



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΤΟΥ
ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

ΚΑΤΕΡΙΝΗΣ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ 96306

ΚΑΤΣΑΒΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ 99855

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΟΥΛΙΑΤΟΣ ΠΑΝ.Γ.

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, 2007

Αθήνα, 2007

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή κ.Παν.Τουλιάτο για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε με την ανάθεσή της, καθώς επίσης και για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της. Επίσης ευχαριστούμε θερμά τον πυραγό κ.Λαγουδάκη Νίκο και τον αντιπυραγό κ.Παπαδογιαννάκη Κώστα και την πυροσβεστική υπηρεσία που υπηρετούν για την ουσιαστική βοήθεια που μας προσέφεραν. Τέλος, εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους όσους συνέβαλλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κατερίνης Χριστόφορος
Κατσαβριά Κωνσταντίνα

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Εισαγωγή..... | 1 |
| 1. Στοιχεία πυρκαγιάς..... | 3 |
| 1.1. Η πυρκαγιά ως φόρτιση..... | 3 |
| 1.2. Εισαγωγικές έννοιες (Θερμότητα-εκδήλωση πυρκαγιάς).. | 5 |
| 1.2.1. Θερμική κίνηση-Θερμοκρασία..... | 5 |
| 1.2.2. Θερμότητα-Ειδική θερμότητα..... | 6 |
| 1.2.3. Διάδοση της θερμότητας..... | 7 |
| 1.3. Συντελεστές που επηρεάζουν την πυρκαγιά..... | 7 |
| 1.4. Φιλοσοφία κανονισμών..... | 14 |
| 1.4.1 Γενικές απαιτήσεις των κανονισμών..... | 14 |
| 1.5 .Πυροπροστασία..... | 16 |
| 2. Συμπεριφορά του χάλυβα στην πυρκαγιά..... | 18 |
| 2.1 Μεταβολή των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων του χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας κατά του Ευροκώδικα 3..... | 18 |
| 2.1.1 Μηχανικές ιδιότητες | 18 |
| 2.1.1.1 Πυκνότητα..... | 19 |
| 2.1.2 Θερμικές ιδιότητες..... | 23 |
| 2.1.2 α Συντελεστής θερμικής διαστολής..... | 23 |
| 2.1.2 β Ειδική θερμότητα..... | 25 |
| 2.1.2 γ Θερμική αγωγιμότητα..... | 26 |
| 2.1.3 Φυσικές ιδιότητες του χάλυβα..... | 27 |
| 2.2 Η συμπεριφορά των σιδηρών δομικών έργων σε υψηλές Θερμοκρασίες..... | 29 |
| Γενικά..... | 29 |
| 2.2.1 Συμπεριφορά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες..... | 30 |
| 2.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του χάλυβα..... | 32 |
| 2.2.3 Υπολογισμός στοιχείου εκτεθειμένου σε τυπική πυρκαγιά..... | 35 |
| 2.2.4 Εφαρμογή αναλυτικών μεθόδων αντί του standard fire resistance test..... | 36 |
| 2.2.5 Μέλη σε ένταση..... | 37 |
| 2.2.6 Μειωτικοί συντελεστές χάλυβα..... | 38 |
| 2.3 Μέθοδοι και μέσα παθητικής πυροπροστασίας..... | 39 |
| 2.3.1 Γενικά-χρήσιμες έννοιες..... | 39 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.3.2 | Τρόποι παθητικής πυροπροστασίας χαλύβδινων μελών..... | 41 |
| 2.3.2.1 | Εισαγωγή..... | 41 |
| 2.3.2.2 | Πυροπροστατευτικά χρώματα..... | 42 |
| 2.3.3 | Συστήματα προστασίας με πλάκες μονωτικών υλικών..... | 43 |
| 2.3.3.1 | Εισαγωγή..... | 43 |
| 2.3.3.2 | Πίνακες λιθοβάμβακα..... | 43 |
| 2.3.3.3 | Πλάκες βερμικουλίτη ή περλίτη..... | 44 |
| 2.3.3.4 | Πίνακες γυψοκονίας..... | 44 |
| 2.3.4 | Συστήματα προστασίας με εκτοξευόμενα υλικά..... | 44 |
| 2.3.4.1 | Εκτοξευόμενες ανόργανες ύλες..... | 44 |
| 2.3.4.2 | Πυροπροστατευτικά επιχρίσματα..... | 45 |
| 2.3.5 | Άλλα συστήματα προστασίας (χωρίς συχνή εφαρμογή)..... | 45 |
| 2.3.5.1 | Προκατασκευασμένα γύψινα στοιχεία..... | 45 |
| 2.3.5.2 | Προκατασκευασμένα συστήματα..... | 46 |
| 2.3.5.3 | Εγκιβωτισμός με σκυρόδεμα..... | 46 |
| 2.3.5.4 | Πλήρωση κοίλων διατομών με σκυρόδεμα..... | 46 |
| 2.3.5.5 | Προκατασκευασμένα στοιχεία πλήρωσης υποστυλωμάτων..... | 47 |
| 2.3.5.6 | Εύκαμπτα υλικά επένδυσης..... | 48 |
| 2.3.5.7 | Πλήρωση υποστυλωμάτων με νερό..... | 48 |
| 3. | Σκυρόδεμα..... | 50 |
| 3.1 | Ιδιότητες και χαρακτηριστικά σκυροδέματος..... | 50 |
| 3.1.1 | Τα υλικά του Ω.Σ υπό υψηλές θερμοκρασίες..... | 50 |
| | Γενικές παραδοχές..... | 50 |
| 3.1.2 | Θλιπτική αντοχή..... | 51 |
| 3.1.3 | Εφελκυστική αντοχή..... | 52 |
| 3.1.4 | Μέτρο ελαστικότητας..... | 53 |
| 3.1.5 | Συντελεστής θερμικής διαστολής..... | 54 |
| 3.1.6 | Θερμικές παραμορφώσεις..... | 56 |
| 3.2 | Κατασκευαστικές λεπτομέρειες..... | 56 |
| 3.2.1 | Γενικότητες..... | 56 |
| 3.2.2 | Γενικές συστάσεις σχετικά με τον οπλισμό..... | 57 |
| 3.2.3 | Δοκοί..... | 58 |
| 3.2.3.1 | Σχήμα και διαστάσεις διατομών δοκών..... | 58 |
| 3.2.3.2 | Η θέση των οπλισμών σε διατομές δοκών..... | 59 |
| 3.2.3.3 | Αμφιέριστες δοκοί σιδηροπαγούς σκυροδέματος..... | 60 |
| 3.2.3.4 | Συνεχείς δοκοί σιδηροπαγούς σκυροδέματος..... | 60 |
| 3.2.4 | Δοκοί από προεντεταμένο σκυρόδεμα..... | 61 |
| 3.2.4.1 | Αμφιέριστες δοκίδες με προένταση αγκυρούμενη με Συνάφεια..... | 61 |
| 3.2.4.2 | Αμφιέριστες κανονικά προεντεταμένες δοκοί..... | 62 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.2.4.3 | Συνεχείς δοκοί προεντεταμένου σκυροδέματος..... | 62 |
| 3.2.5 | Πλάκες..... | 63 |
| 3.2.5.1 | Αμφιέριστες πλάκες..... | 63 |
| 3.2.5.2 | Προεντεταμένες συνεχείς πλάκες..... | 63 |
| 3.2.6 | Υποστυλώματα..... | 63 |
| 3.2.7 | Αρμοί και συνδέσεις στοιχείων από Ω.Σ..... | 64 |
| 3.2.7.1 | Αρμοί (γεμισμένοι με κονίαμα ή σκυρόδεμα) μεταξύ προκατασκευασμένων πλακών..... | 64 |
| 3.2.7.2 | Αρμοί (μερικώς γεμισμένοι με κονίαμα ή σκυρόδεμα) μεταξύ δοκών ή μεταξύ νευρώσεων προκατασκευασμένων τοιχείων..... | 66 |
| 3.2.7.3 | Αρμοί μεταξύ προκατασκευασμένων τοιχείων..... | 67 |
| 3.2.7.4 | Πρόβλεψη αρμών διαστολής..... | 67 |
| 3.2.7.5 | Αρμοί διαστολής μεταξύ πλακών..... | 67 |
| 3.3 | Ο σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς..... | 70 |
| 3.3.1 | Γενικές απαιτήσεις..... | 70 |
| 3.3.2 | Ενεργητική προστασία..... | 70 |
| 3.3.3 | Παθητική προστασία..... | 71 |
| 3.3.3.1 | Ικανότητα αναλήψεως φορτίων..... | 71 |
| 3.3.3.2 | Διατήρηση της αντιπυρικής ακεραιότητας..... | 72 |
| 3.3.3.3 | Διατήρηση της θερμομονωτικής ικανότητας..... | 72 |
| 3.3.4 | Τα δύο στάδια του σχεδιασμού..... | 73 |
| 3.3.4.1 | Κλάσεις πυρκαγιάς..... | 73 |
| 3.3.5 | Κριτήρια επάρκειας της αντοχής των διατομών..... | 75 |
| 3.3.5.1 | Εκτέλεση πειραμάτων..... | 75 |
| 3.3.5.2 | Ικανοποίηση ορισμένων κατασκευαστικών διατάξεων..... | 75 |
| 3.3.5.3 | Η υπολογιστική επαλήθευση..... | 76 |
| 4. | Γενικές παρατηρήσεις πάνω στις σύμμικτες κατασκευές. Έλεγχος σύμμικτων υποστυλωμάτων στη θερμή κατάσταση..... | 77 |
| 4.1 | Γενικά..... | 77 |
| 4.2 | Ελληνική πραγματικότητα..... | 79 |
| 4.3 | Συμπεράσματα..... | 80 |
| 4.4 | Μελέτη μιάς περίπτωσης πυρκαγιάς από το αρχείο της πυροσβεστικής υπηρεσίας..... | 81 |
| 4.4.1 | Μελέτη περίπτωσης..... | 81 |
| 4.4.2 | Περιγραφή της εμφάνισης του κτιρίου..... | 83 |
| 4.4.3 | Λεπτομέρειες της πυρκαγιάς..... | 84 |
| 4.4.4 | Έκταση της ζημιάς, ανάλυση των γενικών αποτελεσμάτων, έκταση της κατασκευής που επηρεάστηκε..... | 85 |
| 4.4.5 | Έκταση αποφλοιώσης..... | 86 |
| 4.4.6 | Περιγραφή της ζημιάς στα δομικά συστατικά..... | 87 |
| 4.4.7 | Φωτογραφίες μελέτης..... | 89 |
| | Βιβλιογραφία..... | 93 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κεντρική ιδέα της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η συγκέντρωση πληροφοριών γύρω από τη συμπεριφορά σε περίπτωση πυρκαγιάς των βασικών δομικών υλικών του φέροντα οργανισμού, δηλαδή του χάλυβα και του οπλισμένου σκυροδέματος.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι για το συγκεκριμένο θέμα εδώ και κάποια χρόνια έχουν ξεκινήσει πλήθος ερευνητικών προγραμμάτων σε παγκόσμια κλίμακα, με σκοπό την κατανόηση των παραγόντων και του τρόπου που αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την πυρκαγιά εντός μιάς κατασκευής. Συγχρόνως έχουν μελετηθεί εκτενώς η συμπεριφορά και οι αντοχές που αναπτύσσουν τα διάφορα στοιχεία των δύο βασικών δομικών υλικών σε τέτοιες συνθήκες, γεγονός που έχει συμβάλει ουσιαστικά στη δημιουργία υπολογιστικών μεθόδων για τον ασφαλή σχεδιασμό τους. Στις μεθόδους αυτές έρχονται να προστεθούν και μια σειρά πειραμάτων τα οποία διεκπεραιώθηκαν σε κτίρια πραγματικών διαστάσεων. Τα αποτελέσματά τους βοήθησαν σε μεγάλο βαθμό να διορθωθούν ορισμένες εσφαλμένες αντιλήψεις πάνω στο θέμα αυτό. Οι υπάρχοντες λοιπόν κανονισμοί των διαφόρων χωρών προσαρμόζονταν κάθε φορά στα νέα δεδομένα και σήμερα οι κυριότεροι από αυτούς, αν και έχουν δημιουργηθεί μέσα σε διαφορετικά πλαίσια και σκεπτικό ο καθένας, επαρκούν και τηρούν τις απαιτήσεις σχεδιασμού μιάς σύγχρονης κατασκευής.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται ορισμένες βασικές έννοιες σε σχέση με τη θερμότητα και τους τρόπους διάδοσης αυτής στον περιβάλλοντα χώρο, καθώς και οι πρώτες έννοιες και ορισμοί γύρω από την εκδήλωση πυρκαγιάς και την πυροπροστασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής αναφορά στις κατασκευές από χάλυβα. Αναφέρονται επίσης οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του υλικού, η συμπεριφορά του στην πυρκαγιά και οι βασικές μέθοδοι πυραντίστασης.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσονται ομοίως όπως στο δεύτερο κεφάλαιο τα αντίστοιχα για το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρουμε τα συμπεράσματα της εργασίας μας. Επίσης γίνεται σύντομος έλεγχος των σύμμικτων υποστυλωμάτων στη θερμή κατάσταση και παρατηρείται η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα. Τέλος παρατίθενται φωτογραφίες από το αρχείο της πυροσβεστικής υπηρεσίας που δείχνουν την κατάσταση του χάλυβα και του οπλισμένου σκυροδέματος μετά από πυρκαγιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

- Η πυρκαγιά ως φόρτιση
- Εισαγωγικές έννοιες (θερμότητα, θερμοκρασία, διάδοση θερμότητας)
- Συντελεστές που επηρεάζουν την πυρκαγιά
- Φιλοσοφία κανονισμών
- Πυροπροστασία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

1.1 Η πυρκαγιά ως φόρτιση

Η θεμελιώδης αρχή στην οποία στηρίζονται όλες οι μέθοδοι σχεδιασμού μιάς κατασκευής σε φωτιά είναι η προοδευτική απώλεια της αντοχής και της ακαμψίας των φερόντων στοιχείων της σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η εκτίμηση της στατικής συμπεριφοράς μιάς κατασκευής, κατά το σχεδιασμό της σε περίπτωση πυρκαγιάς γίνεται με τη χρήση πρότυπων πειραματικών διατάξεων, σύνθετων υπολογιστικών μοντέλων (Προτύπων), απλών υπολογιστικών μεθόδων ή με συνδυασμό κάποιων από τα παραπάνω.

Η χρήση πειραματικών διατάξεων (πρότυπων δοκιμών πυραντίστασης- standard fire resistance tests) συνηθίζεται σε περιπτώσεις στις οποίες προσπαθούμε να εκτιμήσουμε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα τη σταθερότητα της μόνωσης ή τον τοπικό λυγισμό των μελών. Παρά την αναγκαιότητα χρήσης της μεθόδου σε τέτοιες ειδικές περιπτώσεις, συνήθως η χρήση της αποφεύγεται για οικονομικούς και πρακτικούς λόγους.

Πράγματι σε μια κατασκευή είναι τόσο μεγάλη η ποικιλία των διατομών (σχήμα και μέγεθος), της στάθμης φόρτισης των μελών, ακόμη και των δοκών και των υποστυλωμάτων, ώστε να είναι πρακτικά αδύνατη η εξάντληση πειραματικά όλων των δυνατών περιπτώσεων φόρτισης.

Τα προχωρημένα υπολογιστικά μοντέλα είναι μέθοδοι σχεδιασμού οι οποίες απαιτούν τη χρήση Η/Υ καθώς και λεπτομερή γνώση των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων των υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι μέθοδοι αυτές λαμβάνουν υπ' όψη τη μη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας εγκαρσίως της διατομής ενός μέλους και οδηγούν σε πλήρη «εξάντληση» των προσφερομένων από τα δομικά υλικά δυνατοτήτων (αντοχή, ακαμψία κτλ). Παρόλα αυτά οι μέθοδοι αυτές βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και δεν τυγχάνουν ευρείας χρήσης.

Τα απλά υπολογιστικά μοντέλα είναι απλοποιημένες μέθοδοι σχεδιασμού που μας δίνουν γρήγορα και αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα μοντέλα αυτά εφαρμόζονται στα μέλη μιάς κατασκευής (όχι σε ολόκληρη την κατασκευή) έχουν δε ευρύτατο φάσμα εφαρμογών.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

(ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ - ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ)

1.2.1 Θερμική κίνηση - θερμοκρασία

Τα σώματα γενικά είτε στη στερεή κατάσταση βρίσκονται, είτε στην υγρή, είτε στην αέρια, αποτελούνται από δομικές μονάδες (άτομα, μόρια, ιόντα), που βρίσκονται σε μια συνεχή κίνηση. Συγκεκριμένα: Στα στερεά οι δομικές μονάδες ταλαντώνονται γρήγορα γύρω από μία θέση ισορροπίας, που παραμένει ακίνητη, στα υγρά οι δομικές μονάδες κινούνται σε ακανόνιστες τροχιές, χωρίς να αποχωρίζονται τελείως η μία από την άλλη και τέλος, στα αέρια οι δομικές μονάδες κινούνται άτακτα και ευθύγραμμα προς όλες τις κατευθύνσεις. Η κίνηση αυτή των δομικών μονάδων λέγεται θερμική κίνηση και γίνεται τόσο εντονότερη όσο περισσότερη ενέργεια δίνουμε από έξω στο σώμα.

Η ζωηρότητα της θερμικής κίνησης των δομικών μονάδων ενός σώματος χαρακτηρίζεται από ένα φυσικό μέγεθος που λέγεται θερμοκρασία. Ονομάζουμε θερμοκρασία ενός σώματος το μέτρο της μέσης τιμής της κινητικής ενέργειας των δομικών μονάδων του σώματος, λόγω της θερμικής κίνησης.

Για να συγκρίνουμε τις θερμοκρασίες των διάφορων σωμάτων δεχόμαστε τις ακόλουθες αρχές:

- Αν δύο σώματα έρθουν σε θερμική επαφή για αρκετό χρόνο, θα αποκτήσουν τελικά την ίδια θερμοκρασία, οπότε τότε λέμε ότι μεταξύ τους αποκαταστάθηκε θερμική ισορροπία.
- Αν δύο σώματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με τρίτο σώμα, τότε θα βρίσκονται και μεταξύ τους σε θερμική ισορροπία.

1.2.2 Θερμότητα - ειδική θερμότητα

Θερμότητα ονομάζεται η εσωτερική ενέργεια που πηγαίνει από ένα σώμα σε ένα άλλο, όταν μεταξύ τους υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας. Η ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται η μονάδα της μάζας ενός υλικού, για να αυξήσει τη θερμοκρασία της κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ εκφράζει την ειδική θερμότητα του υλικού αυτού και παριστάνεται με το c . Έτσι, αν jdQ είναι το ποσό της θερμότητας, που πρέπει να δώσουμε σε ένα σώμα με μάζα m , για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά dt , θα έχουμε:

$$c = dQ / (m dt)$$

Η σχέση αυτή ορίζει την ειδική θερμότητα του υλικού και δίνει τη μονάδα της, που είναι:

$$1 \text{ cal/grgrad.}$$

1.2.3 Διάδοση της θερμότητας

Όταν δύο σώματα ή δύο σημεία ενός σώματος βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία, τότε διαδίδεται η θερμότητα από το θερμότερο σώμα ή σημείο στο ψυχρότερο, για την αποκατάσταση θερμικής ισορροπίας μεταξύ τους. Η διάδοση της θερμοκρασίας γίνεται με τρεις τρόπους: Με αγωγή, με μεταφορά και με ακτινοβολία.

Διάδοση της θερμότητας με αγωγή έχουμε και στα στερεά και στα υγρά και στα αέρια. Διάδοση της θερμότητας με μεταφορά έχουμε μόνο στα ρευστά (υγρά και αέρια), ενώ διάδοση της θερμότητας με ακτινοβολία έχουμε στα διαφανή υλικά (στερεά, υγρά και αέρια) και στο κενό.

