35.0 MPa, 2) τρεις διάμετροι ράβδων οπλισμού 8, 10, 12 mm με επικάλυψη 20 mm μεταξύ κέντρου ράβδου οπλισμού και επιφάνειας δοκιμίων, 3) πέντε επίπεδα θερμοκρασιών: περιβάλλοντος 20°C, 150°C, 200°C, 400°C, 600°C. Σαν τελική τιμή μπαίνει το 600°C καθώς έχει αποδειχθεί από πειραματικές εργασίες ότι οδηγεί σε αποσύνθεση του σκυροδέματος. Όλες οι μετρήσεις έγιναν για αύξηση θερμοκρασίας 1°C /min, χωρίς καμία φόρτιση. [3]

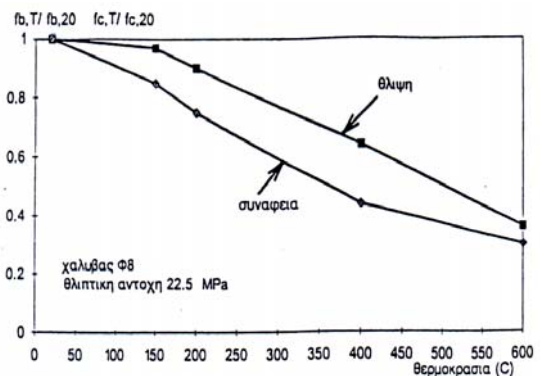


Σχ.13 Διάγραμμα ρυθμού ανάπτυξης θερμοκρασίας [3]

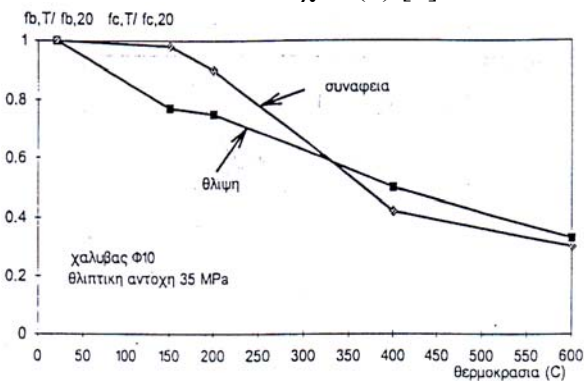
Στο Σχ.13 είναι οι καμπύλες χρόνου θερμοκρασίας σε τρεις θέσεις: α) πάνω στην επιφάνεια του οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα, β) πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του δοκιμίου, γ) μέσα στον ελεύθερο χώρο του φούρνου.



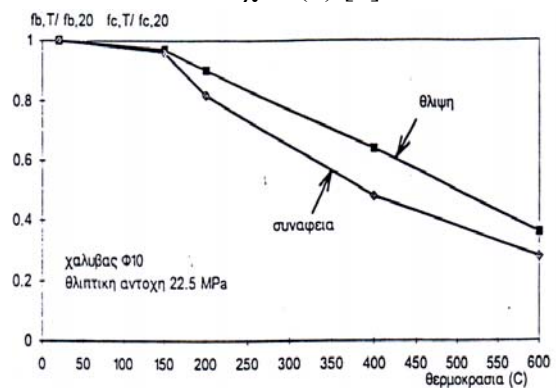
Σχ.14(α) [3]



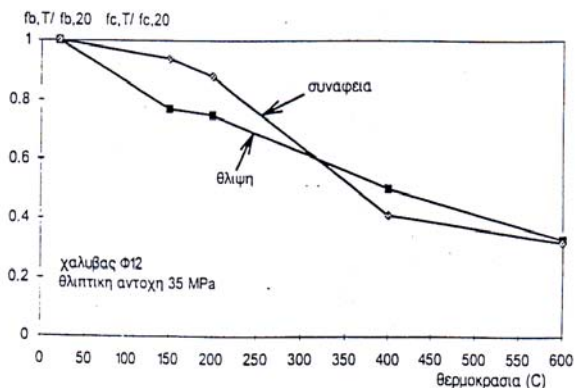
Σχ.15(α) [3]



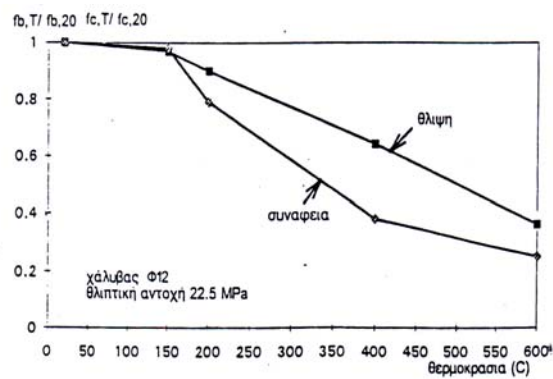
Σχ.14(β) [3]



Σχ.15(β) [3]



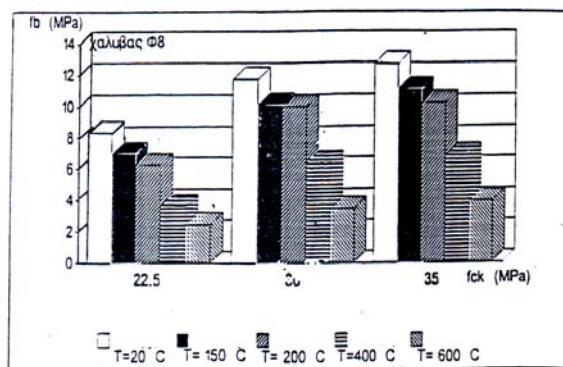
Σχ.14(γ) [3]



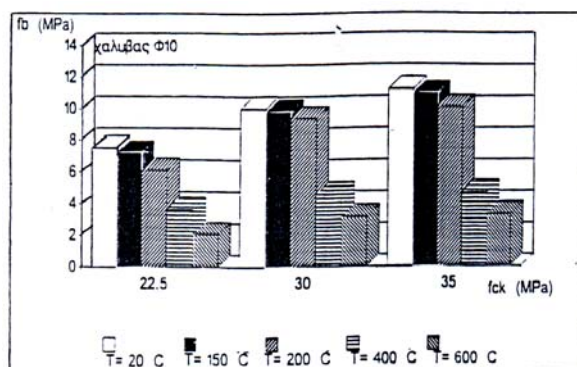
Σχ.15(γ) [3]

Στα παραπάνω Σχ14(α),(β),(γ) & 15(α),(β),(γ) παρατηρούμε ότι στα σκυροδέματα της σχετικά υψηλότερης αντοχής ο ρυθμός πτώσης της συνάφειας είναι μικρότερος. Μέχρι τους 150<sup>0</sup>C δεν υπάρχει μείωση της απομένουσας συνάφειας για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος. Η απομένουσα συνάφεια μειώνεται στο 50% της αρχικής στους 400<sup>0</sup>C .[3]

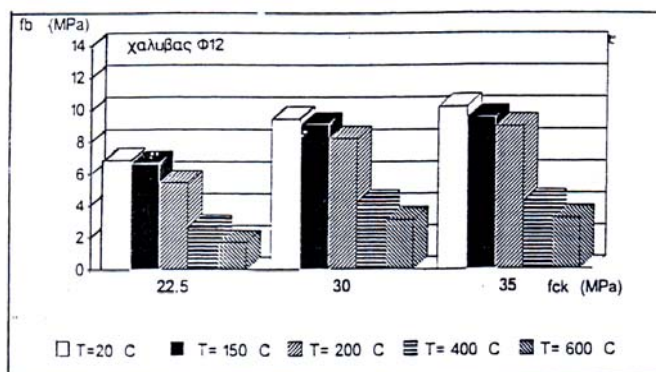
Τέλος, στα Σχ16(α),(β),(γ) που ακολουθούν, πιο έντονη είναι η κλιμάκωση στη χαμηλότερη αντοχή και ανάμεσα στις ράβδους, για τη ράβδο με τη μικρότερη διάμετρο των 8 mm. [3]



Σχ16(α) [3]



Σχ16(β) [3]



Σχ16(γ) [3]

#### 4. ΟΙ ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΝΤΑΙ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

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 δεν μπορούμε να μιλάμε μόνο για αντοχή υλικών σε πυρκαγιά, αλλά και για αντοχή δομικών στοιχείων. [2] Οι σημαντικότερες ζημιές του σκυροδέματος λόγω πυρκαγιάς είναι οι εξωθήσεις και η χαλάρωση της δομής του. Λόγω των εξωθήσεων απελευθερώνονται οι οπλισμοί, με αποτέλεσμα να θερμαίνονται ταχύτερα και να αστοχούν. Σε πολλές κανονικά εξελισσόμενες πυρκαγιές κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι ζημιές περιορίζονται από το γεγονός ότι στα πρώτα 3 έως 5 cm σκυροδέματος που είναι απευθείας εκτεθειμένα στη φωτιά, χάνουν μεν την αντοχή τους, αλλά συγχρόνως δρουν σαν προστατευτική στρώση του πυρήνα, και έτσι ο φέρων οργανισμός χάνει ένα μέρος μόνο της φορτοικανότητάς του. Ο χάλυβας στην αρχή επιμηκύνεται λόγω της θερμάνσεως και εκτινάσσει την επικάλυψη του σκυροδέματος ενώ όσο εξακολουθεί να αυξάνεται η θερμοκρασία το όριο διαρροής του υποβιβάζεται, κατά πολύ. Η φωτιά προκαλεί σοβαρά προβλήματα στις κατασκευές μέχρι και την κατάρρευση αυτών. Οι ζημιές και ο κίνδυνος κατάρρευσης οφείλονται στα εξής αίτια:[9]

- α) η αντοχή του χάλυβα μειώνεται αισθητά και παράλληλα ο χάλυβας μηκώνεται.
- β) το μπετόν υπόκειται λόγω εμποδιζόμενης θερμικής διαστολής σε τάσεις εξαναγκασμού και θραύεται
- γ) Η θλιβόμενη ζώνη καμπτόμενων φορέων αστοχεί λόγω μήκυνσης του χάλυβα.
- δ) Το μπετόν εκρήγνυται λόγω ογκομετρικής μεταβολής των συστατικών του από χαλαζία.
- ε) Στο μπετόν αναπτύσσονται ανομοιόμορφες θερμικές τάσεις.[4]

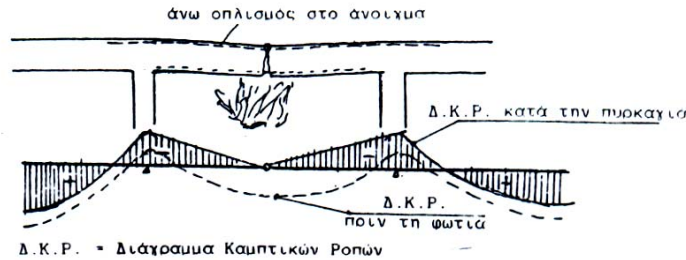
Η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων απέναντι στην φωτιά δεν εξαρτάται μόνο από το υλικό, αλλά και από τη μορφή, τις διαστάσεις και τον τρόπο σύνδεσης και συνεργασίας με τα άλλα φέροντα στοιχεία.

#### Υποστυλώματα

Ο κυριότερος κίνδυνος είναι η αποφλοιώση του μπετόν ιδίως στις γωνίες, οπότε ο οπλισμός είναι εκτεθειμένος στις φλόγες και αν θερμανθεί πάνω από 600 °C φθάνει, για τις συνήθεις φορτίσεις, το όριο διαρροής του. Η αντοχή των υποστυλωμάτων οφείλεται κυρίως στο μπετόν, που αργά να θερμανθεί στο εσωτερικό του έτσι ακόμα και αν αποφλοιωθούν οι επιφάνειες, αν οι διαστάσεις είναι μεγάλες, ο στύλος δεν καταρρέει. Υποστυλώματα με διατομή πάνω από 40x40cm αντέχουν σε πυρκαγιά 1 ½ της ώρας με το φορτίο του στατικού υπολογισμού. Υποστυλώματα 25x25cm αντέχουν σε πυρκαγιά 1 ώρα. [8]

#### Δοκοί

Ουσιάδη 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). Σημαντικό ρόλο παίζει το σύστημα στατικής λειτουργίας της δοκού: αμφιέριστοι δοκοί ή πλαίσια ενός ανοίγματος είναι ευπαθέστερα, ενώ συνεχείς δοκοί και πολύστηλα πλαίσια είναι ασφαλέστερα, γιατί από την θερμότητα 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 αν ο οπλισμός των ανοιγμάτων φθάσει το όριο διαρροής θα γίνει ανακατανομή των ροπών με αύξηση των ροπών στηρίξεως, τις οποίες ο εκεί ψυχρότερος οπλισμός είναι ικανός να τις αναλάβει. Για τον λόγο αυτό ένα καλό μέτρο αυξήσεως της ικανότητας των συνεχών δοκών είναι η συνέχιση μέρους των ράβδων των στηρίξεων στο άνοιγμα. Έτσι στο Σχ. 17 παρατηρούμε ότι ενώ η θέρμανση του οπλισμού προκάλεσε πλαστική άρθρωση στο μέσο του ανοίγματος της δοκού, λόγω του πάνω οπλισμού της τα δυο τμήματα στα οποία κόπηκε η δοκός, λόγω της πλαστικής άρθρωσης, λειτουργούν πλέον ως πρόβολοι. [8]



Σχ.17 [8] Η θέρμανση του οπλισμού δημιουργεί πλαστική άρθρωση στο μέσο του ανοίγματος της δοκού. Η ύπαρξη άνω οπλισμού επιτρέπει στα δύο κομμάτια να λειτουργήσουν σαν πρόβολοι.