1.3 Συντελεστές που επηρεάζουν την πυρκαγιά

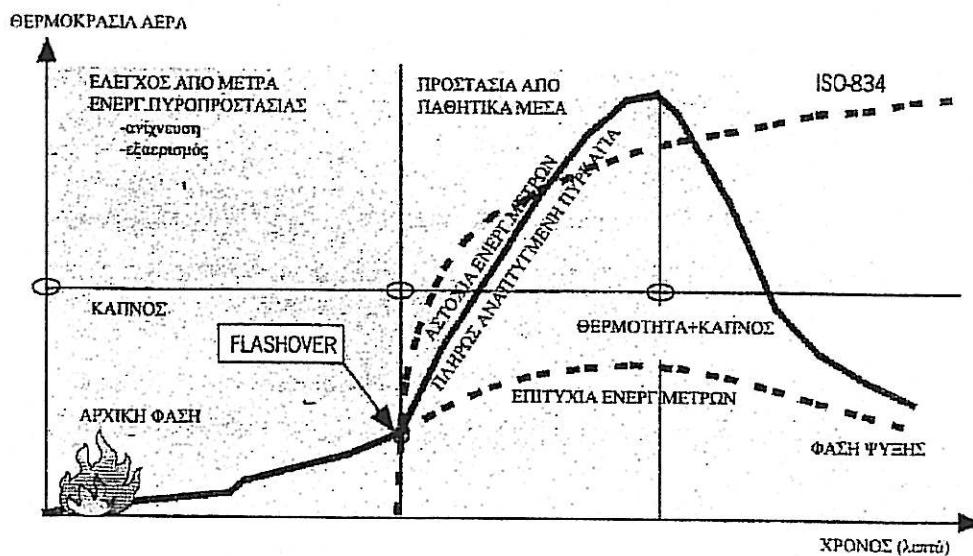
Όταν συμβαίνει μία πυρκαγιά, τα κύρια στοιχεία της κατασκευής οφείλουν να διατηρήσουν τη φέρουσα ικανότητά τους, για ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η κατασκευή. Επιπλέον, η φωτιά θα πρέπει να περιοριστεί στο χώρο εκδήλωσή της και να μην εξαπλωθεί στην υπόλοιπη κατασκευή. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, κατασκευαστικά υλικά όπως ο χάλυβας, το σκυρόδεμα, η λιθοδομή και το ξύλο, οφείλουν να διατηρήσουν τις μηχανικές τους ιδιότητες ικανοποιητικά σε μια πυρκαγιά, έτσι ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση του κτιρίου.

Σε μια πυρκαγιά τρεις είναι οι φάσεις που εμφανίζονται:

- Στην πρώτη, τη φάση ανάπτυξης, η καύσιμη ύλη αρχίζει να

καίγεται. Η θερμοκρασία μέσα στο διαμέρισμα ποικίλλει από το ένα σημείο στο άλλο, με σημαντικές διαβαθμίσεις και υπάρχει βαθμιαία διάδοση της πυρκαγιάς.

- Στη δεύτερη φάση, η μέση θερμοκρασία στο διαμέρισμα μεγαλώνει. Αν φτάσει στους 300 °C με 500 °C, τα πάνω στρώματα υπόκεινται σε μια ξαφνική ανάφλεξη, γνωστή ως flashover και τότε η φωτιά αναπτύσσεται πλήρως. Μετά το flashover, η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται πολύ γρήγορα από τους 500 °C σε μια μέγιστη τιμή, που συχνά υπερβαίνει τους 1000 °C και τότε πρακτικά γίνεται ομοιόμορφη σε όλο το διαμέρισμα.
- Στην Τρίτη φάση, η διαθέσιμη καύσιμη ύλη αρχίζει να μειώνεται και η θερμοκρασία του αέρα αρχίζει να πέφτει



Διάγραμμα 1: Ανάπτυξη της πυρκαγιάς σε ένα διαμέρισμα

Η διάρκεια και η σφοδρότητα της πυρκαγιάς στις τρεις παραπάνω φάσεις εξαρτώνται από τις εξής παραμέτρους:

- Την πυκνότητα, το είδος και τη σχετική θέση του πυροθερμικού φορτίου.
- Τις συνθήκες αερισμού του χώρου
- Τη γεωμετρία του διαμερίσματος
- Τη θερμομονωτική ικανότητα των τοίχων, οι οποίοι περιβάλλουν την κατασκευή.

Ως πυροθερμικό φορτίο ορίζεται η εκλυόμενη ποσότητα θερμότητας από την καύση όλων των ειδών καύσιμου υλικού που βρίσκεται στο εσωτερικό του χώρου αναφοράς. Αναγόμενο το φορτίο αυτό σε τετραγωνικό μέτρο κατόψεως δίνει τη λεγόμενη πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου. Η πυκνότητα αυτή, αφ' εκφράζεται πολλές φορές σε χιλιόγραμμα ισοδύναμης ποσότητας, από πλευράς εκλυόμενης θερμότητας ξύλου ανά m^2 κατόψεως. Έτσι η πυκνότητα πυροθερμικού

φορτίου 2000 Mj/m² ισοδυναμεί με 115 Kg/m² ξύλου.

Σε ορισμένες χώρες το ποσό των εύφλεκτων υλικών δε διαιρείται μόνο με την επιφάνεια του πατώματος, αλλά με όλες τις επιφάνειες του διαμερίσματος, οριζόντιες και κατακόρυφες, συμπεριλαμβανομένων και των ανοιγμάτων. Στην περίπτωση αυτή η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου συμβολίζεται με q_i .

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις πυρκαγιών δε λαμβάνει χώρα πλήρης καύση της συνολικής ποσότητας καύσιμων υλικών που διαθέτει ένα διαμέρισμα. Τότε οι τύποι που δίνουν την πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου τροποποιούνται με τη βοήθεια ενός συντελεστή μ_n , ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 και εξαρτάται από το είδος των καύσιμων υλικών, τη γεωμετρία του χώρου και τις συνθήκες της πυρκαγιάς, όπως είναι η διάρκειά της. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ενδεικτικά κάποιες τιμές πυροθερμικού φορτίου.

| Είδος διαμερίσματος | Πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου, q_i σε Mj/m ² |
|-------------------------|--|
| Κατοικίες: υπνοδωμάτιο | 630 |
| καθιστικό | 510 |
| Γραφεία: τεχνικά | 720 |
| διοικητικά | 640 |
| Σχολεία: δημοτικό | 370 |
| Γυμνάσιο | 400 |
| λύκειο | 260 |
| Νοσοκομεία: υπνοδωμάτιο | 80 |
| Ξενοδοχεία: υπνοδωμάτιο | 420 |

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικές τιμές πυκνότητας πυροθερμικού φορτίου.

Όπως προαναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια μιάς πυρκαγιάς, η τιμή της αύξησης της θερμοκρασίας εξαρτάται από την ποσότητα του οξυγόνου που είναι διαθέσιμη για την καύση καθώς και από το διασκορπισμό της θερμότητας μέσω των τοίχων και των ανοιγμάτων. Η επιρροή των συνθηκών αερισμού λαμβάνεται υπόψη μέσω ενός συντελεστή αερισμού, του O :

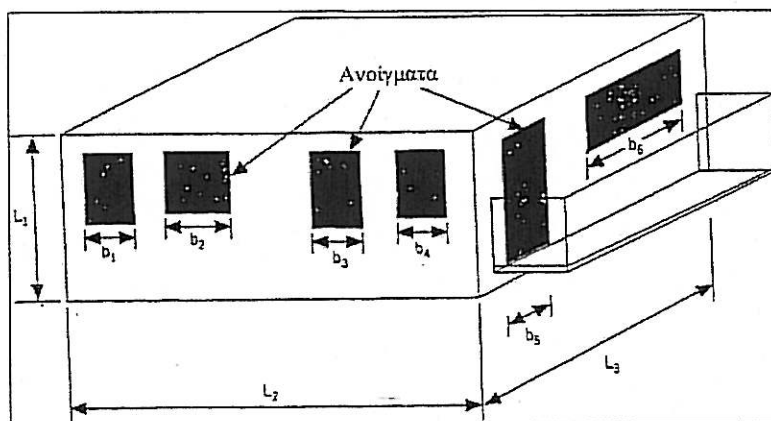
$$O = (A_w/A_t)\sqrt{h}$$

Όπου A_w : Η ολική επιφάνεια ανοιγμάτων (m^2)

h : Μέσο ύψος ανοιγμάτων

A_t : Συνολική περιβάλλουσα επιφάνεια του διαμερίσματος (m^2)

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε τον τρόπο υπολογισμού του συντελεστή αερισμού.



Σχήμα 1: Υπολογισμός του συντελεστή αερισμού για ένα τυπικό διαμέρισμα

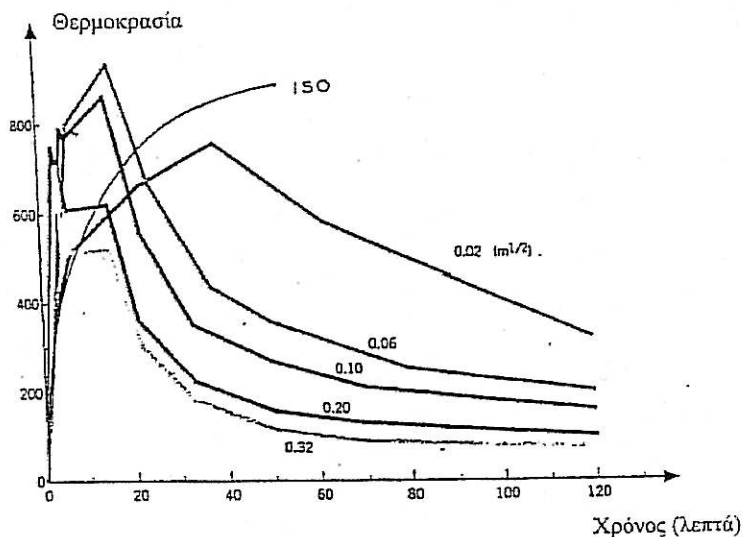
$$A_w = b_1h_1 + b_2h_2 + \dots + b_6h_6 \quad (m^2)$$

$$A_t = 2[L_1L_2 + L_1L_3 + L_2L_3] \quad (m^2)$$

$$h = 1/A_w[A_1h_1 + A_2h_2 + \dots + A_6h_6] \quad (m)$$

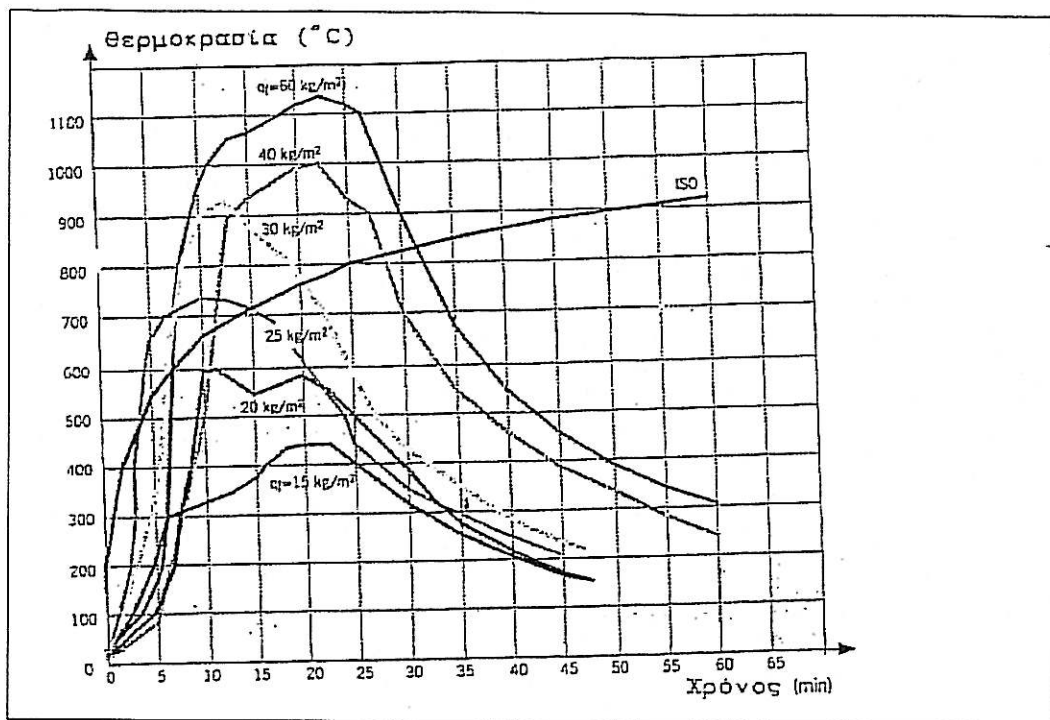
$$\text{Συντελεστής αερισμού} = (A_w\sqrt{h}/A_t)\sqrt{m}$$

Οι πυρκαγιές που η έντασή τους εξαρτάται από τον αερισμό, λαμβάνουν χώρα όταν τα ανοίγματα του διαμερίσματος είναι σχετικά μικρά σε σύγκριση με τις πραγματικές διαστάσεις. Σε περιπτώσεις στις οποίες ο χώρος που εκτίθεται σε πυρκαγιά έχει μεγάλα ανοίγματα, σημειώνονται μεγαλύτερες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας και γρηγορότερη φάση μείωσης της θερμοκρασίας του χώρου. Πειραματικά έχει διαπιστωθεί ότι η μέγιστη θερμοκρασία χώρου εμφανίζεται για έναν συγκεκριμένο συντελεστή αερισμού. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται διάφορες καμπύλες θερμοκρασίας-χώρου για διάφορες τιμές του συντελεστή αερισμού.



Διάγραμμα 2: Θερμοκρασία αέρα σε συνάρτηση με το συντελεστή αερισμού για πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου $q_f = 4000 \text{ MJ/m}^2$

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η θερμοκρασία του χώρου για καθορισμένη τιμή του συντελεστή αερισμού - $O = 0,091 \text{ m}^{1/2}$ - και για διάφορες τιμές πυροθερμικού φορτίου.



Διάγραμμα 3: Θερμοκρασία αέρα σε συνάρτηση με την πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου για συντελεστή αερισμού $O = 0,091 \text{ m}^2$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μικρές και σχετικά ήπιες πυρκαγιές αναμένονται όταν έχουμε μεγάλα ανοίγματα, δηλαδή μεγάλο εξαερισμό και επομένως μεγάλο πεδίο ροής του αέρα μέσα σε ένα διαμέρισμα και όταν η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου είναι σχετικά μικρή. Από την άλλη πλευρά, υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλης διάρκειας πυρκαγιές λαμβάνουν χώρα όταν έχουμε μεγάλες πυκνότητες πυροθερμικού φορτίου και μικρό διασκορπισμό της θερμότητας μέσα από ανοίγματα και τοίχους.

1.4 Φιλοσοφία κανονισμών

1.4.1 Γενικές απαιτήσεις των κανονισμών

Ο ευρωκώδικας και ο αγγλικός κανονισμός παραθέτουν αρχικά ορισμένες βασικές προϋποθέσεις, οι οποίες θα πρέπει να πληρούνται, έτσι ώστε οι μεταλλικές κατασκευές να θεωρούνται προστατευμένες έναντι πυρκαγιάς. Τα παρακάτω συμπίπτουν με τις γενικές απαιτήσεις για το σχεδιασμό μιάς κατασκευής και την επιλογή του υλικού σύμφωνα με τον ευρωκώδικα, όμως μόνο η πρώτη προϋπόθεση αποτελεί εντελώς την ευθύνη του μελετητή μηχανικού.

- Η ικανότητα της κατασκευής να κρατάει τα φορτία να είναι επαρκής για μια καθορισμένη χρονική περίοδο.
- Η γέννηση και η εξάπλωση της φωτιάς μέσα στο έργο να είναι περιορισμένη.
- Η εξάπλωση της φωτιάς μέσα στο έργο να είναι περιορισμένη.
- Οι κάτοχοι να μπορέσουν να φύγουν από το κτίριο ή να σωθούν με κάποιο τρόπο.
- Λαμβάνεται υπόψη η ασφάλεια των σωστικών συνεργείων.

Στον BS5950 αναφέρεται ότι οι σκοποί των πυροπροστατευτικών μέσων είναι να διαφυλάξουν την ασφάλεια των ανθρώπων και να ελαχιστοποιήσουν τις υλικές καταστροφές και τις οικονομικές ζημιές από την πυρκαγιά. Οι σκοποί αυτοί είναι οι εξής:

- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου ανάφλεξης.
- Εξασφάλιση των εξόδων κινδύνου.
- Μείωση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς.

- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου αστοχίας και κατάρρευση της κατασκευής.

Όλοι οι κανονισμοί βασίζονται στην ασφάλεια των κατόχων καθώς και στην αποφυγή μιάς εκτεταμένης, καταστρεπτικής πυρκαγιάς. Πρακτικά, οι κανονισμοί προσπαθούν επίσης να προνοήσουν και για την προστασία της ιδιοκτησίας και ειδικά όσον αφορά δυσανάλογες καταστροφές σε μικρές πυρκαγιές. Είναι ιδιαίτερα δύσκολο να ξεχωριστούν αυτές οι απαιτήσεις και παράλληλα να ληφθούν υπόψη ειδικά μέτρα πυροπροστασίας όπως είναι οι αυτόματοι ανιχνευτές, η χρήση συστήματος sprinkler και τα φράγματα καπνού, τα οποία έχουν σημαντικά αποτελέσματα τόσο στην ασφάλεια της ζωής όσο και στην ελαχιστοποίηση της καταστροφής. Τα μέτρα αυτά είναι γνωστά ως μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας, καθώς προσπαθούν να μειώσουν την ένταση της πυρκαγιάς. Τις περισσότερες φορές ο κατασκευαστής ενδιαφέρεται για τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας, τα οποία χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί επαρκής αντοχή, η οποία θα προστατεύει τον χάλυβα και τα άλλα στοιχεία από το να αυξήσουν υπερβολικά τη θερμοκρασία τους και να χάσουν ένα μέρος της αντοχής τους στην πυρκαγιά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αντοχή έναντι πυρκαγιάς είναι ενδεικτική και συνήθως οι πραγματικές πυρκαγιές είναι λιγότερο έντονες συγκριτικά με αυτές των τεστ. Παραδείγματος χάρη μια δοκός με αντοχή μίας ώρας δεν θα καταρεύσει ακριβώς σε μία ώρα.

1.5 Πυροπροστασία

Εκτός από τις άμεσες ζημιές που ίσως προκαλούνται στα κτίρια και στα περιεχόμενά τους από τα προϊόντα της καύσης (θερμότητα και καπνό), οι τρεις σπουδαιότερες παράμετροί τους είναι: α) Η δυνατότητα ανίχνευσής τους, β) Η τοξικότητά τους και γ) Η επίδρασή τους στη διαδικασία διαφυγής λόγω μείωσης της ορατότητας.

Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού και με δεδομένο ότι είναι γνωστές ή έχουν εκτιμηθεί οι συνθήκες λειτουργίας ενός κτιρίου, δηλαδή παράμετροι όπως τα φορτία, το περιβάλλον και οι ιδιαιτερότητες της χρήσης, λαμβάνονται μέτρα που θα παρέχουν λογικά πρότυπα για την εξασφάλιση της υγείας και της ασφάλειας των ανθρώπων μέσα σε και γύρω από τα κτίρια σε περίπτωση πυρκαγιάς, που μεταφράζεται σε τέσσερις λειτουργικές απαιτήσεις, οι οποίες πρέπει να ενσωματωθούν στο κτίριο.

Σε περίπτωση πυρκαγιάς:

- Πρέπει να υπάρχουν τρόποι και μέσα διαφυγής από το κτίριο προς ασφαλή χώρο εκτός κτιρίου, που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
- Για να εμποδιστεί η εξάπλωση των φλογών στο κτίριο, πρέπει οι επιφάνειες των υλικών που χρησιμοποιούνται σε τοίχους και οροφές να παρέχουν ικανοποιητική αντίσταση στη διάδοση των φλογών και όταν καίγονται, να εμφανίζουν περιορισμένο αριθμό απελευθέρωσης θερμότητας.
- Το κτίριο πρέπει να είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε σε

περίπτωση πυρκαγιάς η ευστάθειά του να διατηρείται αμετάβλητη για ένα λογικό διάστημα. Πρέπει να είναι διαμερισματοποιημένο, ώστε να αποτρέπεται η εσωτερική διάδοση της πυρκαγιάς.

Μεγάλοι και επισφαλείς χώροι πρέπει να σφραγίζονται και να υποδιαιρούνται και οι διαχωριστικοί τοίχοι μεταξύ ιδιοκτησιών πρέπει να ανθίστανται στη διάδοση φωτιάς και καπνού.

- Η διάδοση της φωτιάς μέσω τοίχων και οροφών πρέπει να αποτρέπονται μεταξύ παρακείμενων κτιρίων.

Το σύνολο των λειτουργικών απαιτήσεων που ενσωματώνονται στη δομή του κτιρίου χαρακτηρίζονται ως **παθητική πυροπροστασία**. Τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας συνήθως δεν μπορούν να αποτελέσουν αυτοδύναμες και ολοκληρωμένες λύσεις πυρασφαλούς προστασίας στις σύγχρονες, σύνθετες χρήσης, κατασκευές. Κατά το σχεδιασμό λοιπόν ενός κτιρίου αναφέρεται η ανάγκη να ληφθούν πρόσθετα μέσα και μέτρα πυροπροστασίας, που σε πολλές περιπτώσεις λειτουργούν συμπληρωματικά των παθητικών, ενώ σε άλλες περιπτώσεις αποτελούν την πλέον αποτελεσματική και αξιόπιστη διαδικασία πυροπροστασίας. Το σύνολο αυτών των μέτρων με τα οποία εξασφαλίζεται, όπου απαιτείται, η έγκαιρη αυτόματη ανίχνευση και ο εντοπισμός των σημείων όπου εξερράγη πυρκαγιά, η σήμανση σιγναγερμού, καθώς και η αυτόματη ή χειροκίνητη κατάσβεση (ή περιορισμός της πυρκαγιάς), αποτελούν την **ενεργητική πυροπροστασία**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Συμπεριφορά του χάλυβα στην πυρκαγιά

- Μεταβολή των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων του χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας κατά τον ευροκώδικα 3
- Φυσικές ιδιότητες του χάλυβα
- Συμπεριφορά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες
- Μέθοδοι και μέσα παθητικής πυροπροστασίας
- Τρόποι παθητικής πυροπροστασίας χαλύβδινων μελών
- Άλλα συστήματα προστασίας

Κεφάλαιο 2

2. Συμπεριφορά του χάλυβα στην πυρκαγιά

2.1 Μεταβολή των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων του χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας κατά τον Ευρωκώδικα 3.