### Πλάκες

Εμφανίζονται ρωγμές κατά μήκος των δοκών στήριξης. Αύξηση της αντοχής συνεχών πλακών γίνεται αν τοποθετήσουμε και στα ανοίγματα οπλισμό και στο πάνω μέρος κατ' επέκταση μέρους του οπλισμού στηρίξεων.[8]

## **5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

Ως επισκευή ορίζονται εκείνες οι ενέργειες οι οποίες επαναφέρουν το κτίριο στην αρχική του κατάσταση, δηλαδή στην αρχική του ικανότητα να φέρει με ασφάλεια τα φορτία. Οι μέθοδοι επισκευής που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται παρακάτω:

- Έγχυτο σκυρόδεμα
- Εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Συγκόλληση με επεισοδικές κόλλες
- Επικόλληση ελασμάτων
- Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών στους παλιούς
- Τσιμεντενέσεις
- Προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων
- Κονιάματα τσιμέντου και πλαστικών υλών [5]

### **5.1 ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΛΑΜΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΗΝ BANGALORE CITY ΤΗΣ ΙΝΔΙΑΣ**

Ένα κτίριο που στέγαζε σχολείο και κατάστημα στο δυτικό μέρος της Bangalore city, Ινδία, υπέστη σοβαρές ζημιές εξαιτίας εμπρησμού. Μια λεπτομερή εξέταση αποκάλυψε ότι τα περισσότερα από τα υποστυλώματα, τις δοκούς και τις πλάκες είχαν πάθει σημαντικές ζημιές. Το σκυρόδεμα είχε αποφλοιωθεί σε πολλά δομικά στοιχεία, και σε λίγες δοκούς και πλάκες είχε αποκαλυφθεί ο οπλισμός. Μη καταστροφικές δοκιμές και δοκιμές φόρτισης διεξήχθησαν για να εκτιμήσουν την απομένουσα αντοχή των δομικών στοιχείων μετά την φωτιά. Το βλαμμένο από φωτιά κτίριο επισκευάστηκε ώστε να ικανοποιεί πάλι τις απαιτούμενες συνθήκες αντοχής και χρήσης.

Το κτίριο αποτελούνταν από υπόγειο και δυο ανώτερους ορόφους. Ο φέρων οργανισμός είχε κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι διαχωριστικοί τοίχοι από οπτοπλινθοδομή. Οι εμπρηστές ξεκίνησαν την φωτιά με πετρέλαιο στο μεσαίο χώρο του ισόγειου (show room), όπου βρίσκονταν πολλά υφάσματα και τα οποία αποτέλεσαν μια ιδιαίτερα εύφλεκτη ύλη, με αποτέλεσμα η φωτιά να εξαπλωθεί πολύ γρήγορα. Το κτίριο φλέγονταν για πάνω από 8 ώρες μέχρι να έρθει η πυροσβεστική.

Παρακάτω παρουσιάζονται όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επισκευή του. [6]



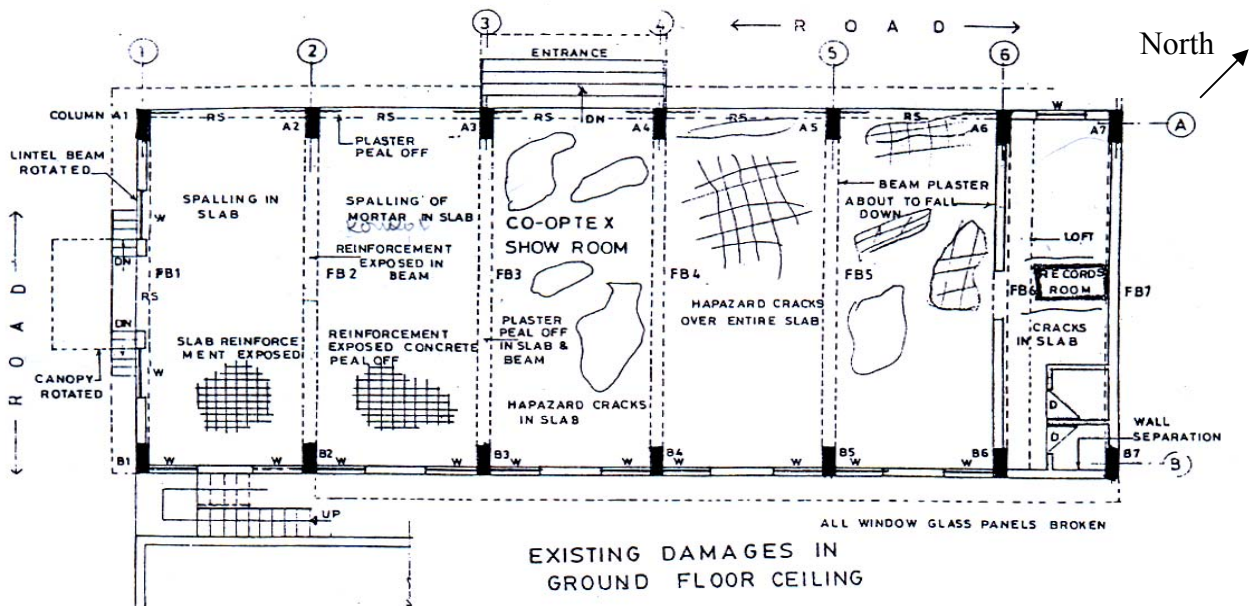
### 5. 1. 1 ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΟΥ ΔΙΕΞΗΧΘΗΣΑΝ

Έγιναν σε 3 φάσεις: 1) Φυσική εξέταση του βλαμμένου κτιρίου, 2) Μη καταστροφικοί έλεγχοι, 3) Δοκιμές φόρτισης σε τυπικές δοκούς και πλάκες. [6]