2.1.1 Μηχανικές ιδιότητες

- Όταν ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας βρίσκεται μεταξύ των 2-50°K/min τότε η σχέση τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες δίνονται από το διάγραμμα 4 που ακολουθεί. Εφαρμογή της εν λόγω σχέσης, για διάφορες θερμοκρασίες και ποιότητες χάλυβα, υπάρχει στο παράρτημα Α του κεφαλαίου αυτού.
- Η σχέση τάσεων ανηγμένων παραμορφώσεων του διαγράμματος 4 αφορά σε εφελκυστική, θλιπτική, καμπτική και διατμητική καταπόνηση.
- Ο πίνακας 2 δίνει τους μειωτικούς συντελεστές των μεγεθών στις υψηλές θερμοκρασίες (Ο λόγος της τιμής του μεγέθους σε υψηλές θερμοκρασίες προς την τιμή του μεγέθους στους 20°c), οι οποίοι είναι:

-Η τάση διαρροής στη θερμοκρασία θ προς την τάση διαρροής στους 20°c

$$k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$$

-Το όριο αναλογίας προς την τάση διαρροής στους 20°c

$$k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$$

-Μέτρο ελαστικότητας στη θερμοκρασία θ προς το μέτρο ελαστικότητας στους 20°C

$$k_{\epsilon, \theta} = E_{\alpha, \theta} / E_{\alpha}$$

- Η μεταβολή των μειωτικών αυτών συντελεστών σε σχέση με τη θερμοκρασία φαίνεται στο διάγραμμα 5.
- Εναλλακτικά, για θερμοκρασίες χαμηλότερες των 400°C , η σχέση τάσεων παραμορφώσεων εμπεριέχει την κράτυνση του χάλυβα (βλέπε παράρτημα Β) με την προϋπόθεση ότι οι αναλογίες της διατομής είναι τέτοιες που να εμποδίζεται η εμφάνιση τοπικού λυγισμού, λόγω αυξημένης θλιπτικής τάσης και ότι το μέλος είναι επαρκώς δεσμευμένο ώστε να αποφύγουμε την εμφάνιση καθολικού λυγισμού.
- Στον πίνακα 2 δίνεται και η τιμή του μειωτικού συντελεστή $k_{\kappa, \theta}$ για χρήση έναντι του $k_{\gamma, \theta}$ όταν είναι απαραίτητο να ικανοποιηθούν παραμορφωσιακά κριτήρια.

2.1.1.1 Πυκνότητα

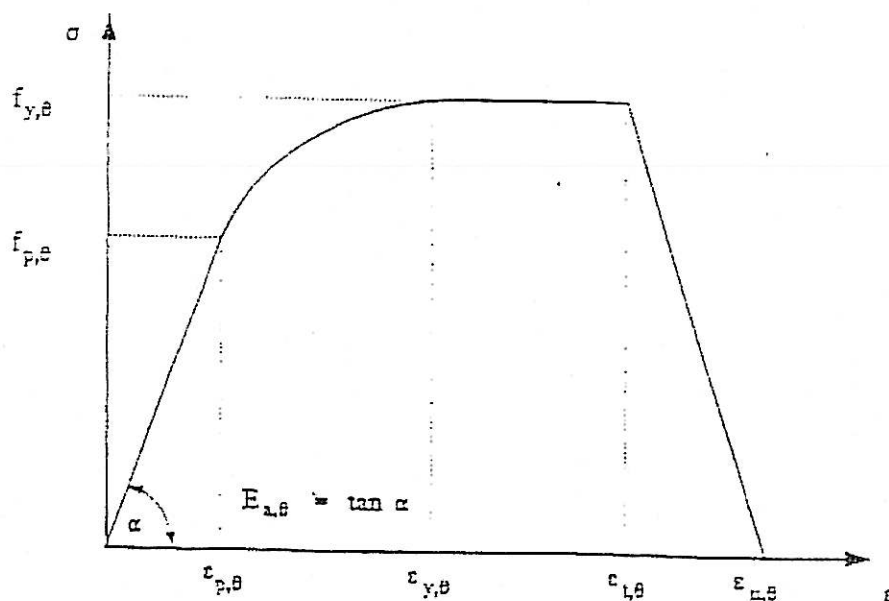
Η πυκνότητα του χάλυβα μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη της θερμοκρασίας με τιμή $\rho_{\alpha} = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Μειωτικοί συντελεστές που αντιστοιχούν στη θερμοκρασία
 θ_a σχετικοί με τα f_y ή E_a στους 20°C

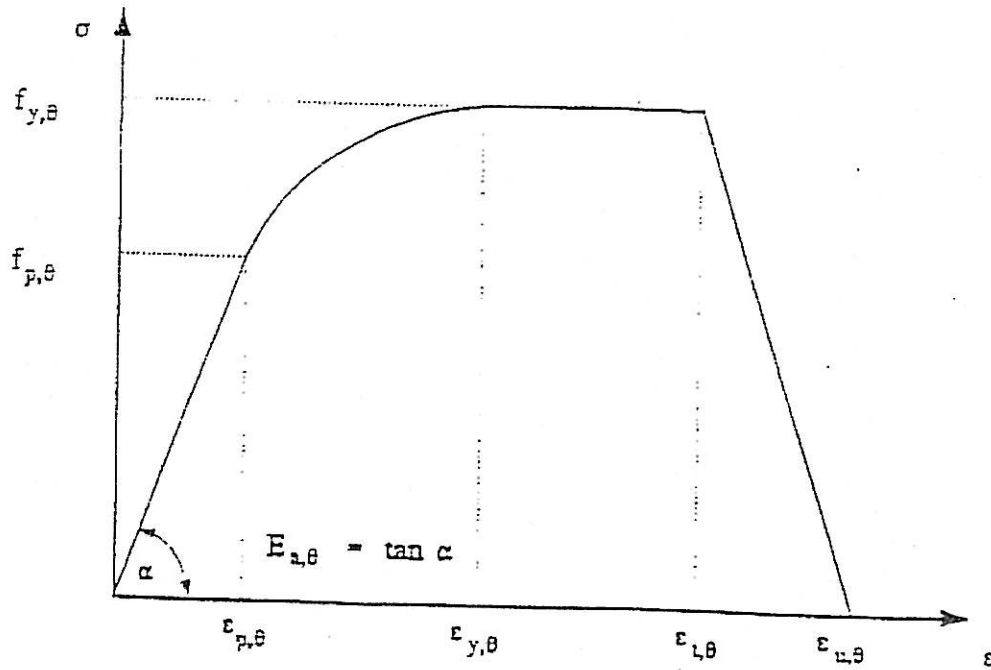
| Θερμοκρασία χάλυβα θ_a | Μειωτικός συντελεστής (Σχετικός με το f_y) για την τάση διαρροής $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$ | Συντελεστής (Σχετικός με το f_y) για την ικανοποίηση παραμορφωσιακών κριτηρίων $k_{x,\theta} = f_{x,\theta}/f_y$ | Μειωτικός συντελεστής (Σχετικός με το f_y) για την τάση αναλογίας $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$ | Μειωτικός συντελεστής (Σχετικός με το E_a) για το μέτρο ελαστικότητας $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$ |
|---|---|---|---|---|
| 20°C | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 100°C | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 200°C | 1,000 | 0,922 | 0,807 | 0,900 |
| 300°C | 1,000 | 0,845 | 0,613 | 0,800 |
| 400°C | 1,000 | 0,770 | 0,420 | 0,700 |
| 500°C | 0,780 | 0,615 | 0,360 | 0,600 |
| 600°C | 0,470 | 0,354 | 0,180 | 0,310 |
| 700°C | 0,230 | 0,167 | 0,075 | 0,130 |
| 800°C | 0,110 | 0,087 | 0,050 | 0,090 |
| 900°C | 0,060 | 0,051 | 0,0375 | 0,0675 |
| 1000°C | 0,040 | 0,034 | 0,0250 | 0,0450 |
| 1100°C | 0,020 | 0,017 | 0,0125 | 0,0225 |
| 1200°C | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Για ενδιάμεσες τιμές της θερμοκρασίας του χάλυβα μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή | Για ενδιάμεσες τιμές της θερμοκρασίας του χάλυβα μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή | Για ενδιάμεσες τιμές της θερμοκρασίας του χάλυβα μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή | Για ενδιάμεσες τιμές της θερμοκρασίας του χάλυβα μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή | Για ενδιάμεσες τιμές της θερμοκρασίας του χάλυβα μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή |

Πίνακας 2: Μειωτικοί συντελεστές για τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες.

| | Τάση | Μέτρο ελαστικότητας |
|---|---|--|
| $\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$ | $\varepsilon E_{a,\theta}$ | $E_{a,\theta}$ |
| $\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$ | $f_{p,\theta} - c + (b/a) \cdot [\alpha^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{1/2}$ | $b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon) / \alpha \cdot [\alpha^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{1/2}$ |
| $\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$ | $f_{y,\theta}$ | 0 |
| $\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$ | $f_{y,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$ | - |
| $\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$ | 0,00 | - |
| Παράμετροι | $\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta}$ $\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$ | $\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$ |
| | $\alpha^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c) / E_{a,\theta}$ | $C = (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2 / (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) \cdot E_{a,\theta} - 2 \cdot (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})$ |



Διάγραμμα 4:



Όπου:

$f_{y,\theta}$: Η τάση διαρροής

$f_{p,\theta}$: Το όριο αναλογίας

$E_{s,\theta}$: Το μέτρο ελαστικότητας

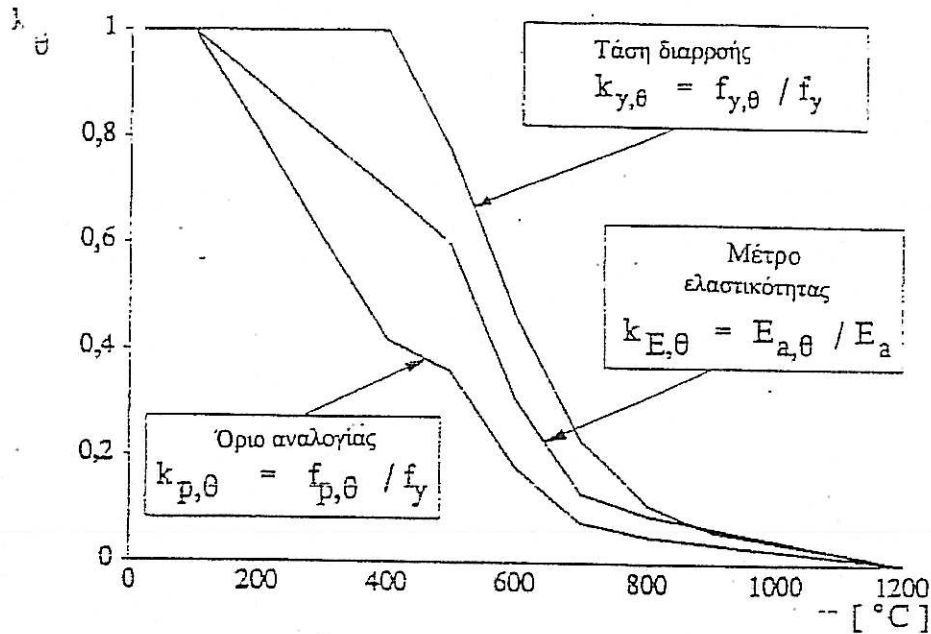
$\epsilon_{p,\theta}$: Η ανηγμένη παραμόρφωση στο όριο αναλογίας

$\epsilon_{y,\theta}$: Η ανηγμένη παραμόρφωση στο όριο διαρροής

$\epsilon_{L,\theta}$: Η οριακή παραμόρφωση διαρροής

$\epsilon_{u,\theta}$: Η απόλυτη παραμόρφωση

Μειωτικός συντελεστής



Διάγραμμα 5: Μειωτικοί συντελεστές για τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες

2.1.2 Θερμικές ιδιότητες

α) Συντελεστής θερμικής διαστολής

- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής προσδιορίζεται ως εξής:

✓ Όταν $20 \leq \theta_a < 750^\circ\text{C}$

$$\Delta l/l = 1,2 * [(1/10^5) * \theta_a] + 0,4 * [(1/10^8) * \theta_a^2] - 2,416 * (1/10^4)$$

✓ Όταν $750^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 860^\circ\text{C}$:

$$\Delta l/l = 1,1 * (1/10^2)$$

✓ Όταν $860^\circ\text{C} < \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$

$$\Delta l/l = 2 * [(1/10^5) * \theta_a] - 6,2 * (1/10^3)$$

Όπου:

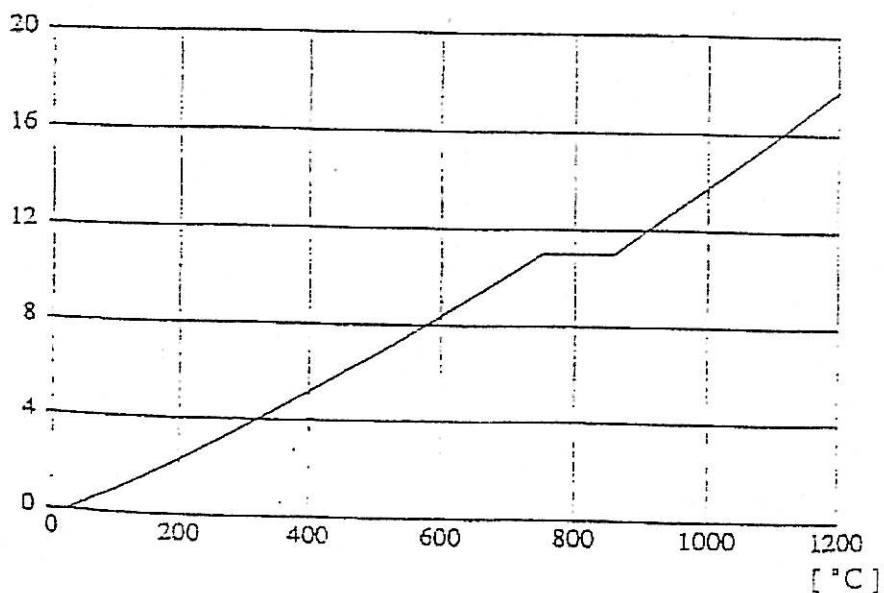
l: Το μήκος στους 20°c

Δl : Η μεταβολή του μήκους λόγω αύξησης της θερμοκρασίας

θ_a : Η θερμοκρασία του χάλυβα (°c)

- Η μεταβολή του συντελεστή θερμικής διαστολής φαίνεται στο διάγραμμα 6.
- Σε απλά υπολογιστικά μοντέλα η σχέση μεταξύ θερμικής διαστολής και χάλυβα μπορεί να θεωρηθεί σταθερή δίνεται δε από τη σχέση:

$$\Delta l/l = 14 \cdot (1/10^6) \cdot (\theta_a - 20) - \Delta l/l \cdot [(1/10^3)]$$



Διάγραμμα 6: Μεταβολή του συντελεστή θερμικής διαστολής.

β) Ειδική θερμότητα

- Η ειδική θερμότητα του χάλυβα c_a προσδιορίζεται ως εξής:

- ✓ Όταν $20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600^\circ\text{C}$:

$$C_a = 425 + 7,73 \cdot [(1/10^4) \cdot \theta_a - 1,69 \cdot \theta_a^2 + 2,22 \cdot [(1/10^6)] \cdot \theta_a^3] \text{ J/kgK}$$

- ✓ Όταν $600^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735^\circ\text{C}$:

$$C_a = 666 + 13002 / (738 - \theta_a) \text{ J/kgK}$$

- ✓ Όταν $735^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900^\circ\text{C}$:

$$C_a = 545 + 17820 / (\theta_a - 731) \text{ J/kgK}$$

- ✓ Όταν $900^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$:

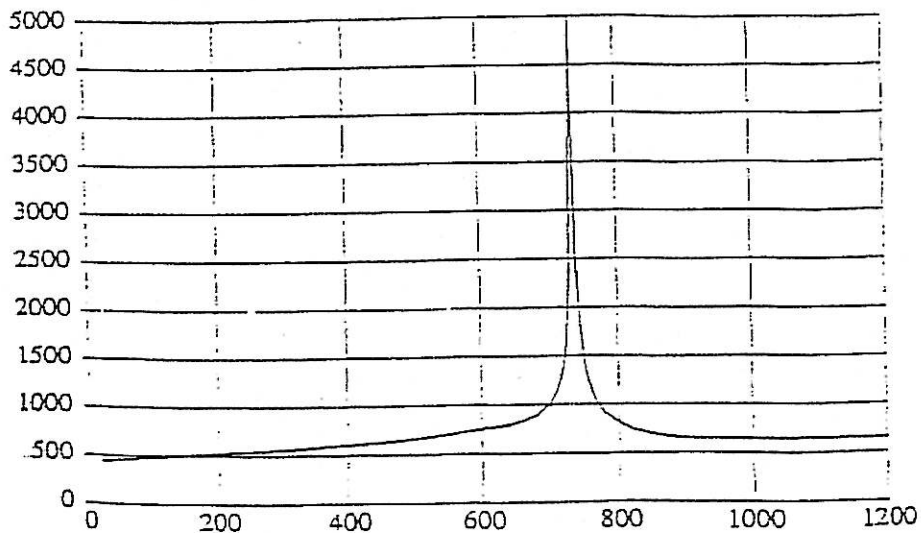
$$C_a = 650 \text{ J/kgK}$$

Όπου θ_a η θερμοκρασία του χάλυβα [$^\circ\text{C}$]

- Η μεταβολή της ειδικής θερμότητας του χάλυβα φαίνεται στο διάγραμμα 7.

Σε απλά υπολογιστικά μοντέλα η ειδική θερμότητα μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του χάλυβα. Στην περίπτωση αυτή η τιμή της είναι:

$$C_a = 600 \text{ J/kgK}$$



Διάγραμμα 7: Μεταβολή της ειδικής θερμότητας με τη θερμοκρασία.

γ) Θερμική αγωγιμότητα

- Η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα λ_a προσδιορίζεται ως εξής:
 - ✓ Όταν $20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 800^\circ\text{C}$:

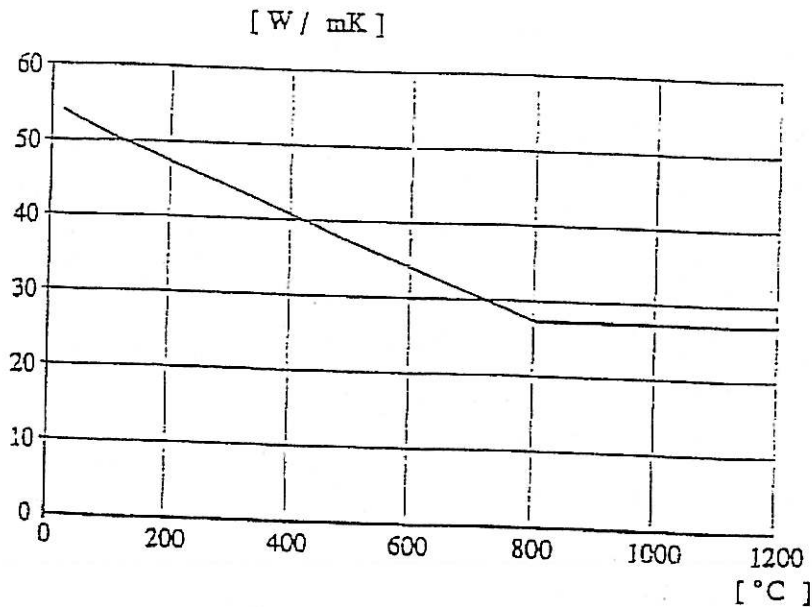
$$\lambda_a = 54 - 3,33 \cdot (1/10^2) \cdot \theta_a \text{ W/mK}$$
 - ✓ Όταν $800^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$:

$$\lambda_a = 27,3 \text{ W/mK}$$

Όπου θ_a η θερμοκρασία του χάλυβα [$^\circ\text{C}$]
- Η μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία φαίνεται στο διάγραμμα 8.

Σε απλά υπολογιστικά μοντέλα η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του χάλυβα. Στην περίπτωση

αυτή η τιμή της δεχόμαστε ότι είναι: $\lambda_a = 45 \text{ W/mK}$.



Διάγραμμα 8: Μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας με τη θερμοκρασία

2.1.3 Φυσικές ιδιότητες του χάλυβα

Ο χάλυβας σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα, ξεκινάει να χάνει την αντοχή του σε θερμοκρασία πάνω από 300 βαθμούς κελσίου και η μείωση της αντοχής έχει προσεγγιστικά μια σταθερή τιμή με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι περίπου τους 800 βαθμούς κελσίου. Η παραμένουσα αντοχή του χάλυβα, αν και μικρή, μειώνεται βαθμιαία μέχρι να φτάσει τη θερμοκρασία τήξης στους 1500 βαθμούς κελσίου περίπου. Συγκριτικά, οι θερμοκρασίες σε ένα συνηθισμένο τεστ αντοχής σε πυρκαγιά δεν ξεπερνούν τους 1200 βαθμούς κελσίου.

Κατά συνθήκη, ο χάλυβας θεωρείται ότι διατηρεί το μισό της αντοχής του μέχρι τους 550 βαθμούς κελσίου, όπου συχνά θεωρείται ότι είναι η θερμοκρασία αστοχίας. Πρακτικά ο κατασκευαστικός χάλυβας επιδεικνύει σε αυτή τη θερμοκρασία μια μεγαλύτερη διατήρηση της αντοχής, αν και το παραπάνω συμπέρασμα ισχύει για ενισχυμένες ράβδους.

Η συμπεριφορά του χάλυβα σε μια πυρκαγιά, σύμφωνα με τον BS5950, επηρεάζεται από την τιμή της θερμοκρασίας, καθώς υπάρχει μια σύνθετη παραμόρφωση από ερπυσμό σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 450 βαθμούς κελσίου. Για αυτό το λόγο οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί στα αποτελέσματα της τιμής της θερμοκρασίας. Αν υποθέσουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας είναι γραμμική και ότι η θερμοκρασία φτάνει στους 600 βαθμούς κελσίου μετά από 30 λεπτά για μη προστατευόμενες ή ελαφρώς απομονωμένες διατομές, τότε πρακτικά η αύξηση της θερμοκρασίας είναι 5 βαθμούς κελσίου/λεπτό, ενώ για καλά απομονωμένες διατομές η ίδια θερμοκρασία προσεγγίζεται μετά από 120 λεπτά, με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 20 βαθμούς κελσίου/λεπτό. Στο γερμανικό κανονισμό αναφέρεται ότι πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι οι συνιστώσες ενός μεταλλικού κτιρίου θερμαίνονται μέχρι μια θερμοκρασία μικρότερη των 500 βαθμών κελσίου. Η τιμή αυτή της οριακής θερμοκρασίας ισχύει για ποιότητες χάλυβα st37 και st52 σύμφωνα με το DIN1050. Συνήθως για να συμβεί αυτό τοποθετούμε ένα προστατευτικό κάλυμμα. Ο σχεδιασμός των καλυμμάτων αυτών βασίζεται στο συντελεστή σχήματος U/A.

2.2 Η συμπεριφορά των σιδηρών δομικών έργων σε υψηλές θερμοκρασίες

Γενικά

Η συμπεριφορά των σιδηρών δομικών έργων σε υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον ιδιαίτερα στη χώρα μας όπου οι σιδηρές κατασκευές στεγάζουν κυρίως βιομηχανικές και αποθηκευτικές εγκαταστάσεις.

Η φωτιά, όπως είναι γνωστό, είναι αποτέλεσμα της καύσης διαφόρων υλικών. Η καύση είναι μια οξειδωτική αντίδραση (απαιτεί οξυγόνο) που ελευθερώνει προς το περιβάλλον ποσότητες ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και ακτινοβολίας. Η ενέργεια που απελευθερώνεται οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα με συνέπεια, σε μια μεταλλική κατασκευή, την αύξηση της θερμοκρασίας του χάλυβα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του χάλυβα οδηγεί με τη σειρά της στη μείωση της αντοχής του. Η αντοχή του χάλυβα μηδενίζεται στους 1200°K ($\approx 927^{\circ}\text{c}$) τα προβλήματα όμως στην κατασκευή εμφανίζονται πολύ νωρίτερα (450°c - 600°c). Εάν λοιπόν η αύξηση της θερμοκρασίας δεν ανασταλλεί, είτε λόγω έγκαιρης επέμβασης των πυροσβεστικών μέσων είτε λόγω εξάντλησης του καιομένου υλικού, η κατασκευή θα καταρρεύσει.

Ο σχεδιασμός μιάς κατασκευής σε φωτιά αποσκοπεί στον προσδιορισμό του χρονικού διαστήματος που παρέρχεται από την έναρξη της πυρκαγιάς μέχρι την κατάρρευση της κατασκευής. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται δείκτης πυραντίστασης (fire resistance).

2.2.1 Συμπεριφορά του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες

Κατά την ανάπτυξη φωτιάς σε μια κατασκευή έχουμε ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών μέσα στο κτίριο, οι οποίες επηρεάζουν τη θερμοκρασία των δομικών υλικών. Η ανάπτυξη της θερμοκρασίας του υλικού σε σχέση με τη θερμοκρασία της θερμοκρασίας των αερίων έχει μια χρονική καθυστέρηση, η οποία εξαρτάται από το δομικό υλικό στο οποίο αναφερόμαστε. Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας του δομικού υλικού κατά τη διάρκεια της φωτιάς επηρεάζει την αντοχή και τις μηχανικές ιδιότητες αυτού αρνητικά. Ο χάλυβας είναι μεν άκαυστο υλικό αλλά δεν έχει καλή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες όταν εκτίθεται σε αυτές για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα η συμπεριφορά του χάλυβα 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
- Μικρή μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας και της ειδικής θερμότητας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν πρέπει να προβλέψουμε στο σχεδιασμό και την πυροπροστασία του υλικού σε περίπτωση φωτιάς. Για τον υπολογισμό της αντίστασης ενός μέλους για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα πρέπει να γνωρίζουμε την εξέλιξη της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου. Η συνάρτηση θερμοκρασίας – Χρόνου εξαρτάται κυρίως από τους εξής παράγοντες:

- Το χώρο στον οποίο αναπτύσσεται η φωτιά
- Την πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου
- Τον αριθμό και το μέγεθος των ανοιγμάτων του χώρου (Πόρτες, παράθυρα)

Γενικά να υπενθυμίσω ότι ως πυροθερμικό φορτίο ορίζουμε το ποσό της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά την καύση των υλικών του χώρου (δομικών και αποθηκευμένων). Ως πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου ορίζουμε το λόγο του ποσού της θερμικής ενέργειας που εκλύεται κατά την καύση των υλικών του χώρου προς το εμβαδόν της επιφάνειας του χώρου. Επίσης η παρουσία μεγάλου αριθμού ανοιγμάτων εξασφαλίζει καλύτερο αερισμό του χώρου και μειώνει την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία.

Η πυροπροστασία αποτελεί ένα βασικό κριτήριο του σχεδιασμού των έργων και αποσκοπεί στα εξής:

- Στον περιορισμό των απωλειών ζωής στο κτίριο που έχει συμβεί η φωτιά και στα γειτονικά αυτού.
- Στον περιορισμό βλαβών στα δομικά στοιχεία και στα περιεχόμενα του κτιρίου και των γειτονικών αυτού

Τα μέτρα τα οποία πρέπει να προβλεφθούν για περίπτωση φωτιάς τα ονομάζουμε πυροπροστασία. Η πυροπροστασία χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

- Ενεργητική πυροπροστασία
- Παθητική πυροπροστασία

Η ενεργητική πυροπροστασία αναφέρεται στα προληπτικά μέτρα που αφορούν την πυρανίχνευση. Τα προληπτικά αυτά μέσα συνδέονται με την κατάλληλη τοποθέτηση επαρκούς αριθμού ανιχνευτών καπνού, θερμότητας ή φλόγων, οι οποίοι όταν ενεργοποιηθούν θέτουν σε λειτουργία ένα σύστημα συναγερμού συνδεδεμένου με την πυροσβεστική υπηρεσία.

Η παθητική πυροπροστασία αναφέρεται στα κατασταλτικά μέτρα που αφορούν την καταπολέμηση της πυρκαγιάς. Τα κατασταλτικά μέτρα συνδέονται με κατάλληλη τοποθέτηση επαρκούς αριθμού καταναιονιστήρων, οι οποίοι ενεργοποιούνται αυτόματα όταν παραστεί ανάγκη.

2.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του χάλυβα

Ο τρόπος, με τον οποίο θα ανταποκριθεί το χαλύβδινο μέρος μιάς κατασκευής σε συνθήκες πυρκαγιάς έχει άμεση σχέση με τα 5 παρακάτω σημεία:

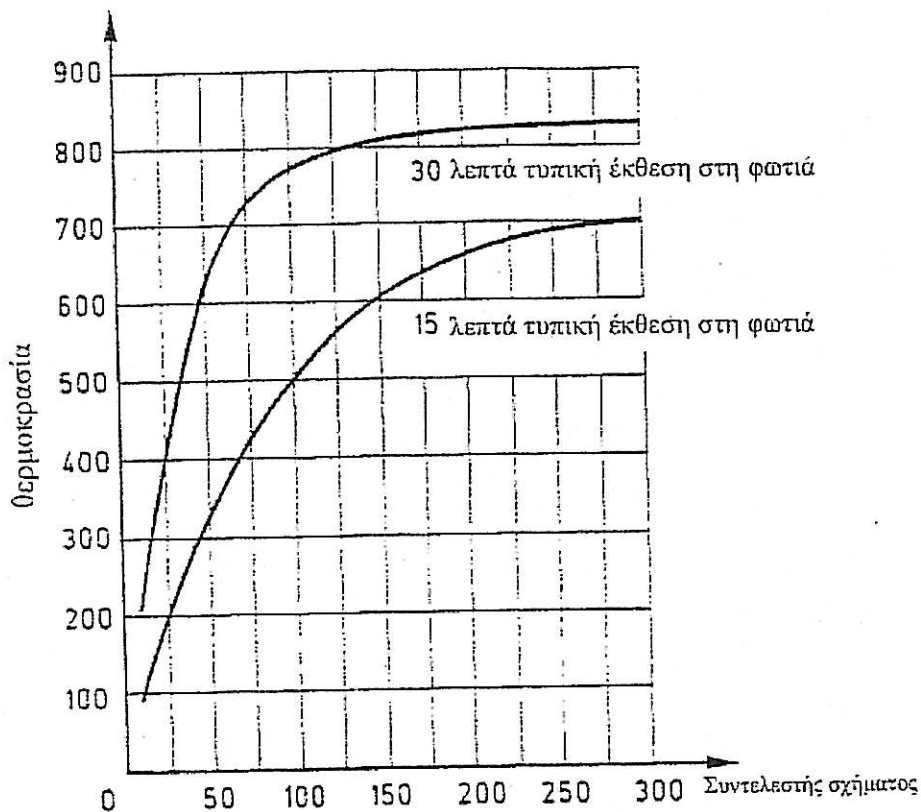
- Την ένταση της πυρκαγιάς, γεγονός που έχει ήδη προαναφερθεί ότι είναι σηνάρτηση της ποσότητας, της θέσης και του είδους των εύφλεκτων υλικών, των συνθηκών εξαερισμού του χώρου και των χαρακτηριστικών θερμομόνωσης του περιβλήματος.
- Τον τύπο της κατασκευής
- Το είδος και τις ιδιότητες των δομικών υλικών που απαρτίζουν την κατασκευή
- Το φορτίο, το οποίο ασκείται στα μεταλλικά στοιχεία της

κατασκευής

- Τις συνθήκες που επικρατούν σε υψηλές θερμοκρασίες.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι η ένταση της πυρκαγιάς ήταν και ακόμη παραμένει μέχρι κάποιο βαθμό, μια δύσκολα υπολογίσιμη παράμετρος, πολλές χώρες έχουν υιοθετήσει τον όρο «Standard fire». Παρόλο που η προσέγγιση αυτή παρέχει μια σύγκριση της συμπεριφοράς του χάλυβα στην πυρκαγιά πολλών διαφορετικών κατασκευών, δεν επιτρέπει τη διεξαγωγή μίας πραγματικής κατασκευαστικής ανάλυσης ασφάλειας στην πυρκαγιά. Η αύξηση της θερμοκρασίας μίας μη προστατευμένης χαλύβδινης κατασκευής, με βάση το «Standard fire», είναι συχνά πολύ γρήγορη και η κατάρρευση μπορεί να συμβεί πολύ σύντομα.

Θεωρώντας μια ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο χάλυβα, ο υπολογισμός του χρόνου που απαιτείται για να επιτευχθεί η οριακή θερμοκρασία είναι απλός. Από διαγράμματα όπως το παρακάτω, που συνδυάζουν θερμοκρασία χάλυβα με συντελεστή σχήματος και χρόνο αντοχής στην πυρκαγιά, είναι δυνατό, γνωρίζοντας την οριακή θερμοκρασία ενός μέλους και τη διατομή του, να προσδιορίσουμε την αντοχή του σε συνθήκες πυρκαγιάς.



Διάγραμμα 9: Θερμοκρασία απροστάτευτου χάλυβα εκτεθειμένου σε τυπική πυρκαγιά, ως συνάρτηση του χρόνου και του συντελεστή σχήματος

Με βάση τα διαγράμματα αυτά, οι περισσότερες απροστάτευτες χαλύβδινες κατασκευές θα έχουν χαμηλή σταθερότητα στην πυρκαγιά. Θα μπορούσε έτσι εύκολα να βγει το συμπέρασμα ότι η ασφάλεια των ανθρώπων δε μπορεί να σιγουρευτεί στην περίπτωση των κτιρίων που δε διαθέτουν πυροπροστασία. Η εσφαλμένη όμως αυτή άποψη στηρίζεται στην ιδέα, ότι μόνο αν μια κατασκευή έχει επαρκή συστήματα μόνωσης και αντοχής στην πυρκαγιά μπορεί να επιτύχει αντίστοιχη ασφάλεια. Τέλος, οι χαμηλές τιμές που προκύπτουν, οι οποίες σχετίζονται με το «Standard fire», δεν αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες

που αναπτύσσονται σε πραγματικές πυρκαγιές, σύμφωνα με την άποψη πολλών ειδικών.

2.2.3 Υπολογισμός στοιχείου εκτεθειμένου σε τυπική πυρκαγιά

Μέχρι πρόσφατα, ο σχεδιασμός φερόντων στοιχείων γινόταν σύμφωνα με διεθνείς απαιτήσεις, οι οποίες συνδέονται άμεσα με το Standard Fire Resistance Test. Η διεξαγωγή των πειραμάτων αυτών γινόταν με βάση καθορισμούς που εισάγονταν σε παγκόσμια κλίμακα, οι οποίοι διαφοροποιούνται πολύ λίγο από χώρα σε χώρα.

Το Standard Fire Resistance Test θεωρείται μία από τις περισσότερο κατανοητές μεθοδολογίες. Παρόλα αυτά, ένας αριθμός χαρακτηριστικών του δεν έχει αποσαφηνιστεί, όπως είναι η εξέλιξη της θερμοκρασίας και των καταπονήσεων, η κατάσταση του περιβάλλοντα χώρου κτλ.

Συνέπεια αυτού αποτελούν οι σημαντικές διαφοροποιήσεις που δίνουν τα πειράματα αυτά, όσον αφορά την αντοχή στην πυρκαγιά, όταν αυτά διεξάγονται σε διαφορετικά εργαστήρια.

Με βάση το Standard Fire Resistance Test οι τύποι που δίνουν τη μεταφορά θερμότητας σε χαλύβδινα μέλη υπολογίζονται ως εξής:

- Για τα μέλη μη προστατευμένα από την πυρκαγιά:

Όταν η προστατευτική επικάλυψη έχει μηδενικό πάχος, τότε ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι:

$K = a = a_c + a_r$, με $a_c = 25$ (Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας σκυροδέματος) και $a_r = [5,67 \text{ ε}/(\theta_i - \theta_s)] \{[(\theta_i + 273)/100]^4 - [(\theta_s + 273)/100]^4\}$ (Συντελεστής ακτινοβολίας)

Η επιρροή της προκύπτουσας εκπομπής από τις φλόγες, των εύφλεκτων αερίων και της επιφάνειας του χάλυβα λαμβάνεται υπόψη μέσω του συντελεστή $\epsilon_r = 0,5$. Έτσι ο τύπος που δίνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε μια χαλύβδινη διατομή είναι:

$\Delta\theta_s = (a/c_s \cdot \rho_s) F/V (\theta_t - \theta_s) \Delta t$, όπου F/V : Ο συντελεστής σχήματος, c_s : Η ειδική θερμότητα χάλυβα ($J/kg^\circ C$) και ρ_s : Η πυκνότητα χάλυβα (Kg/m^3)

- Για μέλη που διαθέτουν πυροπροστασία:

Τότε το K δίνεται από τον τύπο:

$$K = 1 / [(1/a) + (d_i/\lambda_i)], \text{ όπου } a = a_c + a_r$$

Πρακτικά, η τιμή $1/a$ είναι συνήθως πολύ μικρή σε σχέση με το d_i/λ_i , για το λόγο αυτό το K μπορεί, προσεγγιστικά, να ισούται με:

$$K = \lambda_i / d_i$$

Έτσι η μεταβολή της θερμοκρασίας τέτοιων χαλύβδινων διατομών είναι:

$$\Delta\theta_s = [(d_i/\lambda_i) / c_s \cdot \rho_s] F_i/V (\theta_t - \theta_s) \Delta t$$

2.2.4 Εφαρμογή αναλυτικών μεθόδων αντί του Standard Fire

Resistance Test

Στα προβλήματα των τυποποιημένων πειραμάτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο τη λύση δίνουν οι βελτιωμένες τα τελευταία χρόνια αναλυτικές μέθοδοι, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα η αντοχή στην πυρκαγιά να καθοριστεί μέσω υπολογισμών για πολλές πρακτικές εφαρμογές. Για το λόγο αυτό, όλο και περισσότερες χώρες αποδέχονται τις αναλυτικές αυτές μεθόδους, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη το Standard fire test, ως μια εναλλακτική λύση.

Ανεξάρτητα με το αν η αντοχή στην πυρκαγιά καθορίζεται με χρήση αναλυτικών μεθόδων ή με Standard fire tests, θα πρέπει να μην αγνοείται το γεγονός ότι τα τελευταία δεν αντιπροσωπεύουν πραγματική πυρκαγιά σε κτίριο, ούτε και υπολογίζουν τη συμπεριφορά των κατασκευαστικών μελών ως μέρη του συνόλου της κατασκευής. Σκοπός τους είναι να δημιουργήσουν μια κλίμακα κατασκευαστικών στοιχείων και κτιριακών οδηγιών σχεδιασμού και κατόπιν να απαιτούν τα διάφορα στοιχεία να βρίσκονται σε θέση στην κλίμακα ανάλογη με τις αντίστοιχες συνθήκες. Ο καθορισμός των στοιχείων στην κλίμακα βασίζεται στη λειτουργία του κτιρίου, στο ύψος του, τους χώρους του και τη σημασία του.

2.2.5 Μέλη σε ένταση

Οι μειωτικοί συντελεστές της αντοχής του χάλυβα, που αναφέρονται στους EC3 και EC4, βασίζονται σε οριακή ανοιγμένη παραμόρφωση 2%. Στην παραμόρφωση αυτή, λαμβάνουν χώρα σημαντικές επιμηκύνσεις κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, π.χ. 200 mm σε μέλος μήκους 10 m, οδηγώντας έτσι σε πιθανά φαινόμενα δεύτερης τάξης στα υποστυλώματα και πλαίσια που καταπονούνται από μεγάλα φορτία.

Ο BS5950 αναγνωρίζει αυτά τα φαινόμενα σε μικρότερη όμως τιμή ανηγμένης παραμόρφωσης για τα μέλη σε ένταση, ίση με 0,5%. Αυτό οδηγεί σε χαμηλότερες κρίσιμες θερμοκρασίες, εξαιτίας της μικρότερης αντοχής του χάλυβα σε συγκράτηση κάτω από αυτή την παραμόρφωση. Τέλος οι τιμές που δίνει ο Αγγλικός κανονισμός είναι καταλληλότερες, όταν η παραμόρφωση μελών υπό ένταση έχει άμεσο αντίκτυπο στη

σταθερότητα ολόκληρης της κατασκευής, σε συνθήκες πυρκαγιάς.

2.2.6 Μειωτικοί συντελεστές χάλυβα

Οι χαρακτηριστικές τιμές των αντοχών του χάλυβα, είτε πρόκειται για τάση είτε για παραμόρφωση σε συνθήκες πυρκαγιάς, δίνονται σαν γινόμενο των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τιμών σε κανονικές συνθήκες και ενός μειωτικού συντελεστή.

Όσον αφορά τον Ευρωκώδικα, οι τιμές αυτές δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές για τις διάφορες ποιότητες χάλυβα και προκύπτουν ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της παραμόρφωσης. Επιπλέον οι τιμές που αντιστοιχούν σε 2% ανηγμένη παραμόρφωση είναι εκείνες οι οποίες χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό όλων των τύπων των κατασκευαστικών μελών, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα.