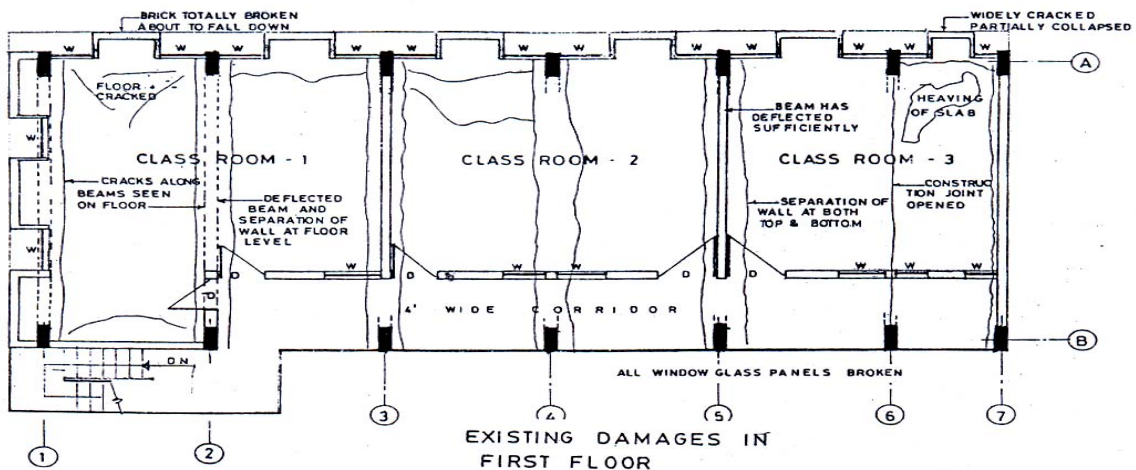
#### 5. 1. 1. 1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

##### Ζημιές στο ισόγειο

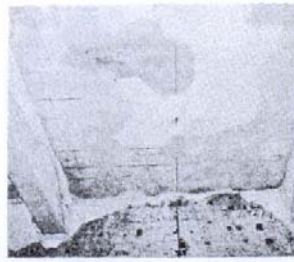
**Τοίχοι:** Οι τοίχοι κάρηκαν σημαντικά και ρηγματώθηκαν παντού. Το επίχρισμα θρυμματίστηκε σε πολλά σημεία. **Πλάκα οροφής ισογείου:** Όπως φαίνεται στο Σχ.18 η κάτω πλευρά της πλάκας υπέστη μεγάλες ζημιές, κυρίως ρωγμές σε πολλά σημεία. Ο σοβάς του ταβανιού μαζί με ένα μέρος σκυροδέματος είχαν αποφλοιωθεί σε πολλά σημεία και σε μεγάλη έκταση (Σχ.20). Σε μερικά σημεία ο οπλισμός είχε εκτεθεί λίγο ενώ σε κάποια άλλα πολύ περισσότερο. Στο νοτιότερο μέρος (μεταξύ των πλεγμάτων 1 και 3) ο οπλισμός είχε αποκαλυφθεί τελείως ενώ παράλληλα παρατηρήθηκε αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε πολλά σημεία. Στο βορειότερο μέρος του δωματίου που ξεκίνησε η φωτιά παρατηρήθηκαν ακανόνιστες ρωγμές στο ταβάνι. Παρόλα αυτά δεν παρατηρήθηκε λυγισμένος οπλισμός ούτε εκτεταμένα βέλη κάμψης σε κανένα σημείο της πλάκας.



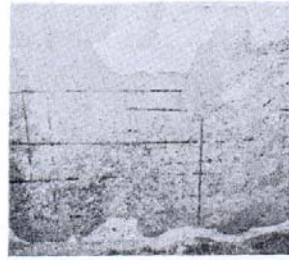
Σχ.18 Σχηματική παρουσίαση των ζημιών στην πλάκα οροφής ισογείου. [6]



Σχ.19 Σχηματική παρουσίαση των ζημιών στο πάτωμα του 1<sup>ου</sup> ορόφου. [6]



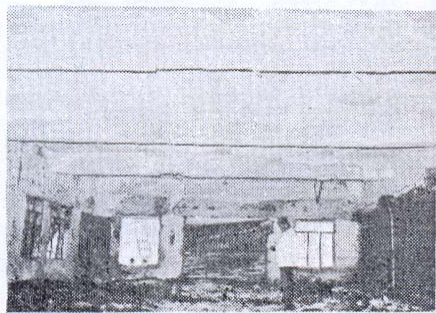
a) General View



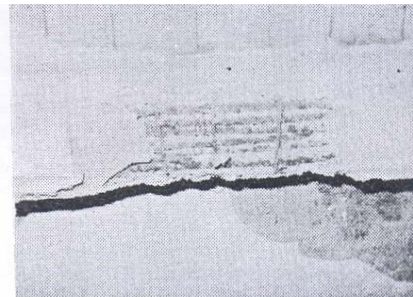
b) Reinforcement Exposed

Σχ.20 (α),(β) Ζημιές στην πλάκα οροφής ισογείου [6]

Δοκοί οροφής ισογείου: Σχηματική παρουσίαση των ζημιών στις δοκούς της οροφής ισογείου φαίνεται στο Σχ.18. Η πλειοψηφία των δοκών επηρεάστηκε από τις υψηλές θερμοκρασίες όπως φαίνεται στο Σχ.21. Η δοκός που επηρεάστηκε περισσότερο ήταν η FB2 (Σχ.18 και Σχ.21). Σ' αυτή τη δοκό παρατηρήθηκαν πολλές κατακόρυφες ρωγμές και στο μεσαίο άνοιγμά της το σκυρόδεμα είχε αποφλοιωθεί σε ένα μήκος περίπου 500-750 mm αφήνοντας τελείως εκτεθειμένο τον οπλισμό. Στα εναπομείναντα μέρη της δοκού μόνο το επίχρισμα είχε φύγει. Η αποκόλληση του επιχρίσματος ήταν πολύ συνηθισμένο φαινόμενο σ' όλες τις άλλες δοκούς. Το πάχος του σοβά είχε ξεχωρίσει από τη βάση του σκυροδέματος και ήταν έτοιμο να πέσει. Στη δοκό FB5 ο σοβάς αποφλοιώθηκε μερικώς και στο εναπομένον μήκος πάρα πολλές κατακόρυφες ρωγμές φαίνονταν. Αυτές οι ρωγμές μπορεί να οφείλονταν σε εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύχθηκαν στη δοκό κατά τη διάρκεια της φωτιάς.



a) General View

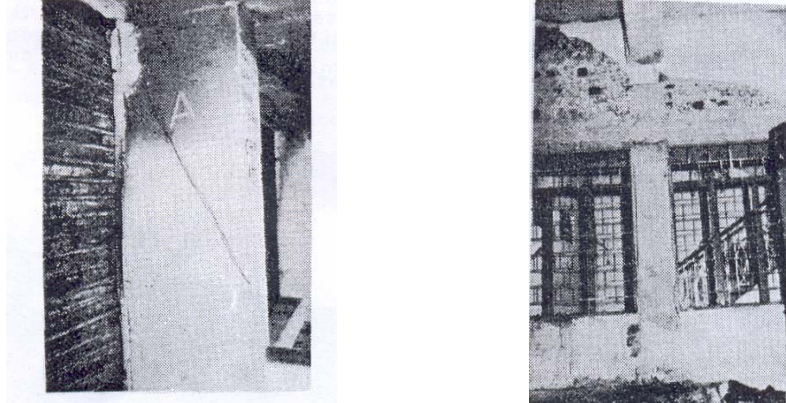


b) Severely Damaged Beam BF2

Σχ.21(α),(β) Ζημιές στις δοκούς οροφής ισογείου. [6]

Μαρκίζα (canopy) στα νότια: Η μαρκίζα είχε στρίψει αισθητά και ήταν στα όρια της κατάρρευσης. Κατά την διάρκεια της έρευνας, υποστηρίχθηκε αμέσως και προσωρινά. Η μαρκίζα στηρίζονταν ελάχιστα στο άνοιγμα της δοκού που βρίσκεται μεταξύ των υποστυλωμάτων A1 και B1 (Σχ.18). Κατά τη διάρκεια της φωτιάς, η ζώνη A1, A3, B3, B1 (Σχ.18) ήταν η περισσότερο πληγείσα περιοχή επειδή εκεί ήταν συγκεντρωμένη η μεγαλύτερη ποσότητα υφασμάτων. Η φωτιά που διήρκεσε για περισσότερο από 8 ώρες θέρμανε τη δοκό που στήριζε τη μαρκίζα. Η θερμοκρασία που αναπτύχθηκε σε αυτή τη περιοχή μπορεί να ξεπέρασε τους 300<sup>0</sup>C και ήταν η αιτία που ο οπλισμός των στηρίξεων διέρρευσε, επιτρέποντας στροφή. Η δοκός παράλληλα στη μαρκίζα είχε λυγίσει και στρίψει σημαντικά με αποτέλεσμα να αποτελεί άμεσο κίνδυνο και απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή. Υποστυλώματα: Τα υποστυλώματα είχαν πληγεί σημαντικά. Τυπικές ζημιές αυτών στα διαφορετικά επίπεδα των πατωμάτων φαίνονται στο Σχ.22. Τα υποστυλώματα A3, A4 και A7 είχαν ρηγματωθεί. Οι ρωγμές είχαν κλίση 45<sup>0</sup> ξεκινώντας από τη στέψη της μαρκίζας και συνεχίζονταν προς τα κάτω (Σχ.22). Στα άλλα υποστυλώματα υπήρχαν τριχοειδής ρωγμές

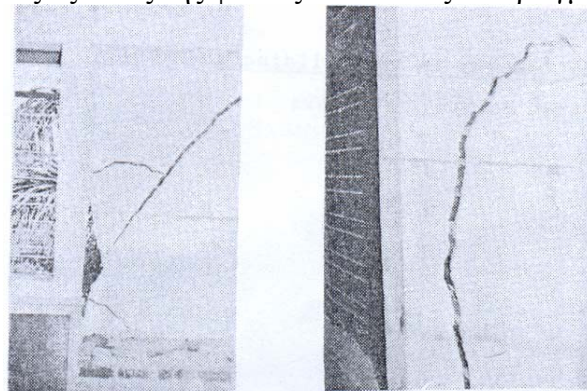
που δεν φαίνονταν δια γυμνού οφθαλμού. Στο εσωτερικό του κτιρίου, σχεδόν σε όλα τα υποστυλώματα, ο σοβάς είχε αποκολληθεί, αλλά το σκυρόδεμα ήταν άθικτο. Ο οπλισμός δεν απογυμνώθηκε σε κανένα υποστύλωμα είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Στο κόμβο δοκού – υποστυλώματος του υποστυλώματος Α3, η επικάλυψη του σκυροδέματος αποκολλήθηκε, αφήνοντας ελάχιστα εκτεθειμένο τον οπλισμό. Εξαιτίας αυτού φάνηκε και το σκυρόδεμα στον πυρήνα του κόμβου.



Σχ.22 Τυπική καταπόνηση σε υποστυλώματα. [6]

### **Ζημιές στον πρώτο όροφο**

Σημαντική ζημιά είχε προκληθεί και στον πρώτο όροφο του κτιρίου. Στο Σχ.19 φαίνονται σχηματικά τυπικές ζημιές ενώ η φωτογραφία στο Σχ.23 τις επιβεβαιώνει. Τοίχοι: Σχεδόν όλοι οι κάθετοι τοίχοι μεταξύ των ανοιγμάτων, προς τα δυτικά (κύριος δρόμος) είχαν σοβαρές ρωγμές προς όλες τις κατευθύνσεις. Μερικές από αυτές ήταν πλατύτερες από 50 mm. Οι εξωτερικοί παράλληλοι τοίχοι στα ανοίγματα, προς την ίδια με παραπάνω διεύθυνση, είχαν αποδιοργανωθεί και ήταν στα όρια της κατάρρευσης. Οι τοίχοι των αιθουσών διδασκαλίας είχαν επίσης ρηγματωθεί. Ακριβώς κάτω από τις κύριες δοκούς, μερικοί τοίχοι είχαν ρηγματωθεί παράλληλα και είχαν αποκολληθεί από αυτές. Οι ρωγμές στους τοίχους των αιθουσών διδασκαλίας οφείλονταν στο εκτεταμένο βέλος κάμψης των δοκών που στήριζαν το πάτωμα του πρώτου ορόφου. Πλάκα πατώματος πρώτου ορόφου: Ψηλές φλόγες από το πάτωμα του ισογείου έφθασαν την πλάκα του πρώτου ορόφου και την έκαψαν σημαντικά. Η πλάκα είχε ρηγματωθεί σοβαρά εκατέρωθεν των δοκών του πατώματος και οι ρωγμές είχαν σχηματιστεί κατά μήκος αυτών. Αυτός είναι ο τυπικός τρόπος ρηγμάτωσης πλακών οπλισμένου σκυροδέματος εξαιτίας της φωτιάς. Το πλάτος των ρωγμών ήταν 1-2 mm. [6]



Σχ.23 Βλαμμένοι τοίχοι 1<sup>ου</sup> ορόφου. [6]

### **5. 1. 1. 2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ**

Μη καταστροφικοί έλεγχοι έδειξαν ότι το σκυρόδεμα είχε εναπομένουσα αντοχή μικρότερη από M15. [6]

### 5. 1. 1. 3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕ ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΚΑΙ ΠΛΑΚΕΣ

Έγινε φόρτιση των δοκών FB2 και FB5, καθώς και όλων των πλακών που στήριζαν αυτές οι δοκοί. Μετρήθηκαν τα βέλη κάμψης που δημιουργήθηκαν άμεσα, μετά από 24 ώρες φόρτισης και μετά από 24 ώρες αφού απομακρύνθηκε το φορτίο. [6]