Ωστόσο, ο Αγγλικός κανονισμός, κατηγοριοποιεί τους συντελεστές αυτούς με βάση την παραμόρφωση δίνοντας έτσι τρεις περιπτώσεις μειωτικών συντελεστών, κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποιείται σε διαφορετικά κατασκευαστικά μέλη. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται σε ανηγμένη παραμόρφωση 0,5%, εφαρμόζεται σε υποστυλώματα και αντανακλά την επιρροή της αστάθειας των μελών αυτών. Οι τιμές των μειωτικών συντελεστών που αντιστοιχούν σε 1,5% ανηγμένη παραμόρφωση χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις δοκών, στις οποίες το πυροπροστατευτικό υλικό παραμένει ακέραιο κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Τρίτη κατηγορία των συντελεστών αυτών αποτελούν οι τιμές που αναφέρονται σε 2% ανηγμένη παραμόρφωση. Οι τιμές αυτές εφαρμόζονται ως επί το πλείστον σε σύμμικτες δοκούς και συμπίπτουν σχεδόν εξ' ολοκλήρου με τις αντίστοιχες τιμές του Ευρωκώδικα. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαφορά στην αντοχή συγκράτησης του

χάλυβα για 1,5% και 2% ανηγμένη παραμόρφωση είναι μικρή και για αυτό οι τιμές σχεδιασμού στον Αγγλικό κανονισμό και στον Ευρωκώδικα διαφέρουν πολύ λίγο.

2.3 Μέθοδοι και μέσα παθητικής πυροπροστασίας

2.3.1 Γενικά-χρήσιμες έννοιες

Σαν πυροπροστασία ορίζεται το σύνολο των μέτρων που έχουν ληφθεί με σκοπό να περιορισθούν τα αποτελέσματα μιάς πυρκαγιάς αφού αυτή εκδηλωθεί (έτσι η πρόληψη πυρκαγιάς δεν είναι στα πλαίσια της πυροπροστασίας). Γίνεται διάκριση ανάμεσα σε ενεργό πυροπροστασία, που περιλαμβάνει τα μέσα και τις μεθόδους ανίχνευσης, ειδοποίησης, διάσωσης και κατάσβεσης και την παθητική πυροπροστασία που αφορά το σύνολο των μέτρων που πρέπει να παραχθούν κατά την Παρασκευή του κτιρίου, έτσι που να ελαχιστοποιηθούν τα αποτελέσματά της πυρκαγιάς για τους ενοίκους, το περιεχόμενο και το ίδιο το κτίριο. Για αυτό και η παθητική πυροπροστασία χαρακτηρίζεται και ως δομική πυροπροστασία. Η παθητική πυροπροστασία έχει στόχους:

- Τον περιορισμό της διάδοσης της πυρκαγιάς μέσα στο κτίριο και στα γειτονικά του.
- Την εξασφάλιση οδού διαφυγής των ενοίκων.
- Την δυνατότητα προσέγγισης και όσο είναι δυνατόν ακίνδυνου δράσης των πυροσβεστών.

Για να πραγματοποιηθούν αυτοί οι στόχοι είναι απαραίτητο:

- Να διαχωρίζεται το κτίριο σε τμήματα που να καθυστερεί η μετάδοση της φωτιάς από το ένα στο άλλο ώσπου να εξαντληθούν τα καυστά υλικά στο διαμέρισμα ανάφλεξης (κατά την επιδίωξη αυτή παραλείπεται η ευνοϊκή επέμβαση πυροσβεστικών μέσων, εκτός από την περίπτωση αυτόματης κατάσβεσης, όπως θα εκτεθεί). Ο διαχωρισμός αυτός με επαρκώς πυράντοχα διαχωριστικά δομικά υλικά, τοίχους, πατώματα, πόρτες, χαρακτηρίζεται σαν διαμερισματοποίηση (Compartmentation) και είναι από τα σημαντικότερα μέτρα πυροπροστασίας, γιατί εξυπηρετεί και τους τρεις στόχους που αναφέρθηκαν.
- Να προβλέπεται κατά τη σχεδίαση των κτιρίων η εξασφάλιση οδών διαφυγής των ενοίκων προς το ύπαιθρο ή προς άλλα διαμερίσματα εξασφαλισμένα από την πυρκαγιά. Το τελευταίο αυτό γίνεται κατ' ανάγκη στα πολύ μεγάλα πολυόροφα κτίρια που η έγκαιρη εκκένωσή τους είναι πρακτικά αδύνατη.
- Παράλληλα προς τη μελέτη των οδών διαφυγής πρέπει να γίνεται και πρόβλεψη της διαδρομής καπνού και αερίων, έτσι που οι οδοί διαφυγής να διατηρούνται ελεύθερες.

Φυσικά οι ελεύθερες αυτές οδοί διαφυγής χρησιμεύουν και για την πρόσβαση των πυροσβεστών. Από αυτά προέκυψε η ανάγκη μελέτης (που τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια έκανε μεγάλες προόδους) των εξής θεμάτων:

- Πρόβλεψη της διάρκειας και της έντασης της πυρκαγιάς καθώς και των αναμενόμενων μέγιστων θερμοκρασιών των δομικών στοιχείων
- Εξακρίβωση της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων κάτω από συνθήκες πυρκαγιάς στο κτίριο, σε συνάρτηση προς τη γεωγραφική μορφή του και το περιεχόμενο.
- Πρόβλεψη της διαδρομής των καπνών και αερίων και ανάπτυξη μεθόδων για ρύθμιση της κίνησής τους.

2.3.2 Τρόποι παθητικής πυροπροστασίας χαλύβδινων μελών

2.3.2.1 Εισαγωγή

Έχοντας αναφέρει τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι πρέπει να βρούμε τρόπους προστασίας των χαλύβδινων μελών σε περίπτωση ανάπτυξης πυρκαγιάς. Η παθητική πυροπροστασία των χαλύβδινων μελών εξασφαλίζεται με επαρκή θερμική μόνωση από στρώσεις υλικών, τα οποία έχουν μεγάλη αντοχή στην πυρκαγιά για απαιτούμενο χρονικό διάστημα. Οι κυριότεροι τρόποι παθητικής πυροπροστασίας των χαλύβδινων μελών είναι οι εξής:

- Προστασία με πυροπροστατευτικά χρώματα
- Προστασία με πλάκες μονωτικών υλικών
- Προστασία με εκτοξευόμενα υλικά
- Μέθοδοι πυροπροστασίας οι οποίες δεν έχουν συχνή εφαρμογή.

2.3.2.2 Πυροπροστατευτικά χρώματα

Τα πυροπροστατευτικά χρώματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο δράσης, τις εξής:

- Χρώματα επιβραδυντικά φλόγας
- Χρώματα επιβραδυντικά φωτιάς με διόγκωση

Η κυριότερη εφαρμογή τους είναι σε αναφλέξιμα υλικά, για την επιβράδυνση μετάδοσης της φωτιάς. Μπορούν όμως να εφαρμοσθούν και για πυροπροστασία φερόντων στοιχείων σε χώρους, όπου δεν είναι πιθανή η συγκέντρωση μεγάλου θερμικού φορτίου.

Εφαρμόζονται με πιστολέτο σε στρώσεις πάχους 0,5 έως 3 χιλιοστών. Η χαρακτηριστική τους ιδιότητα είναι ότι αφρίζουν όταν θερμανθούν στους 100 έως 150 βαθμούς, οπότε ξηραίνεται ο αφρός σχηματίζοντας ένα μονωτικό στρώμα 5 έως 15 χιλιοστών πάχους. Μερικοί τύποι χρωμάτων εφαρμόζονται σε μια στρώση, είτε πάνω σε αντισκωριακή στρώση ή κατευθείαν στο μέταλλο που έχει καθορισθεί με αμμοβολή. Άλλοι τύποι εφαρμόζονται σε περισσότερες στρώσεις, η κάθε μία αφού στεγνώσει η προηγούμενη. Πολλοί τύποι έχουν μια τελική στρώση.

2.3.3 Συστήματα προστασίας με πλάκες μονωτικών υλικών

2.3.3.1 Εισαγωγή

Οι πλάκες που χρησιμοποιούνται είναι προϊόν παρασκευής με σύνθεση υλικών όπως ορυκτές ίνες, γύψος, βερμικουλίτης, τσιμέντο, ασβέστιο, ορυκτοβάμβακας, περλίτης κ.α. Οι πλάκες παρέχουν δείκτη πυροπροστασίας μέχρι και τέσσερις ώρες. Η επένδυση των μεταλλικών επιφανειών με πλάκες γίνεται χωρίς ιδιαίτερη προετοιμασία εκτός από τη βαφή των επιφανειών με αντισκωρικό. Οι πλάκες έχουν μεγάλη αντοχή σε κρούση και επίσης δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της τελικής μορφής που θέλουμε να έχουμε. Τοποθετούνται επί τόπου στο εργοτάξιο και οι σύνδεση αυτών γίνεται με ειδικές κόλλες, συνδετήρες, βίδες ή καρφιά. Στην αγορά κυκλοφορούν σε διάφορες διαστάσεις και με διάφορα χαρακτηριστικά (Λόγος H_r/A και δείκτης πυραντίστασης συναρτήσει του πάχους), τα οποία παρέχονται σε πίνακες από τον κάθε προμηθευτή. Τα πιο συνήθη είδη που χρησιμοποιούνται αναφέρονται αναλυτικά στη συνέχεια.

2.3.3.2 Πίνακες λιθοβάμβακα

Αποτελούνται από συμπιεσμένες ίνες με λίγη συνδετική ύλη, συνήθως υδρύαλο και σε μερικές μπορεί να περιέχονται και κόκκοι περλίτη. Το ειδικό βάρος τους κυμαίνεται πάνω από 150 Kg/m^3 . Στην κατασκευή στερεώνονται με πυράντοχη κόλλα ή μηχανικά μέσα σύνδεσης. Στις σιδηροκατασκευές συγκολλούνται πάνω στο χάλυβα κομμάτια σύρμα με αυτογενή συγκόλληση και οι πλάκες συγκρατούνται με κατάλληλες ροδέλες. Το πάχος τους εξαρτάται από την επιθυμητή πυροπροστασία και κυμαίνονται από 30 – 70 mm

2.3.3.3 Πλάκες βερμικουλίτη ή περλίτη

Η σύστασή τους είναι διογκωμένος περλίτης ή λιθοβάμβακας με συνδετικό μέσο από συνδυασμό υδραλίου, τσιμέντου ή ασβεστοπυριτικής σύνθεσης υλικού. Η τελική μορφή τους παρουσιάζει πορώδη ηχοαπορροφητική επιφάνεια. Το ειδικό βάρος τους κυμαίνεται από 150 – 500 Kgr/m³. Το πάχος τους κυμαίνεται από 10 – 30 mm και συνδέονται με πυράντοχη κόλλα ή με μηχανικά μέσα. Είναι άκαμπτες, ανεπηρέαστες από την υγρασία και λόγω των ηχοαπορροφητικών ικανοτήτων χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε αναρτημένες οροφές.

2.3.3.4 Πίνακες γυψοκονίας

Η σύνθεση αυτών των πλακών αποτελείται από το κονίαμα της γύψου με προσθήκη αφρώδους γυψοκονιάματος ή διογκωμένου περλίτη. Το ειδικό τους βάρος είναι 800 Kgr/m³. Ο τρόπος στερέωσής τους είναι ποντάρισμα ελαφρών ράβδων, ψυχρής εξελάσεως, πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες, πάνω στις οποίες στερεώνονται οι γυψοσανίδες με λαμαρινόβιδες.

2.3.4 Συστήματα προστασίας με εκτοξευόμενα υλικά

2.3.4.1 Εκτοξευόμενες ανόργανες ύλες

Παλαιότερα χρησιμοποιούσαμε τον αμιάντο. Ο κίνδυνος αμιάντωσης οδήγησε σε απαγόρευση αυτού του υλικού. Σήμερα λοιπόν χρησιμοποιούμε μίγμα ινών λιθοβάμβακα με συνδετική ύλη τσιμέντο ή

γύψο. Το υλικό αυτό ψεκάζεται με ειδικό εκτοξευτήρα, ο οποίος κατά την έξοδο διαβρέχει με ψεκαζόμενο νερό την μεταλλική επιφάνεια. Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου η μεταλλική επιφάνεια πρέπει να μην

περιέχει λάδια ή λίποι και να υπάρχει ελαφρό στρώμα όχι χαλαρής σκουργιάς. Το πάχος του υλικού κυμαίνεται από 10 – 30 mm. Το ειδικό βάρος της στρώσης κυμαίνεται από 250 - 370 Kgr/m³. Η μόνωση είναι μαλακή οπότε μπορεί να υπάρχει κίνδυνος σε περίπτωση μηχανικής καταπόνησης. Η βελτίωση της αντοχής υλοποιείται με επικόλληση υαλοϋφάσματος.

2.3.4.2 Πυροπροστατευτικά επιχρίσματα

Στην σύνδεσή τους έχουν σαν αδρανές υλικό βερμικουλίτη ή περλίτη. Εφαρμόζονται σε μεταλλικό φορέα (Εκτεταμένο πλέγμα) το οποίο στερεώνεται με μηχανικά μέσα ή συγκοιείται ή προσδένεται περιβάλλοντας (Κυρίως σε ελεύθερα στοιχεία). Σαν συνδετικό υλικό χρησιμοποιούμε το τσιμέντο όπου μπορούμε να προσθέσουμε 10% πολτό ασβέστη ή γύψο.

2.3.5 Άλλα συστήματα προστασίας (Χωρίς συχνή εφαρμογή)

2.3.5.1 Προκατασκευασμένα γύψινα στοιχεία

Πρόχυτα κομμάτια διαφόρων διατομών των οποίων η σύσταση είναι μίγμα γύψου, περλίτη και ινών υάλου. Χρησιμοποιούνται για τον εγκιβωτισμό φερόντων μεταλλικών μελών, κυρίως στύλων.

Κατασκευάζονται με μήκος όσο το ύψος του ορόφου και το πάχος τους κυμαίνεται από 20 - 40 mm. Σε κολώνες όπου είναι ελεύθερες και οι τέσσερις πλευρές τους τοποθετούνται σε σχήμα Π το οποίο κλείνει

με στερέωση επίπεδης πλάκας που στερεώνεται με γυψοκονία.

2.3.5.2 Προκατασκευασμένα συστήματα

Κατασκευάζονται από ειδικές μεταλλικές θήκες οι οποίες είναι ενισχυμένες εσωτερικά ή από υλικά αντιπυρικής προστασίας ή από πλαστικοποιημένο βερμικουλίτη. Αυτά τα συστήματα τοποθετούνται πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες χρησιμοποιώντας τσιμέντο με ειδικά έκδοχα από αντιπυρικά υλικά με βίδες, σιδερένια καρφιά ή λωρίδες.

2.3.5.3 Εγκιβωτισμός με σκυρόδεμα

Μέχρι τα τέλη του '70 το σκυρόδεμα ήταν το πιο διαδεδομένο μέσο προστασίας από τη φωτιά για σιδηρές κατασκευές. Τα τελευταία χρόνια με την παρουσία καινούργιων ελαφρότερων συστημάτων έχει μειωθεί σημαντικά η χρήση του.

2.3.5.4 Πλήρωση κοίλων διατομών με σκυρόδεμα

Τετραγωνικές ή ορθογωνικές, κοίλες διατομές εάν πληρωθούν με σκυρόδεμα αποκτούν δείκτη πυροπροστασίας μέχρι και δύο ώρες. Όταν η σύνθετη διατομή εκτεθεί σε πυρκαγιά, η θερμοκρασία διαρρέει διαμέσου του χάλυβα στον πυρήνα του σκυροδέματος, το οποίο σαν κακός αγωγός, θερμαίνεται αργά. Καθώς έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας του χάλυβα, η αντοχή μειώνεται σταθερά και το φορτίο προοδευτικά μεταφέρεται στο σκυρόδεμα. Τότε ο χάλυβας λειτουργεί συγκρατώντας το σκυρόδεμα. Για την πλήρωση των κοίλων διατομών υπάρχουν τρεις τρόποι:

- Με άοπλο σκυρόδεμα
- Με οπλισμένο σκυρόδεμα
- Οπλισμένο με ίνες

Η αντοχή αυτής της σύνθετης διατομής σε φωτιά εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Από την αντοχή του σκυροδέματος
- Από την αναλογία του αξονικού φορτίου και της ροπής
- Από την προσθήκη ινών ή οπλισμού

Εάν θέλουμε να έχουμε μεγαλύτερο χρόνο πυραντίστασης τότε οι μεταλλικές επιφάνειες προστατεύονται και εξωτερικά.

2.3.5.5 Προκατασκευασμένα στοιχεία πλήρωσης υποστυλωμάτων

Αρθρωτές διατομές οι οποίες είναι μη προστατευμένες μπορούν να έχουν δείκτη πυραντίστασης μέχρι 30 sec αν εφαρμόσουμε στα πέλματα της διατομής προκατασκευασμένα αεριζόμενα στοιχεία σκυροδέματος δεμένα στη νεύρωση ανά διαστήματα 1 m. Η αντοχή των χαλύβδινων αυτών μελών επηρεάζεται από τη φωτιά από τους εξής παράγοντες:

- Η μείωση της εκτεθειμένης επιφάνειας μειώνει το ρυθμό ανάπτυξης της θερμοκρασίας μέσω ακτινοβολίας και με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται ο χρόνος πυραντίστασης.
- Η έκθεση στη φωτιά προκαλεί ταυτόχρονα θερμές και ψυχρές περιοχές. Καθώς η θερμή περιοχή παθαίνει πλαστική διαρροή, το φορτίο μεταφέρεται στην ψυχρή περιοχή. Γι αυτό το λόγο μία μη ομοιόμορφα θερμαινόμενη περιοχή έχει μεγαλύτερη αντοχή σε

σχέση με μία που είναι ομοιόμορφα θερμαινόμενη.

Αν θέλουμε να έχουμε μεγαλύτερο δείκτη πυραντίστασης τότε πρέπει να προστατεύσουμε το χάλυβα και εξωτερικά. Όταν τα προκατασκευασμένα στοιχεία σχηματίζουν διαχωριστικό τότε υπάρχει κίνδυνος το υποστύλωμα να θερμανθεί από τη μία πλευρά μόνο και αυτό μπορεί να έχει ως συνέπεια το σπάσιμο του τοίχου. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα πέλαμα πρέπει να προστατεύονται.

2.3.5.6 Εύκαμπτα υλικά επένδυσης

Η χρήση εύκαμπτων επενδυτικών υλικών οφείλεται στην ανάγκη για μία φθηνή λύση έναντι της προστασίας που έχουμε με εκτοξευόμενα υλικά και χωρίς να έχουμε δυσμενή επιρροή στο χρονοδιάγραμμα της κατασκευής.

2.3.5.7 Πλήρωση υποστυλωμάτων με νερό

Κοίλες διατομές πληρώνονται με νερό και έτσι έχουμε μεγαλύτερη αντοχή σε πυρκαγιά. Τα υποστυλώματα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους για να επιτρέπουν στη φέρουσα σιδηρά κατασκευή να ψύχεται μέσω θερμότητας. Για να συμβαίνει αυτό θα πρέπει να έχουμε ενσωματωμένη μια δεξαμενή νερού, η οποία να αναπληρώνει την ποσότητα νερού που εξατμίζεται λόγω βρασμού. Επίσης το νερό πρέπει να περιέχει ανασταλτικά για την αποφυγή του σε πάγο και την προστασία του χάλυβα από τη διάβρωση. Για λόγους συντήρησης της κατασκευής πρέπει η πυκνότητα των ανασταλτικών να ελέγχεται πολύ. Η μέθοδος αυτή είναι μεγάλης ακρίβειας αλλά εφαρμόζεται όταν έχουμε

απαίτηση μεγάλων χρόνων πυραντίστασης και καμία άλλη μέθοδος
πυραντίστασης δεν μπορεί να εφαρμοστεί.

Κεφάλαιο 3

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

- Ιδιότητες και χαρακτηριστικά σκυροδέματος
- Συμπεριφορά του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες
- Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς- Βασικές μέθοδοι αντίστασης

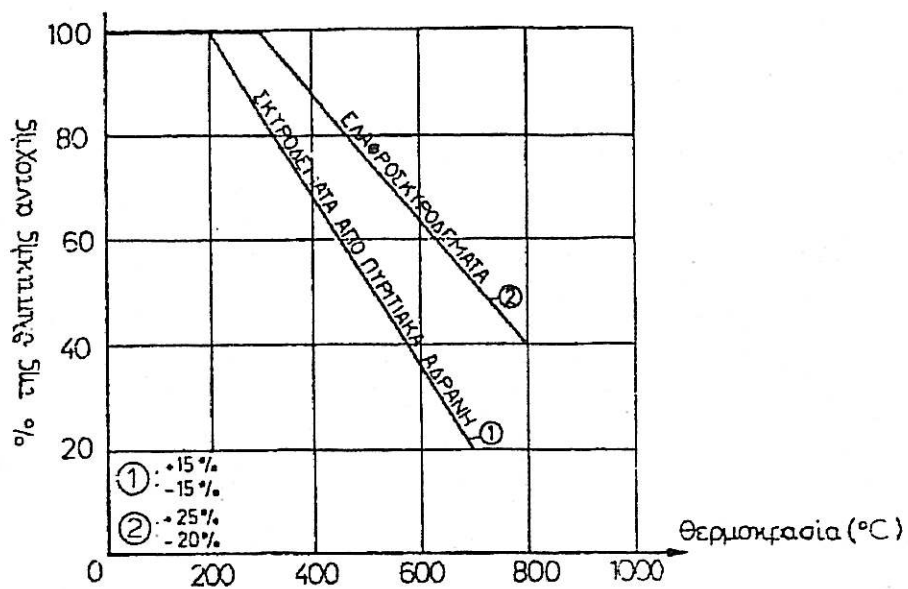
Στο σκυροδέμα αυτό το φαινόμενο είναι αμελητέο, αλλά στον χάλυβα που είναι σημαντικό, δίνονται καμπύλες «Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς» και «Μετά την απόψυξη», εφόσον βέβαια υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Εάν δεν αναφέρεται κάποιος από τους δύο παραπάνω όρους, οι καμπύλες εννοείται ότι ισχύουν «Κατά την διάρκεια» της πυρκαγιάς.

Για κάθε παράμετρο που θα εξετασθεί, θα δίνεται σε ένα διάγραμμα μια καμπύλη μεταβολής της εξεταζόμενης ιδιότητας, η οποία για το στάδιο του σχεδιασμού μπορεί να θεωρείται σαν η καμπύλη χαρακτηριστικών τιμών. Θα αναφέρονται πάντως και τα όρια της διασποράς κάθε καμπύλης στο κάτω αριστερό μέρος των διαγραμμάτων, εφ' όσον βέβαια δίνονται στη βιβλιογραφία.

3.1.2 Θλιπτική αντοχή

Παρόλο ότι η μεταβολή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με τη θερμοκρασία εξαρτάται από τον λόγο τσιμέντο/αδρανή, τον λόγο νερό/τσιμέντο, τον τρόπο φορτίσεως, το είδος των αδρανών, τον τύπο του τσιμέντου και άλλους δευτερεύοντες παράγοντες, θα παρουσιαστούν μόνο δύο καμπύλες. Αυτές προτείνονται από το CEB ως πρακτικές καμπύλες για τους υπολογισμούς.

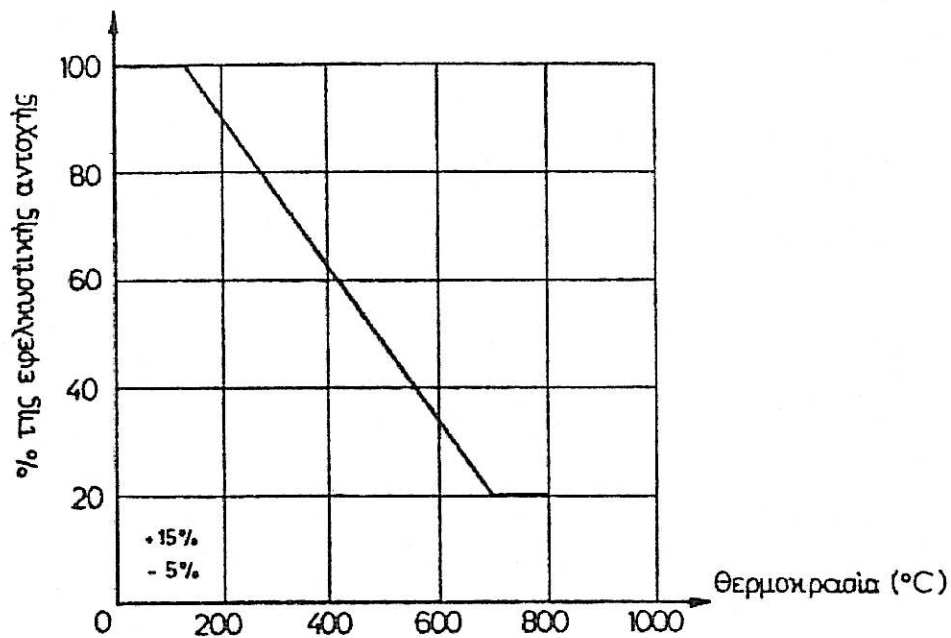
Η πρώτη καμπύλη ισχύει για σκυροδέματα από πυριτιακά αδρανή και η δεύτερη για ελαφροσκυροδέματα. Η συμπεριφορά των σκυροδεμάτων από ασβεστολιθικά αδρανή βρίσκεται κάπου μεταξύ των δύο καμπυλών του διαγράμματος 10.



Διάγραμμα 10

3.1.3 Εφελκυστική αντοχή

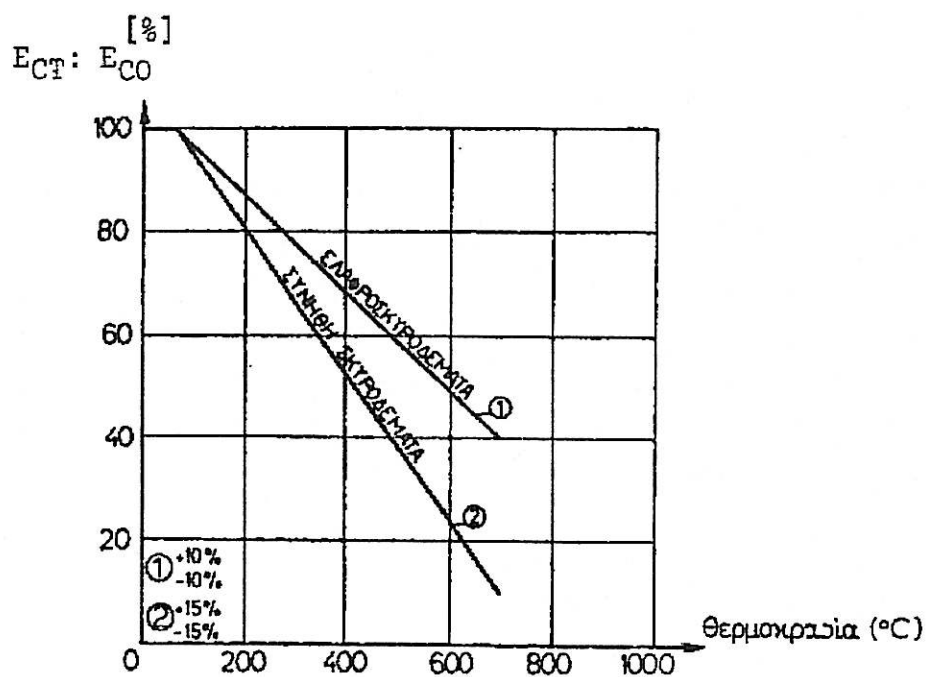
Ενώ για την θλιπτική αντοχή έχουν γίνει πολλά πειράματα, για την εφελκυστική αντοχή τα αποτελέσματα είναι λιγότερα. Δίνεται και εδώ μία καμπύλη που προτείνει το CEB για τον πρακτικό σχεδιασμό. Έχει βασιστεί σε πειράματα Σουηδών ερευνητών και ισχύει για σκυροδέματα από πυριτικά αδρανή. Η ίδια καμπύλη προτείνεται και για σκυροδέματα από ασβεστολιθικά αδρανή. Βλέπε το διάγραμμα 11.



Διάγραμμα 11

3.1.4 Μέτρο ελαστικότητας

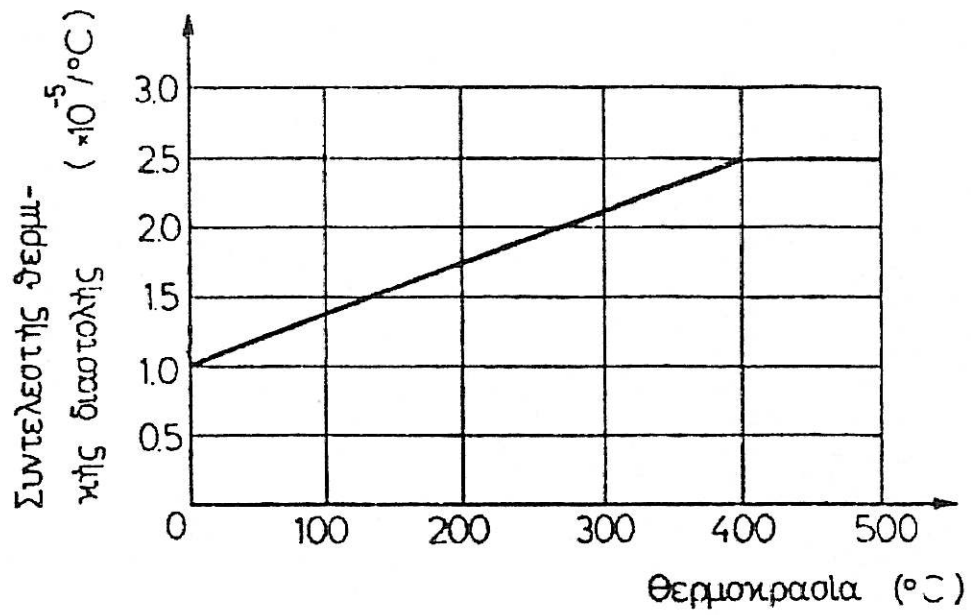
Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος παρουσιάζει συναρτήσε της θερμοκρασίας, μεταβολές ανάλογες με την θλιπτική αντοχή. Δίνονται και εδώ δύο καμπύλες που προτείνει το CEB για τον πρακτικό σχεδιασμό. Η μία αναφέρεται σε συνήθη σκυροδέματα και η άλλη σε ελαφροσκυροδέματα. Βλέπε το διάγραμμα 12. Η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας εξαρτάται φυσικά από τους ίδιους παράγοντες απ' τους οποίους εξαρτάται και η θλιπτική αντοχή.



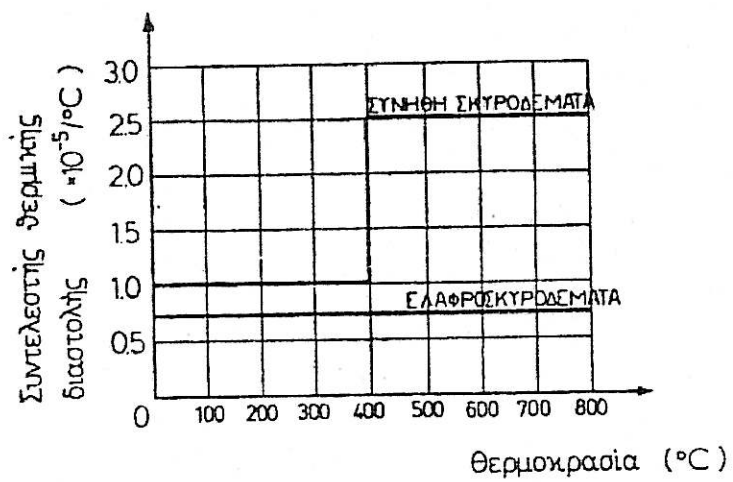
Διάγραμμα 12

3.1.5 Συντελεστής θερμικής διαστολής

Δεν έχει γίνει ακόμη δεκτή καμία καμπύλη από το CEB για τον πρακτικό σχεδιασμό. Προτείνεται ως περισσότερο αξιόπιστη μέχρι στιγμής, μια καμπύλη που προτείνει ο Βέλγος ερευνητής Dotreppe. Ακόμα παραθέτονται και δύο καμπύλες που εξάγονται από το διάγραμμα θερμικών παραμορφώσεων που προτείνει το CEB. Η μία ισχύει για συνήθη σκυροδέματα και η άλλη για ελαφροσκυροδέματα. Βλέπε τα διαγράμματα 13 και 14 αντίστοιχα.



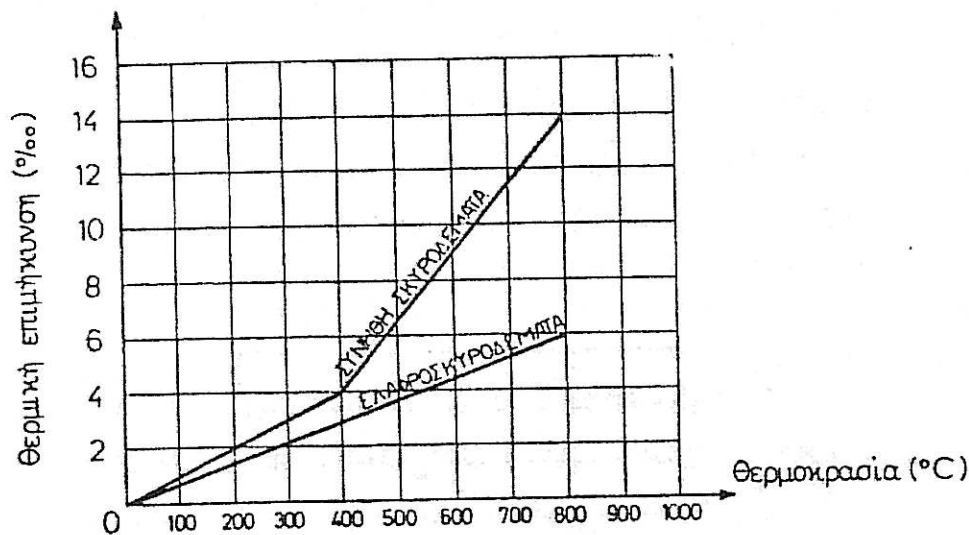
Διάγραμμα 13



Διάγραμμα 14

3.1.6 Θερμικές παραμορφώσεις

Για τις θερμικές παραμορφώσεις του σκυροδέματος λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, το CEB προτείνει δύο καμπύλες για τον πρακτικό σχεδιασμό. Η μία ισχύει για συνήθη σκυροδέματα και η άλλη για ελαφροσκυροδέματα. Βλέπε το διάγραμμα 15.



Διάγραμμα 15

3.2 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

3.2.1 Γενικότητες

Κατασκευές από Ω.Σ. που έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό πρότυπο κανονισμό του (βλέπε προσχέδιο νέου ελληνικού κανονισμού Ω.Σ./Ε.Μ.Π. 1978), έχουν ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς περίπου μία ώρα. Πόλυ συχνά όμως μπορεί να επιτευχθεί σημαντική βελτίωση όσον αφορά την ανθεκτικότητα, εάν δοθεί κάποια ιδιαίτερη προσοχή σε ορισμένες κατασκευαστικές λεπτομέρειες, οι οποίες μάλιστα

έχουν ελάχιστο κόστος.

Σ' αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τέτοιου είδους οδηγίες για τον πρακτικό σχεδιασμό. Δίνεται κυρίως προσοχή στα εξής θέματα:

- Σχήμα διατομών από Ω.Σ. και θέση του οπλισμού μέσα σε αυτές.
- Λεπτομέρειες οπλίσεως δηλαδή αγκυρώσεις και κόμβοι.
- Αγκυρώσεις προεντεταμένων τενόντων.
- Πλαστιμότητα
- Αντοχή σε διάτμηση
- Κόμβοι μεταξύ στοιχείων από Ω.Σ.

3.2.2 Γενικές συστάσεις σχετικά με τον οπλισμό

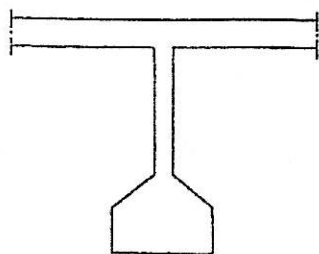
- Γενικά, η αντοχή σε συνάφεια μεταξύ νευροχαλύβων ή πλεγμάτων και σκυροδέματος μειώνεται με βραδύτερο ρυθμό απ' όσο η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα, υπό την προϋπόθεση ότι δεν παρατηρούνται φαινόμενα αποφλοιώσης.
- Εάν η θερμοκρασία των ράβδων του οπλισμού παραμένει χαμηλότερη από 200 βαθμούς κελσίου ή όταν ο απαιτούμενος χρόνος εκθέσεως είναι μικρότερος των 30 λεπτών, τότε οι κατασκευαστικές οδηγίες που δίνονται στο κεφάλαιο 17 του προσχεδίου του νέου ελληνικού κανονισμού (N.E.K) επαρκούν για τον σχεδιασμό έναντι πυρκαγιάς.
- Εάν η θερμοκρασία των ράβδων του οπλισμού είναι μεγαλύτερη από 200 βαθμούς κελσίου, πρέπει να αποφεύγεται η αγκύρωσή τους σε περιοχές υψηλών ροπών. Εάν αυτό δεν είναι δυνατόν, οι τιμές για τα μήκη αγκυρώσεως που δίνονται από τους 17.4, 17.5, 17.7 και 17.9 του προσχεδίου του N.E.K, πρέπει να πολλαπλασιάζονται επί 1,4.

- Το επιτρεπόμενο ποσοστό ματισμάτων σιδηροπλισμού σε οποιαδήποτε διατομή μεταξύ στηρίξεων είναι 25%.
- Ο σπλισμός για την παραλαβή αρνητικών ροπών στις στηρίξεις συνεχών στοιχείων από Ω.Σ. πρέπει να έχει επιμήκυνση θραύσεως μεγαλύτερη από 30%.
- Η αντοχή σε συνάφεια μεταξύ λείων χαλύβων και σκυροδέματος μειώνεται πολύ ταχύτερα με την αύξηση της θερμοκρασίας, απ' όσο η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα. Εάν πάντως οι ράβδοι του σπλισμού έχουν άγκιστρα στα άκρα τους, το φαινόμενο αυτό δεν έχει ιδιαίτερη σημασία.
- Όταν χρησιμοποιείται προένταση, η αξονική απόσταση «α» πρέπει να αυξάνεται κατά 10mm.

3.2.3 Δοκοί

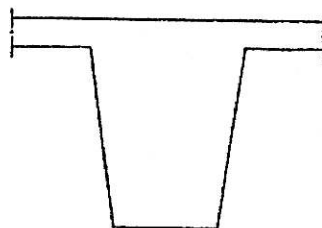
3.2.3.1 Σχήμα και διαστάσεις διατομών δοκών

Αφού η θερμοκρασία αυξάνεται ταχύτερα στο εσωτερικό λεπτών και μικρών διατομών από Ω.Σ. τα λεπτότερα στοιχεία από Ω.Σ. είναι λιγότερο ανθεκτικά έναντι πυρκαγιάς από τα παχύτερα. Βλέπε το σχήμα 2.



διατομή δοκού περισσότερο
τρωτή σε πυρκαγιά

Σχήμα 2

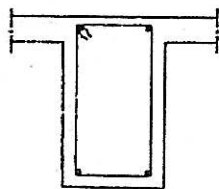


διατομή δοκού λιγότερο
τρωτή σε πυρκαγιά

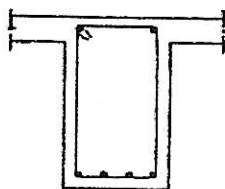
3.2.3.2 Η θέση των οπλισμών σε διατομές δοκών

Συνιστάται να μην συγκεντρώνονται οι ράβδοι του οπλισμού στις γωνίες των διατομών, επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ταχύτερη σ' αυτά τα σημεία και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα αποφλοιώσεων.

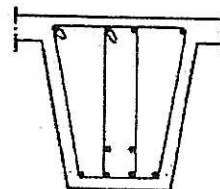
Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται περισσότερες από δύο ράβδοι για τον κύριο οπλισμό και ακόμη καλύτερα να τοποθετείται ένα μέρος του κύριου οπλισμού σε μία δεύτερη στρώση. Βλέπε το σχήμα 3.



ελάχιστη ανθεκτικότητα σε
πυρκαγιά



μέση ανθεκτικότητα σε πυρκαγιά



μέγιστη ανθεκτικότητα σε
πυρκαγιά

Σχήμα 3

3.2.3.3 Αμφιέρειστες δοκοί σιδηροπαγούς σκυροδέματος

Εάν κάποια δοκός θερμαίνεται μόνο από δεξιά ή από αριστερά, μπορεί να προκληθεί κάμψη στο οριζόντιο επίπεδο που θα προκαλέσει έκκεντρη φόρτιση και τελικά ανατροπή της δοκού από τις στηρίξεις της. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί εάν η δοκός συνδέεται στο πάνω μέρος της με πλάκα που είναι αμετακίνητη κατά διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα της δοκού.

Εάν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς κάποια δοκός δεν έχει τη δυνατότητα ελεύθερης διαστολής, τότε αυτή υπόκειται σε θλιπτικές τάσεις που γενικά έχουν ευνοϊκή επίδραση στη συμπεριφορά της δοκού έναντι πυρκαγιάς. Μερικές φορές όμως, εάν η αναπτυσσόμενη δύναμη είναι υπερβολικά μεγάλη, μπορεί να καταστραφεί το στοιχείο που εμποδίζει τη διαστολή.