### 5. 1. 2 ΕΠΙΣΚΕΥΗ

Τα αποτελέσματα της φυσικής εξέτασης, των μη καταστροφικών ελέγχων και των δοκιμών φόρτισης έδειξαν ότι το κτίριο ήταν ακατάλληλο για χρήση. Παρόλα αυτά κρίθηκε ότι οι βλάβες μπορούσαν να αποκατασταθούν. Το σχέδιο επισκευής προέβλεπε τα εξής:

- Επισκευή υποστυλωμάτων με εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα.
- Επισκευή δοκών και πλακών πατώματος πρώτου ορόφου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
- Επισκευή των τοίχων πλήρωσης.
- Επισκευή της εστραμμένης μαρκίζας.
- Άλλες μη κατασκευαστικές επισκευές. [6]

#### Επισκευή υποστυλωμάτων με εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα (Fig. 10α)

Έγινε επισκευή των υποστυλωμάτων του ισογείου τα οποία είχαν αποδιοργανωθεί. Συγκεκριμένα είχε αποκολληθεί η επικάλυψη του σκυροδέματος και επιπλέον, εξαιτίας της αποδιοργάνωσης του τσιμέντου, αποκαλύφθηκε ο οπλισμός. Τα στάδια που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

- 1) Αποφόρτιση υποστυλώματος με την κατάλληλη υποστήριξη των δοκών που διέτρεχαν αυτό, σε όλα τα επίπεδα των πατωμάτων.
- 2) Καθαίρεση αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και καθαρισμός και τράχυνση της επιφάνειας με αμμοριπή, σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην μεταβάλλεται απότομα το πάχος του σκυροδέματος.
- 3) Ενσωμάτωση διατμητικών συνδέσμων διαμέτρου 12 mm ανά 1000mm σε τρύπες που ανοίχτηκαν διαμέτρου 16 mm.
- 4) Το κενό γύρω από τους διατμητικούς συνδέσμους καλύφθηκε με μη συρρικνούμενο κονίαμα.
- 5) Τοποθέτηση πρόσθετου απαιτούμενου οπλισμού γύρω από τα υποστυλώματα.
- 6) Εισαγωγή δίδυμων U γύρω από τον νέο οπλισμό και συγκόλληση αυτών ώστε να μορφώσουν έναν ορθογώνιο σύνδεσμο.
- 7) Αφού σχηματίστηκε ο ξυλότυπος, έγινε έγχυση σκυροδέματος M20 με καλή εργασιμότητα.
- 8) Στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος τρυπήθηκε η πλάκα, δημιουργώντας έτσι γύρω από τον κόμβο τετράγωνα πλευράς 150 mm, και έγινε έγχυση σκυροδέματος από το πάνω μέρος της πλάκας, μέσα στον ξυλότυπο, εξασφαλίζοντας έτσι καλή σκυροδέτηση.
- 9) Το εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα αφέθηκε να «ξεκουραστεί» για ελάχιστη περίοδο 14 ημερών.
- 10) Ο ξυλότυπος των υποστυλωμάτων απομακρύνθηκε μόλις 24 ώρες μετά τη σκυροδέτηση. [6]

#### Επισκευή δοκών και πλακών πατώματος πρώτου ορόφου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Fig. 10b)

Οι πλάκες και οι δοκοί είχαν καταπονηθεί πάρα πολύ. Η αποκόλληση της επικάλυψης του σκυροδέματος και οι ρωγμές εξέθεσαν τον οπλισμό. Έτσι η επισκευή έγινε με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με τα εξής βήματα:

- 1) Υποστήριξη πλακών-δοκών όπου ήταν απαραίτητο.

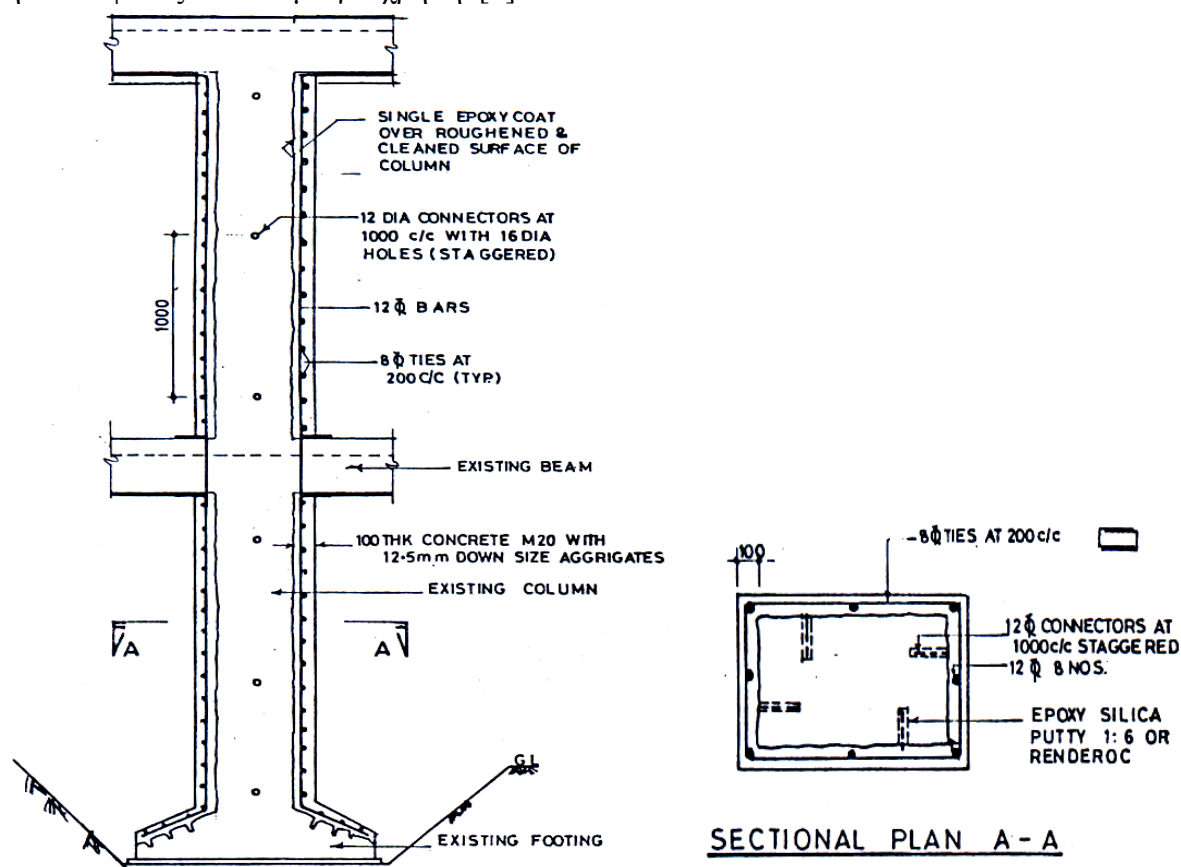
- 2) Καθαίρεση αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και καθαρισμός και τράχυνση της επιφάνειας με αμμοριπή, σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην μεταβάλλεται απότομα το πάχος του σκυροδέματος.
- 3) Το κενό γύρω από τους διατμητικούς συνδέσμους καλύφθηκε με μη συρρικνούμενο κονίαμα.
- 4) Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 40 mm γύρω από τον εκτεθειμένο οπλισμό των δοκών και 25 mm πάχος για τη πλάκα οροφής. Η πίεση που χρησιμοποιήθηκε για την εκτόξευση ήταν γύρω στα  $0.6 \text{ N/mm}^2$ .
- 5) Το εκτοξευμένο πια σκυρόδεμα αφέθηκε να «ξεκουραστεί» για ελάχιστη περίοδο 7 ημερών. [6]