3.2.3.4 Συνεχείς δοκοί σιδηροπαγούς σκυροδέματος

Κατά τη διάρκεια μιάς πυρκαγιάς, είναι πολύ πιθανό να παρατηρηθεί αύξηση των διατμητικών τάσεων στην περιοχή των εσωτερικών στηρίξεων μιάς συνεχούς δοκού.

Εάν η απαιτούμενη ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς είναι μεγαλύτερη ή ίση των 30 λεπτών, τότε αυτή η αύξηση πρέπει να ληφθεί υπόψη. Σε συνεχείς δοκούς πρέπει να λαμβάνουμε μέτρα για να αποφεύγεται η πτώση της στάθμης των εδράνων λόγω μιάς πυρκαγιάς. Αυτό μπορεί να γίνει λόγω εξασθένησεως ή τήξεως του υλικού που χρησιμοποιείται για τα έδρανα. Ο κίνδυνος αυτός αποτρέπεται διαλέγοντας υλικό που διαθέτει αρκετή ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς ή μονώνοντας το υλικό.

3.2.4 Δοκοί από προεντεταμένο σκυρόδεμα

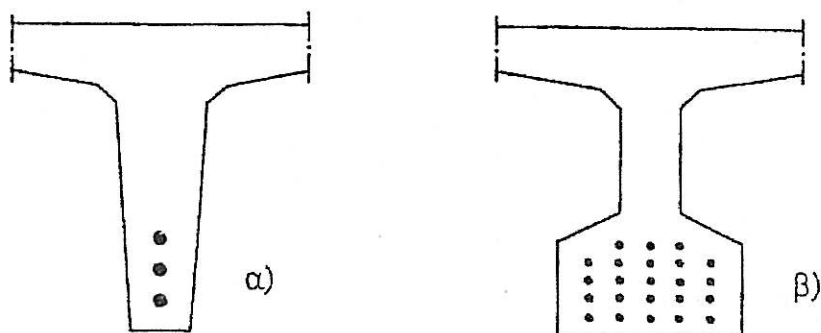
3.2.4.1 Αμφιέριστες δοκίδες με προένταση αγκυρούμενη με συνάφεια

Το κύριο πρόβλημα στις δοκούς του σχήματος 4 είναι ο κίνδυνος ολισθήσεως των τενόντων. Σ' αυτή την περίπτωση, είναι δυνατόν οι εσωτερικά αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα, καθώς και η μείωση της αντοχής σε συνάφεια λόγω της αυξήσεως της θερμοκρασίας, να προκαλέσουν αύξηση του αναγκαίου μήκους αγκυρώσεως στο άκρο των τενόντων. Συνέπεια αυτού είναι κάποια ολίσθηση των τενόντων και απώλεια της δυνάμεως προεντάσεως, ειδικά στα άκρα του στοιχείου.

Αυτό το φαινόμενο δεν παρατηρήθηκε πάντως κατά την διάρκεια πειραμάτων σε δοκίμια που είχαν προενταθεί με μεμονομένα καλώδια ή συρματοσχοίνα μικρών διαμέτρων, τα οποία ήσαν ομοιόμορφα διανεμημένα μέσα στη διατομή, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.

- Εξασφάλιση των άκρων της δοκού με επαρκή μόνωση ή πάχυνση της ακραίας περιοχής κατά τέτοιο τρόπο ώστε η απόσταση κάθε τένοντα από την προσβαλλόμενη επιφάνεια του σκυροδέματος να είναι τουλάχιστον 75 mm.
- Χρήση πυκνών συνδετήρων σε ένα μήκος τουλάχιστον 1,5 φορά το μήκος αγκυρώσεως και οπωσδήποτε, όχι μικρότερο του 1 m από το άκρο της δοκού.
- Χρήση συρματοσχοίωνων διαμέτρου μικρότερης των 12,5 mm και

περίκλειση των ομάδων συρματοσχοίων με μία έλικα μήκους 1,5 φορά το μήκος αγκυρώσεως, οπωσδήποτε δε όχι μικρότερη του 1 m από το άκρο της δοκού.



Σχήμα 4

3.2.4.2 Αμφιέρειστες, κανονικά προεντεταμένες δοκοί

Εάν μια δοκός με προένταση μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος έχει προενταθεί με τένοντες χωρίς τσιμεντένεση, τότε οι αγκυρώσεις είναι ζωτικής σημασίας για τη δοκό και πρέπει να προσέχονται ιδιαίτερα (προστατευόμενες λόγω χάρη με ένα κάλυμμα από σκυρόδεμα). Εάν η προένταση έχει γίνει με τένοντες με τσιμεντένεση, δεν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα.

3.2.4.3 Συνεχείς δοκοί προεντεταμένου σκυροδέματος

Εάν δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός της ανακατανομής της εντάσεως με ειδικές μεθόδους αναλύσεως, τότε τα πρόσθετα μέτρα συνεχών δοκών προεντεταμένου σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς θα λαμβάνονται από τους πίνακες για αμφιέρειστες προεντεταμένες δοκούς.

3.2.5 Πλάκες

3.2.5.1 Αμφιέριστες πλάκες

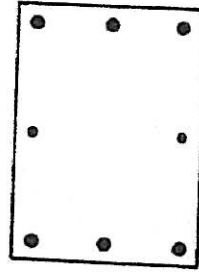
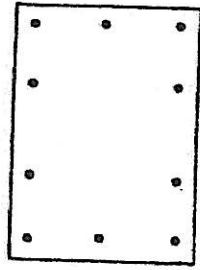
Εάν η πλάκα είναι προεντεταμένη με τένοντες χωρίς τσιμεντένεση, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις αγκυρώσεις.

3.2.5.2 Προεντεταμένες συνεχείς πλάκες

Μηκυτοειδής πλάκες, που στηρίζονται σε υποστυλώματα χωρίς ενίσχυση της κεφαλής τους ή χωρίς ενίσχυση της πλάκας γύρω από το υποστύλωμα, είναι πιθανόν να υποστούν διάτρηση λόγω διατμήσεως σε αυτά τα σημεία. Πάντως δεν υπάρχουν προδιαγραφές για την απαραίτητη πρόσθετη ποσότητα οπλισμού σε τέτοιες περιοχές, έναντι πυρκαγιάς.

3.2.6 Υποστυλώματα

Ένα υποστύλωμα είναι γενικά προτιμότερο να έχει μεγάλες διαστάσεις και χαμηλό ποσοστό οπλισμού, μιάς και το ελάχιστο πλάτος είναι αποφασιστικός παράγοντας για την ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς. Βλέπε το σχήμα 5. Το πρώτο σχήμα είναι ένα υποστύλωμα περισσότερο τρωτό σε πυρκαγιά και το διπλανό του, είναι ένα υποστύλωμα λιγότερο τρωτό σε πυρκαγιά. Με την κατάλληλη διαμερισματοποίηση, είναι δυνατόν να περιορισθεί η υπερβολική οριζόντια μετατόπιση της κεφαλής των, ακραίων κυρίως, υποστυλωμάτων λόγω διαστολής του πατώματος.



υποστύλωμα περισσότερο
τρωτό σε πυρκαγιά

υποστύλωμα λιγότερο
τρωτό σε πυρκαγιά

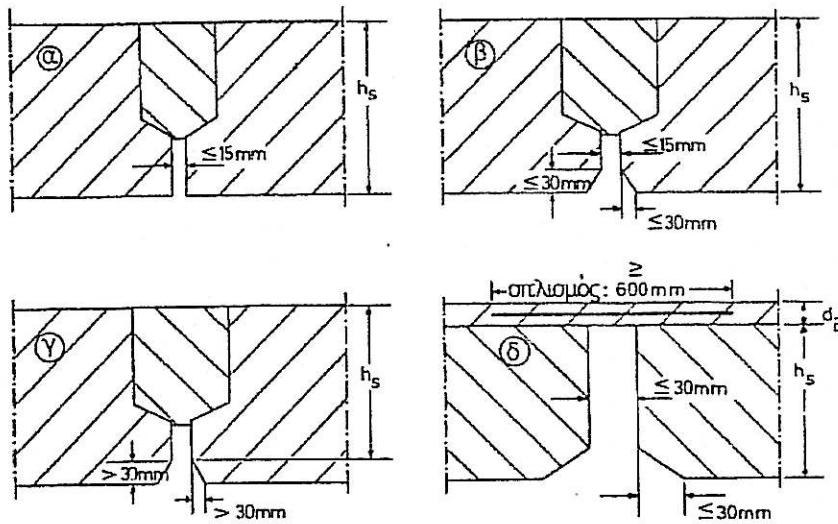
Σχήμα 5

3.2.7 Αρμοί και συνδέσεις στοιχείων από Ω.Σ.

3.2.7.1 Αρμοί (γεμισμένοι με κονίαμα ή με σκυρόδεμα), μεταξύ προκατασκευασμένων πλακών

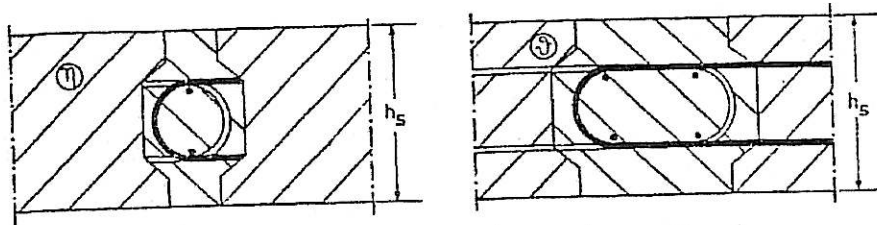
Ειδική προσοχή πρέπει να δίνεται σε αρμούς μεταξύ στοιχείων που παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμερισματοποίηση, ώστε να μην αυξηθεί σημαντικά η θερμοκρασία στο πάνω μέρος του πατώματος ή να μην παρουσιαστούν ρωγμές που θα επιτρέψουν τη διέλευση σε υπέρθερμα αέρια.

Εάν ο αρμός πρέπει να μεταφέρει ροπές ή τέμνουσα, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος δημιουργίας μεγάλων ρωγμών. Εάν επιτρέπεται η δημιουργία ρωγμών στον αρμό (όταν η διατμηματική δύναμη δια μέσου του αρμού είναι αμελητέα), ο σχεδιασμός του αρμού μπορεί να γίνει όπως φαίνεται στο σχήμα 6.



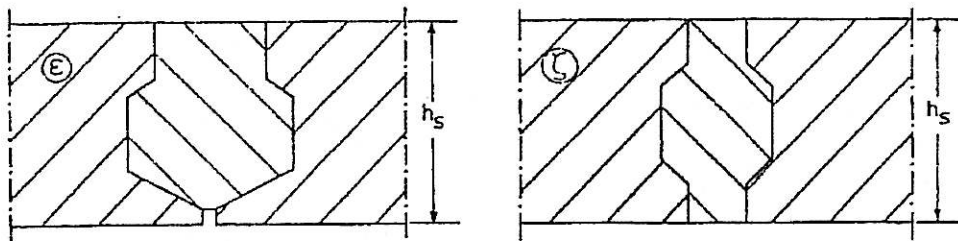
Σχήμα 6

Εάν όμως η τέμνουσα που πρέπει να μεταφερθεί δεν είναι αμελητέα, τότε ο αρμός πρέπει να σχεδιάζεται όπως φαίνεται στα σχήματα 7 και 8. Στα ε, ζ βλέπουμε χαμηλές τιμές διατμητικών δυνάμεων ενώ στα η, θ βλέπουμε υψηλές τιμές διατμητικών δυνάμεων.



Υψηλές τιμές διατμητικών δυνάμεων ($V_{sd} \geq V_{Rd1}$)

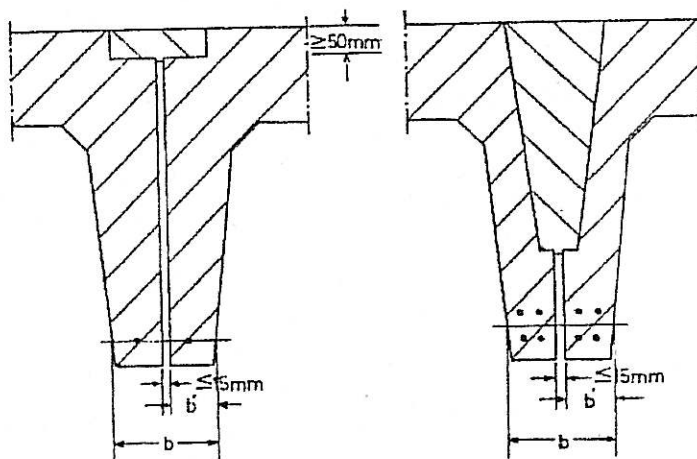
Σχήμα 7



Σχήμα 8

3.2.7.2 Αρμοί (μερικώς γεμισμένοι με κονίαμα ή με σκυρόδεμα), μεταξύ δοκών ή μεταξύ νευρώσεων προκατασκευασμένων τοιχείων

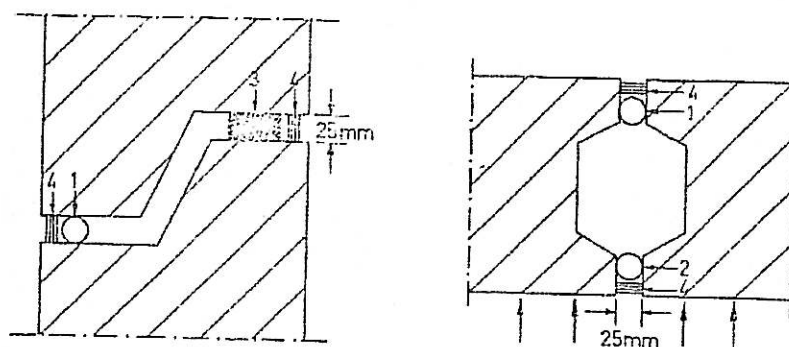
Στο σχήμα 9 φαίνονται δύο παραδείγματα τέτοιων αρμών.



Σχήμα 9

3.2.7.3 Αρμοί μεταξύ προκατασκευασμένων τοιχείων

Οι λύσεις που προτείνονται στα σχήματα 6, 7, 8 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τοιχεία. Στο σχήμα 10 υπάρχουν άλλες δύο εναλλακτικές λύσεις για αρμούς ανθεκτικότητας έναντι πυρκαγιάς ISO 60 πρώτων λεπτών. Εάν το πάχος του αρμού γίνει μικρότερο, η ανθεκτικότητα μπορεί να αυξηθεί περισσότερο από 60 λεπτά. Η πιθανότητα αμοιβαίας μετακινήσεως των τοιχείων σε διεύθυνση κάθετη κατά τον άξονά τους, πρέπει να εκτιμηθεί.



Σχήμα 10

3.2.7.4 Πρόβλεψη αρμών διαστολής

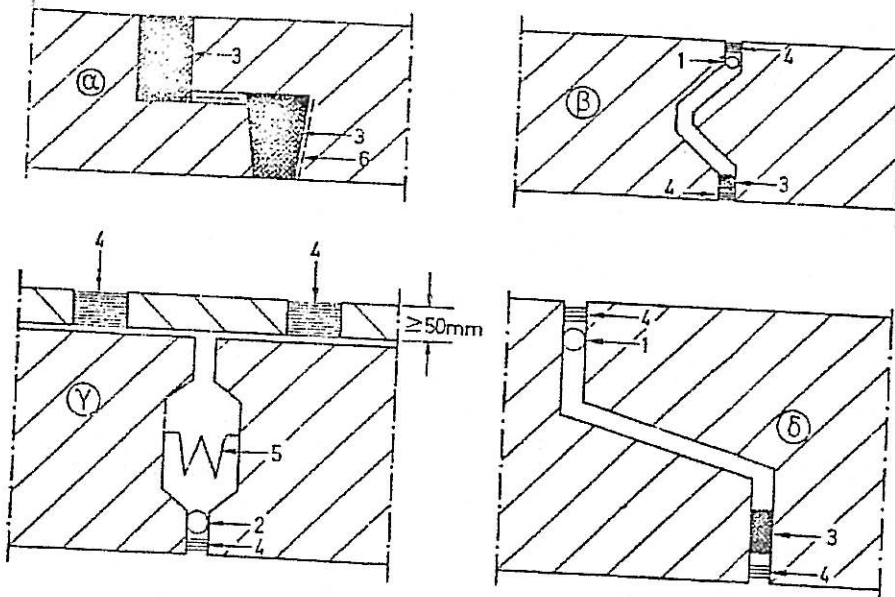
Ένας αρμός διαστολής έχει σκοπό να παραλάβει τη διαστολή που δημιουργείται από την πυρκαγιά σε ένα πυροδιαμέρισμα και έτσι να μην δημιουργηθεί καμία βλάβη σε παρακείμενο πυροδιαμέρισμα.

Το πάχος του αρμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος και σχήμα πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων, είδος συνδέσεων μεταξύ αυτών των στοιχείων, απαιτούμενη ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς.

Ως ελάχιστο πάχος ενός αρμού μπορεί να λαμβάνεται 0,001.1 για ανθεκτικότητα μιάς ώρας και 0,0015.1 για μεγαλύτερες ανθεκτικότητες, όπου 1 η απόσταση μεταξύ διαδοχικών αρμών. Γενικά, οι αρμοί πρέπει να γεμίζονται με άκαυστες, συμπιεστές ίνες και να σφραγίζονται. Ακόμη πρέπει να γίνεται τακτική επίβλεψη και συντήρησή τους. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι δεν υπάρχει κανένα υλικό πληρώσεως που να μπορεί να συμπιεσθεί απόλυτα.

3.2.7.5 Αρμοί διαστολής μεταξύ πλακών

Στο σχήμα 11 φαίνονται τέσσερα παραδείγματα αρμών διαστολής μεταξύ πλακών. Όπου το 1 είναι στήριγμα, το 2 είναι άκαυστο υλικό, το 3 είναι άκαυστο μονωτικό, το 4 είναι σφραγιστική μαστίχη, το 5 είναι εκτατό έλασμα και το 6 είναι κόλλα ανθεκτική σε πυρκαγιά.



Σχήμα 11

3.3 Ο σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

3.3.1 Γενικές απαιτήσεις

Ο σχεδιασμός κατασκευών από Ω.Σ. έναντι πυρκαγιάς έχει σκοπό να εξασφαλίσει με έναν οικονομικό τρόπο και με μία παραδεκτή πιθανότητα:

- Την ασφάλεια των ανθρώπινων ζωών
- Την επαρκή προστασία των υλικών αγαθών

Οι παραπάνω δύο απαιτήσεις επιτυγχάνονται με μέτρα ενεργητικής και παθητικής προστασίας έναντι πυρκαγιάς. Τα μέτρα ενεργητικής προστασίας έχουν σκοπό να μειώσουν την πιθανότητα εκδηλώσεως μιάς σοβαρής πυρκαγιάς, τα δε μέτρα παθητικής προστασίας να μειώσουν την πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής, εάν τελικά η πυρκαγιά εκδηλωθεί.

3.3.2 Η ενεργητική προστασία

Η πιθανότητα εναύσεως και εξαπλώσεως μιάς πυρκαγιάς μπορεί να ελαχιστοποιηθεί, εάν ο μηχανικός λάβει υπόψην του κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού τα εξής:

- Τη θέση και τη διάταξη του κτιρίου
- Τη σωστή χρήση του κτιρίου
- Τα αντιπυρικά χωρίσματα και τη θερμική μόνωση
- Την αποδοτικότητα των συστημάτων πυρανιχνεύσεως και πυροσβέσεως

3.3.3 Η παθητική προστασία

Η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής σε περίπτωση σοβαρής πυρκαγιάς εξαρτάται από την «ανθεκτικότητα» έναντι πυρκαγιάς, η οποία ορίζεται ως η «ικανότητα αναλήψεως των προβλεπόμενων φορτίων και η σύγχρονη ικανότητα διατηρήσεως της αντιπυρικής ακεραιότητας και των θερμομονωτικών ιδιοτήτων της κατασκευής, για κάποια ορισμένη χρονική διάρκεια». Η ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς εκφράζεται σε όρους απαιτούμενου χρόνου εκθέσεως στην καμπύλη ISO «Θερμοκρασία αερίων-χρόνος». Κατόπιν διεθνούς συμφωνίας ακολουθείται η παρακάτω διάταξη σε κλάσεις πυρκαγιάς ISO:

F30, F60, F90, F120, F180, F240, ...

Όπου ο αριθμός αναφέρεται στον απαιτούμενο χρόνο εκθέσεως σε πρώτα λεπτά. Ακολουθεί σύντομος σχολιασμός των προϋποθέσεων που υπεισέρχονται στον ορισμό της ανθεκτικότητας.

3.3.3.1 Η ικανότητα αναλήψεως φορτίων

Τα μέλη μιάς κατασκευής η οποία εκτίθεται σε πυρκαγιά οφείλουν να διατηρούν την ικανότητα αναλήψεως των προβλεπόμενων φορτίων τους, έτσι ώστε η πιθανότητα μερικής ή ολικής αστοχίας της κατασκευής κατά τη διάρκεια του απαιτούμενου χρόνου εκθέσεως στην πυρκαγιά να παραμένει σε αποδεκτά όρια.