### Επισκευή της εστραμμένης μαρκίζας

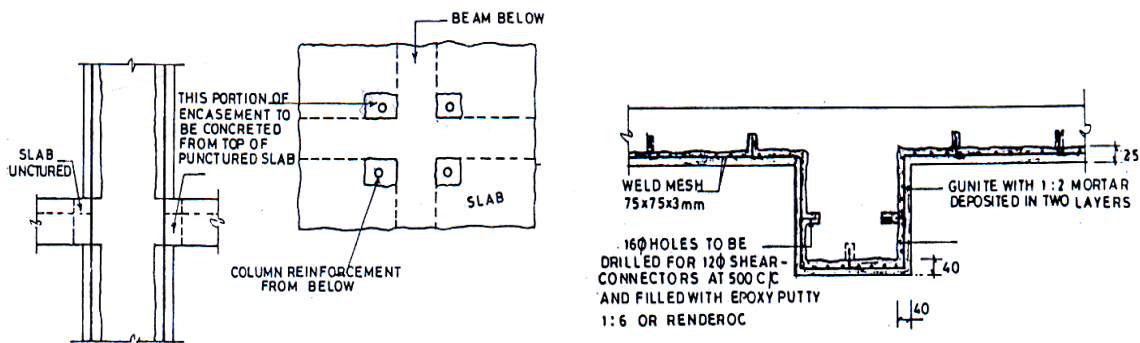
Η μαρκίζα στο νότιο μέρος του κτιρίου, είχε στραφεί εξαιτίας της στροφής της δοκού που την στήριζε. Παρόλα αυτά ήταν άθικτη και δεν είχε υποστεί καταπόνηση. Γι' αυτόν τον λόγο απλά ανασηκώθηκε και στηρίχθηκε στο ελεύθερο άκρο της με δύο καινούρια υποστυλώματα διαστάσεων 230mm x 230mm. [6]

### Επισκευή των τοίχων πλήρωσης

Όπου οι τοίχοι είχαν ρηγματωθεί και το επίχρισμα είχε αποκολληθεί, ακολουθήθηκε το εξής σχέδιο επισκευής: Όλα τα κατεστραμμένα υλικά απομακρύνθηκαν και η επιφάνεια καθαρίστηκε με συρματόβουρτσες. Έγινε ανθεκτικό σφράγισμα των ρωγμών. Μπήκε νέο επίχρισμα και αφέθηκε να «ξεκουραστεί» για ελάχιστη περίοδο 14 ημερών. Το κτίριο πια ήταν ασφαλές και έτοιμο για χρήση. [6]



Σχ.24(α) Λεπτομέρειες εγκιβωτισμού με σκυροδέτηση καταπονημένου στύλου. [6]



Σχ.24(β) Αποκατάσταση δοκού και πλάκας. [6]  
 Σχ.24 (α),(β) Προτεινόμενο σχέδιο αποκατάστασης [6]

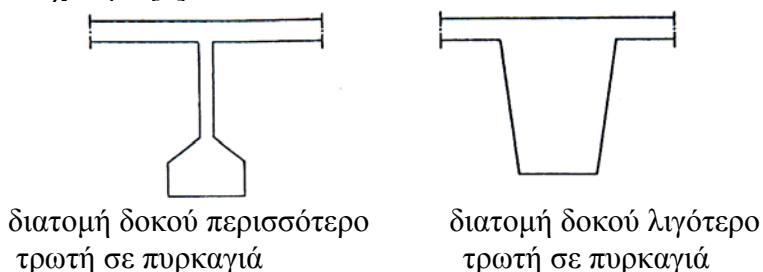
**6 . ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ**

Ως ενίσχυση ορίζεται η προσπάθεια περαιτέρω αύξησης της αντοχής του κτιρίου έναντι κάποιας καταπόνησης (π.χ. σεισμός, φωτιά, καθιζήσεις κ.λ.π.). Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρει η ενίσχυση της κατασκευής σε πυρκαγιά. Ο μηχανικός στη φάση σχεδιασμού της κατασκευής, λαμβάνει υπόψη μια σειρά από ισχύουσες διατάξεις για την προστασία της κατασκευής από φωτιά. Σημαντική βελτίωση της ανθεκτικότητας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ειδικών κατασκευαστικών λεπτομερειών, οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν και ως ενίσχυση στο στάδιο σχεδιασμού. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες για ορισμένα δομικά στοιχεία είναι οι ακόλουθες: [1]

α) Δοκοί

Σχήμα και διαστάσεις διατομών δοκών

Λόγω του ότι η θερμοκρασία αυξάνεται ταχύτερα στο εσωτερικό λεπτών και μικρών διατομών από Ο. Σ., τα λεπτότερα δομικά στοιχεία είναι λιγότερο ανθεκτικά έναντι πυρκαγιάς από τα παχύτερα [1]



Σχ.25 Σύγκριση μορφής διατομών από την άποψη της τρωτότητας έναντι πυρκαγιάς. [1]

Θέση των οπλισμών σε διατομές δοκών

Συνιστάται να μην συγκεντρώνονται οι ράβδοι του οπλισμού στις γωνίες των διατομών, επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ταχύτερη σε αυτά τα σημεία και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα αποφλοιώσεως. Είναι προτιμότερο για τον κύριο οπλισμό να χρησιμοποιούνται περισσότερες από δύο ράβδοι, και ακόμα καλύτερα να τοποθετείται ένα μέρος του κύριου οπλισμού σε μια δεύτερη στρώση. [1]

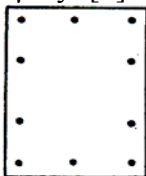


Σχ.26 Σύγκριση τρόπου οπλίσεως από την άποψη της τρωτότητας έναντι πυρκαγιάς. [1]

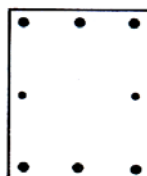
β) Πλάκες → Αμφιέριστες πλάκες :Εάν η πλάκα είναι προεντεταμένη με τένοντες χωρίς τσιμεντένεση, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις αγκυρώσεις. [1]

#### γ) Υποστύλωματα

Ένα υποστύλωμα είναι γενικά προτιμότερο να έχει μεγάλες διαστάσεις και χαμηλό ποσοστό οπλισμού, μιας και το ελάχιστο πλάτος είναι αποφασιστικός παράγοντας για την ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς. [1]



υποστύλωμα περισσότερο  
τρωτό σε πυρκαγιά



υποστύλωμα λιγότερο  
τρωτό σε πυρκαγιά

Σχ.27 Σύγκριση τρόπων οπλίσεως υποστυλωμάτων από την άποψη της τρωτότητας έναντι πυρκαγιάς. [1]

#### δ) Πρόβλεψη αρμών διαστολής

Ένας αρμός διαστολής έχει σκοπό να παραλάβει τη διαστολή που δημιουργείται από την πυρκαγιά σε ένα πυροδιαμέρισμα, και έτσι να μην δημιουργηθεί καμία βλάβη σε παρακείμενο πυροδιαμέρισμα. Το πάχος του αρμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως : μέγεθος και σχήμα πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων, είδος συνδέσεως μεταξύ αυτών των στοιχείων, απαιτούμενη ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς. Ως ελάχιστο πάχος αρμού μπορεί να λαμβάνεται το  $0.001xL$  για ανθεκτικότητα μιας ώρας και  $0.0015xL$  για μεγαλύτερες ανθεκτικότητες, όπου  $L$  η απόσταση μεταξύ διαδοχικών αρμών. Γενικά οι αρμοί πρέπει να γεμίζονται με άκαυστες, συμπιεστές ίνες και να σφραγίζονται. Ακόμα πρέπει να γίνεται τακτική επίβλεψη και συντήρησή τους. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι δεν υπάρχει κανένα υλικό πλήρωσεως απόλυτα συμπιεστό. [1]

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πυρκαγιά έχει πολύ επιβλαβείς επιδράσεις σε μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα και μπορεί να προκαλέσει ακόμα και την αχρήστευση αυτής. Τις περισσότερες φορές όμως οι βλάβες είναι επισκευάσιμες με τις κατάλληλες μεθόδους. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν, από την παραπάνω συνοπτική μελέτη της επίδρασης της πυρκαγιάς, σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι τα ακόλουθα:

- 1) Τα ελαφροσκυροδέματα έχουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε πυρκαγιά από τα σκυροδέματα με πυριτικά αδρανή.
- 2) Τα συνήθη σκυροδέματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική επιμήκυνση από τα ελαφροσκυροδέματα.
- 3) Ο χάλυβας που υπέστη κατεργασία εν θερμώ είναι ανθεκτικότερος από αυτόν που υπέστη κατεργασία εν ψυχρώ. Αυτό ισχύει είτε το πείραμα γίνεται “κατά τη διάρκεια” της πυρκαγιάς είτε “μετά την απόψυξη”.
- 4) Τα οπλισμένα σκυροδέματα σχετικά υψηλότερης αντοχής έχουν μικρότερο ρυθμό πτώσεως της θλιπτικής αντοχής κάτω από υψηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με τα σχετικά χαμηλότερης αντοχής οπλισμένα σκυροδέματα.
- 5) Η κλιμάκωση της θλιπτικής αντοχής οπλισμένου σκυροδέματος είναι πιο έντονη για ράβδο οπλισμού με την μικρότερη διάμετρο των 8 mm και για το σκυρόδεμα μικρότερης αντοχής των 22.5 MPa όπως προέκυψε από πειραματική διαδικασία.
- 6) Από πειραματική διαδικασία παρατηρείται ότι οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον οπλισμό δοκιμίου επικάλυψης 20 mm, είναι σχετικά ίδιες με αυτές που αναπτύσσονται στην

επιφάνεια του δοκιμίου. Έτσι παρατηρείται πώς επηρεάζεται ο οπλισμός από τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται και γι' αυτό είναι λογικό συμπέρασμα ότι για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς χρειαζόμαστε μεγαλύτερη επικάλυψη οπλισμού.

7) Ως στατικά συστήματα προτιμώνται συνεχείς δοκοί και πολύστηλα πλαίσια.

8) Καλύτερη λύση για την πρόληψη των δυσμενών επιπτώσεων της πυρκαγιάς είναι να ληφθούν υπόψη οι κατάλληλες κατασκευαστικές διατάξεις στη φάση του σχεδιασμού.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Πρακτικός Σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα Έναντι Πυρκαγιάς. Θ. Π. ΤΑΣΙΟΣ, Γ. ΔΕΟΔΑΤΗΣ, Αθήνα 1984, σελ. 7-11, 18-26, 65-66, 107-112, 114
- [2] Συμβολή στη Πρόληψη και Αποκατάσταση Ζημιών από Φωτιά και Σεισμό. ΙΩΑΝΝΗ Σ. ΒΛΑΧΟΥ, Αθήνα 1990, σελ. 19-20
- [3] 11<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Τ.Ε.Ε. Ελληνικό Τμήμα Σκυροδέματος Κέρκυρα. 18-20 Μαΐου 1994, Τόμος 1, σελ. 302-312
- [4] Βλάβες Δομικών Έργων. RYBICKI, Γκιούρδας, Τόμος 2, σελ. 130-131
- [5] Βιβλιογραφία Εργασιών 3<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο 1997 Τόμος II, Εργασία Νο 6 Επισκευή Κτιρίων με Βλάβες από Φωτιά. ΚΟΡΔΟΝΟΥΡΗ ΕΙΡΗΝΗ
- [6] Rehabilitation, Renovation and Repairs of Structures. V. Jagannadha Rao, PDP Rao, H.B. Goli, January 1994, pages 399-407
- [7] Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature. ARTICLE. Nabi Yüzer, Fevziye Aköz and Leyla Dokuzer Öztürk, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 10, Pergamon, October 2004, pages 1803-1807
- [8] Πυρασφάλεια, Εφαρμοσμένη Πυροπροστασία και Στοιχεία Πυρόσβεσης. Β. ΣΕΛΛΟΥΝΤΟΣ, Γ. ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ, Στ. ΠΕΡΔΙΟΣ, Κ. ΧΟΥΣΙΑΝΑΚΟΣ, σελ. 131-138
- [9] Βιβλιογραφία Εργασιών 6<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο 2000 Τόμος I, Εργασία Νο 5, Επίδραση της Θερμοκρασίας σε Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Γ.Α. ΡΙΓΟΥΛΗΣ, Κ.Γ. ΤΖΙΚΑΣ