3.3.3.2 Η διατήρηση της αντιπυρικής ακεραιότητας

Κατά τη διάρκεια του απαιτούμενου χρόνου εκθέσεως στην πυρκαγιά, τα διαχωριστικά στοιχεία (πλάκες και τοιχεία) οφείλουν να εμποδίζουν τις φλόγες να τα διαπεράσουν.

3.3.3.3 Η διατήρηση της θερμομονωτικής ικανότητας

Κατά τη διάρκεια του απαιτούμενου χρόνου εκθέσεως στην πυρκαγιά, τα διαχωριστικά στοιχεία οφείλουν να εμποδίζουν την υπερβολική μεταφορά θερμότητας στην μη εκτιθέμενη επιφάνειά τους, ώστε να αποφεύγεται η εξάπλωση της φωτιάς σε παρακείμενα πυροδιαμερίσματα.

3.3.4 Τα δύο στάδια του σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός κατασκευών από Ω.Σ. έναντι πυρκαγιάς περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Την απόφαση για την κλάση πυρκαγιάς στην οποία πρέπει να ανήκει το σχεδιαζόμενο τμήμα της κατασκευής.
- Τον έλεγχο επαρκείας αντοχής των διατομών.

3.3.4.1 Κλάσεις πυρκαγιάς

Αυτό το στάδιο στις συνήθεις περιπτώσεις δεν απαιτεί υπολογισμούς. Ο Έλληνας μηχανικός μπορεί να συμβουλευτεί τα 15 τεύχη του «Σχεδίου κανονισμού για την πυροπροστασία κτιρίων» Υ.Χ.Ο.Π. 1982-1983, όπου κατατάσσονται τα διάφορα είδη δομικών στοιχείων σε κλάσεις πυρκαγιάς ISO 834, ανάλογα με τη χρήση του χώρου στον οποίο ανήκουν. Στον πίνακα 3 φαίνονται, πολύ συνοπτικά, μερικές από τις ανάλογες διατάξεις

που ισχύουν στο Γερμανικό ομόσπονδο κρατίδιο του Nordrhein-Westfalen.

| | Κατοικίες | Κατοικίες | Κατοικίες | Κατοικίες | Καταστήματα | Καταστήματα | Γκαράζ | Γκαράζ | Γκαράζ | Γκαράζ | Γκαράζ | Χώροι συγκεντρώσεως πλήθους | Χώροι συγκεντρώσεως πλήθους |
|--|-----------|-----------|-----------|------------------|--------------------|-----------------------|--|--|---|---|---|-----------------------------|--|
| | Όροφοι | όροφοι | Όροφοι | Πολυόροφα κτίρια | Καταστήματα γενικά | Καταστήματα μονόοροφα | Με υποκεκλιμένο χώρο μη ανήκοντες στο γκαράζ | Ανοικτά γκαράζ μεσουήλιου ή μεθόδου ή μεγάλου μεγέθους | Μονόοροφα γκαράζ υπεράνω του εδάφους μέσου ή μεγάλου μεγέθους | Μικρά αυτοκίνητα γκαράζ υπεράνω του εδάφους | Μικρά αυτοκίνητα γκαράζ υπεράνω του εδάφους και για άλλες | Χώροι συγκεντρώσεως γενικών | Μονόοροφα κτίσματα με χώρους συγκεντρώσεως |

| | | | | | | | | | θους | | χρήσ εις | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------------|-----|-----|
| Γενικά ς | ≤2 | 3/ 5 | >5 | | | | | | | | | | |
| 1)Φέροντες τοιχοί | F30 | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | F30 | F30 | F30 | F30 | | |
| 2)Μη φέροντες εξωτερικοί τοιχοί | F30 | F30 | F30 | F90 | | | | | | | | | |
| 3)Διαχωριστικοί τοιχοί | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | | | | | | F90 | F90 |
| 4)Οροφές υπόγειων (Αποθηκών) | F90 | F90 | F90 | F90 | | | | | | | | | |
| 5)Άλλες οροφές | F30 | F30 | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | F30 | F30 | F30 | F30 |
| 6)Διαχωριστικοί τοιχοί σε γκαράζ | | | | | | | F90 | F90 | F90 | F90 | F90 | | |
| Οδοί διαφυγής | | | | | | | | | | | | | |
| 1)Τοίχοι κλιμακοστάσιου | F90 Πυρό τοιχοί | F90 Πυρό τοιχοί | F90 Πυρό τοιχοί | F90 Πυρό τοιχοί | | | | | | | | | |
| 2)Οροφές πάνω και κάτω από διαδρόμους που αποτελούν τη μοναδική σύνδεση με το κλιμακοστάσιο | F90 | F90 | F90 | F90 | | | | | | | | | |
| 3)Τοίχοι οδών διαφυγής | F30 | F30 | F30 | | | | | | | | | | |
| 4)Οροφές πάνω από οδούς διαφυγής | F90 | F90 | F90 | F90 | | | F90 | F90 | F90 | F30 | F30 | F90 | F90 |

Πίνακας 3: Κλάσεις πυρκαγιάς δομικών στοιχείων (Nordrhein-Westfalen)

Εναπόκειται φυσικά στο μηχανικό να κρίνει εάν ορισμένα δομικά στοιχεία έχουν ιδιάζουσα στατική σημασία για την φέρουσα ικανότητα όλης της κατασκευής και να αποφασίσει τον σχεδιασμό τους, βάσει κάποιας μεγαλύτερης κλάσεως πυρκαγιάς από αυτή που αναφέρουν οι διάφοροι πίνακες.

3.3.5 Κριτήρια επάρκειας της αντοχής των διατομών

Η επάρκεια της αντοχής των διατομών μπορεί να ελεγχθεί με μία από τις παρακάτω μεθόδους:

3.3.5.1 Εκτέλεση πειραμάτων

Η μέθοδος συνίσταται στην εκτέλεση δοκιμών των υπό έλεγχο δομικών στοιχείων μέσα σε κλίβανους. Είναι η μέθοδος με το μεγαλύτερο κόστος και γι αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται μόνο σε έργα μεγάλης σημασίας.

3.3.5.2 Ικανοποίηση ορισμένων κατασκευαστικών διατάξεων

Ανάλογα με την κλάση της πυρκαγιάς ISO στην οποία η διατομή πρόκειται να επεκταθεί, υπάρχουν αντίστοιχες κατασκευαστικές διατάξεις, οι οποίες αναφέρονται κυρίως στην ελάχιστη διάσταση της διατομής και στην επικάλυψη των οπλισμών. Αυτές οι πρακτικές οδηγίες σχεδιασμού έχουν προκύψει από την εκτέλεση πολυάριθμων πειραμάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις της πράξεως, η ικανοποίηση αυτών των κατασκευαστικών διατάξεων παρέχει ένα αποδεκτό όριο ασφάλειας για την κατασκευή.

3.3.5.3 Η υπολογιστική επαλήθευση

Για ορισμένες διατομές, με ιδιαίζουσα στατιστική σημασία για την φέρουσα ικανότητα όλης της κατασκευής, επιπλέον της ικανοποίησης των κατασκευαστικών διατάξεων, συνιστάται και η χρήση μίας υπολογιστικής μεθόδου που επιτρέπει την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας της διατομής με τη βοήθεια μίας «Θερμοστατικής μεθόδου».

Εναπόκειται στον μηχανικό η εκλογή των κρίσιμων διατομών στις οποίες θα εφαρμοσθεί η υπολογιστική επαλήθευση. Πάντως κάτι τέτοιο δεν χρειάζεται να γίνεται στα συνήθη οικοδομικά έργα που δεν παρουσιάζουν ειδικά προβλήματα πυρκαγιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

- Γενικές παρατηρήσεις πάνω στις σύμμικτες κατασκευές
- Ελληνική πραγματικότητα
- Συμπεράσματα
- Μελέτη μίας περίπτωσης πυρκαγιάς από το αρχείο της πυροσβεστικής υπηρεσίας

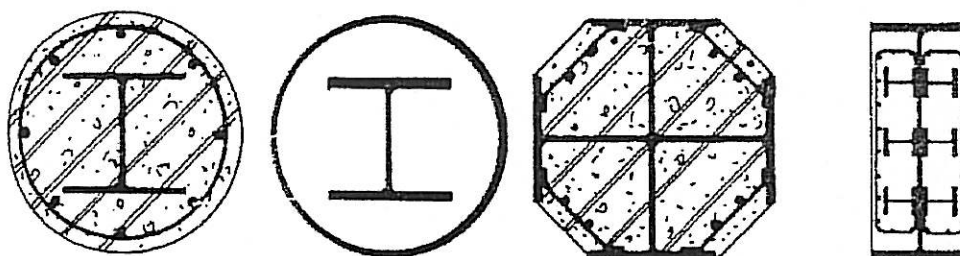
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Γενικές παρατηρήσεις πάνω στις σύμμικτες κατασκευές

Έλεγχος σύμμικτων υποστυλωμάτων στη θερμή κατάσταση

4.1 Γενικά

Τα σύμμικτα υποστυλώματα αποτελούνται από σιδηροδοκούς πλήρως ή μερικώς εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα, είτε από χαλύβδινους σωλήνες ή κοιλοδοκούς γεμισμένες με σκυρόδεμα. Στο σχήμα 12 απεικονίζονται μερικές ενδεικτικές μορφές σύμμικτων υποστυλωμάτων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αποκλείονται και άλλες μορφές.



Σχήμα 12: Ενδεικτικές μορφές σύμμικτων υποστυλωμάτων.

Τα σύμμικτα υποστυλώματα έχουν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή, δυσκαμψία και ολκιμότητα. Το σκυρόδεμα εγκιβωτισμού εμποδίζει την ανάπτυξη τοπικού λυγισμού στο χάλυβα και αυξάνει θεαματικά την πυροπροστασία των υποστυλωμάτων. Σε περίπτωση δε κοίλων διατομών γεμισμένων με σκυρόδεμα τοποθετούνται εσωτερικά της διατομής διαμηκείς οπλισμοί, οπότε στην περίπτωση πυρκαγιάς όπου η χαλύβδινη κοιλοδοκός θεωρείται ότι χάνει τελείως την αντοχή της, το υποστυλόμετρο συμπεριφέρεται ως υποστυλόμετρο από οπλισμένο

σκυρόδεμα.

Στον Ευρωκώδικα 4, παρατίθενται δύο μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να γίνει ο αναλυτικός υπολογισμός σύμμικτων υποστυλωμάτων σε επιπόνηση πυρκαγιάς. Η πρώτη μέθοδος είναι η απλοποιημένη, κατά την οποία ο υπολογισμός γίνεται με τη βοήθεια πινάκων. Έτσι, σε πίνακες δίνονται στοιχεία για την ταξινόμηση σύμμικτων υποστυλωμάτων, σε κατηγορίες πυρκαγιάς 30, 60, 90 και 120 λεπτών. Ειδικότερα και ανάλογα με τη φόρτιση (συντελεστής π.ί.: Λόγος των αντιστάσεων στη θερμή και την ψυχρή κατάσταση), οι πίνακες δίνουν τιμές ελάχιστων διαστάσεων και επικάλυψης για σύμμικτα υποστυλώματα.

Η δεύτερη μέθοδος είναι η αναλυτική, η οποία αναφέρεται στο παράρτημα F του Ευρωκώδικα 4, μέρος 1.2. Σε αυτή τη μέθοδο ο έλεγχος συνίσταται στην επίλυση του προβλήματος της μετάδοσης της θερμότητας στα υποστυλώματα, προσδιορισμό των οριακών τάσεων συναρτήσει της θερμοκρασίας και την ολοκλήρωση του διαγράμματος των τάσεων για την εύρεση της οριακής αντοχής σε θλίψη του υποστυλώματος, σε συνθήκες πυρκαγιάς. Αυτή η μέθοδος οδηγεί οπωσδήποτε σε ακριβέστερα αποτελέσματα, σε σύγκριση με την απλοποιημένη μέθοδο η οποία βασίζεται σε πινακοποιημένα δεδομένα.

4.2 Ελληνική πραγματικότητα

Το επίπεδο που βρίσκεται η χώρα μας σε σχέση με την ανάγκη για γνώση των προαναφερθέντων μπορεί με λίγα λόγια να περιγραφεί ως εξής:

- Γύρω από το οπλισμένο σκυρόδεμα υπάρχει πολλή εμπειρία πράγμα που μας επιτρέπει να κατασκευάζουμε έργα με μεγαλύτερη ασφάλεια και ανθεκτικότητα. Παρά την εμπειρία, παρατηρείται δυστυχώς το φαινόμενο της μη σχολαστικής τήρησης των προδιαγραφών ασφαλείας. Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό μπορεί να είναι καθαρά οικονομικοί, από άγνοια, ανευθυνότητα ή ακόμη και λανθασμένο τρόπο κατασκευής.
- Για τον χάλυβα η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα διαφοροποιείται από αυτή του οπλισμένου σκυροδέματος. Λόγω έλλειψης εμπειρίας και συνεπώς γνώσης, χρειάζεται πολλή περισσότερη προσοχή κατά τη διάρκεια της κατασκευής, εξειδίκευση και τεχνογνωσία σε όλους τους τομείς και κυρίως συντήρηση των τυχόν συστημάτων προστασίας.

Είναι απαραίτητο να τονίσουμε ότι χρειάζεται:

- Αντίληψη της παθογένειας
- Γνώση της σχετικής προστασίας
- Συντήρηση και έλεγχος

4.3 Συμπεράσματα

Επιχειρώντας τη διεξαγωγή ενός συμπεράσματος με γνώμονα τα ζητήματα, στα οποία βασίστηκε η εργασία αυτή, μπορούμε να καταλήξουμε στην καθοριστική συμβολή των μέσων παθητικής και ενεργητικής πυροπροστασίας, για την αντιμετώπιση των κινδύνων που θέτει μια πυρκαγιά σε μια κατασκευή. Το είδος αυτής της συμβολής, δηλαδή η επιλογή του κατάλληλου τύπου παθητικής πυροπροστασίας (διογκούμενα ή εκτοξευμένα υλικά, μονωτικές πλάκες κλπ) και των απαραίτητων συστημάτων ενεργητικής πυροπροστασίας (σύστημα sprinklers, αυτόματοι ανιχνευτές, φράγματα καπνού) για την κάθε περίπτωση, στηρίζεται στην ανάλυση των συμπερασμάτων, στα οποία καταλήγουν τα σύγχρονα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί κάτω από πραγματικές συνθήκες πυρκαγιάς ή στα εργαστήρια, καθώς επίσης και στις ερευνητικές προσπάθειες των επιστημονικών ομάδων παγκοσμίως, οι οποίες ασχολούνται με ειδικότερα θέματα, στα πλαίσια της προστασίας κατασκευών έναντι πυρκαγιάς.

Φαίνεται την ίδια στιγμή, η σημασία που έχει η μελέτη του τρόπου κατασκευής ενός φέροντα οργανισμού και η σπουδαία συμβολή της βελτίωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών των διατιθέμενων δομικών υλικών, όπως επίσης και της μεγαλύτερης εκμετάλλευσης των ορίων αντοχής τους. Με την εξέλιξη, λοιπόν, των γνώσεων γύρω από τη συμπεριφορά των διαφόρων στοιχείων μιάς κατασκευής και τη δυνατότητα της πρακτικής εφαρμογής των γνώσεων αυτών μέσω κατάλληλων μεθόδων, είναι πλέον εφικτό να επιτευχθούν σημαντικές

πρόοδοι και ευεργετικά αποτελέσματα, σχετικά με την αντοχή και την ασφάλεια που παρέχει ο τύπος αυτών των κατασκευών.

Σαν επιστέγασμα των όσων προαναφέρθηκαν, είναι απαραίτητο να επισημανθεί η ανάγκη των σύγχρονων κρατών να συγκεντρώσουν όλα τα παραπάνω στοιχεία σε αναγνωρισμένους κανονισμούς, οι οποίοι είναι φανερό, τόσο από τα ζητήματα τα οποία θίγουν, όσο και από τον τρόπο που τα αντιμετωπίζουν, ότι ακολουθούν το σκεπτικό και στηρίζονται στα σχετικά επιτεύγματα και την πρόοδο των χωρών, στις οποίες βρίσκουν εφαρμογή.

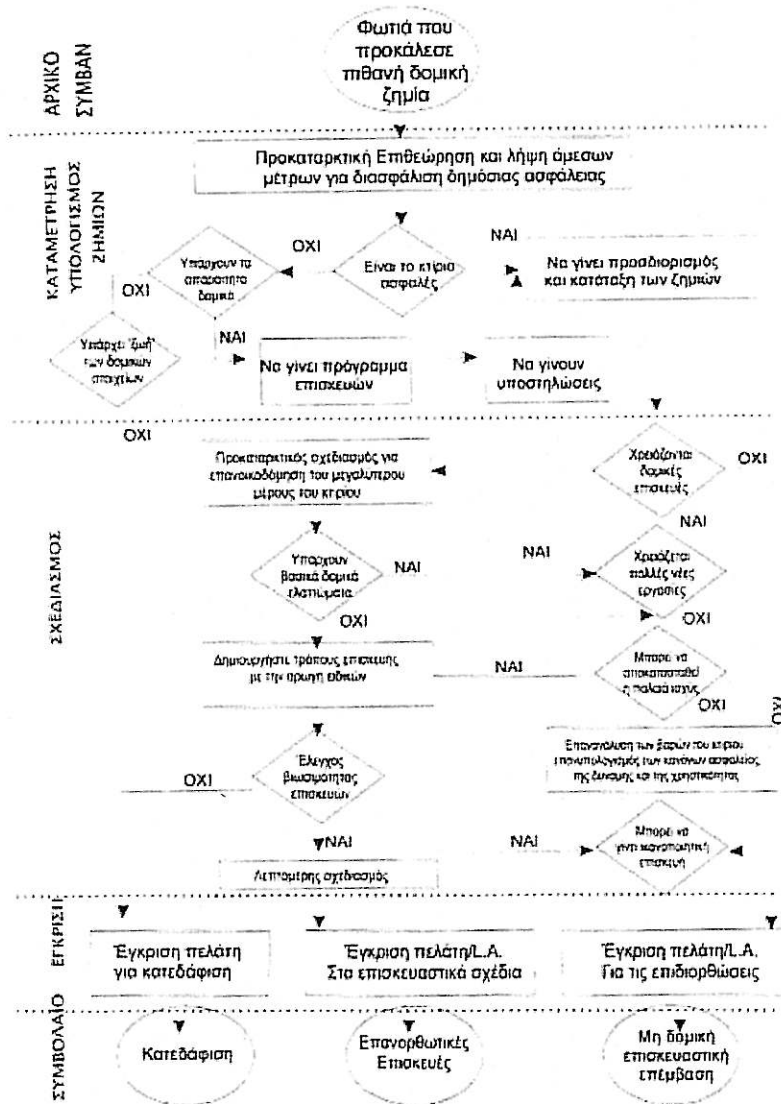
4.4 Μελέτη μιάς περίπτωσης πυρκαγιάς από το αρχείο της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.

Τέλος, μελετάμε μια περίπτωση πυρκαγιάς από το αρχείο της Πυροσβεστικής υπηρεσίας και παρουσιάζουμε κάποιες φωτογραφίες που αφορούν τη μελέτη αυτή, στις οποίες φαίνεται ξεκάθαρα η επίδραση που είχε η πυρκαγιά στην κατασκευή από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα.

4.4.1 Μελέτη περίπτωσης

Όταν η πυρκαγιά έχει συμβεί ο κύριος κατασκευαστής και αν χρειάζεται και ο ειδικός για τις επισκευές, θα πρέπει να βρεθούν όσο πιο νωρίς γίνεται και να πάρουν μέρος στον προγραμματισμό των επισκευών.

Σύμφωνα με την τεχνική αναφορά του Concrete Society (1990), No33, η εργασία της αξιολόγησης και οι προτάσεις που θα γίνουν θα πρέπει να είναι σύμφωνα με το πρόγραμμα που είναι στο παρακάτω διάγραμμα ροής. Βλέπε το σχήμα 13.



Σχήμα 13

4.4.2 Περιγραφή της εμφάνισης του κτιρίου

Για να έχουμε μια ρεαλιστική εικόνα για την κατάσταση του οικοδομήματος πριν την πυρκαγιά και τη δυνητική αντοχή του στην πυρκαγιά, χρειάζεται μία περιγραφή του κτιρίου και πιο συγκεκριμένα μία λεπτομερής περιγραφή του σχεδιασμού του και της κατασκευής του.

Το κτίριο που γίνεται η μελέτη της περίπτωσης είναι ένα εγκαταλειμμένο τριώροφο κτίριο 704 τετραγωνικών ποδιών που έχει και ένα υπόγειο σε ένα προάστιο της Αθήνας, που λέγεται Πειραιάς. Η χρήση του κτιρίου ήταν βασικά βιομηχανική και είχε και ένα αριθμό δωματίων για γραφεία και υπηρεσίες. Αποτελείται από ενισχυμένο πλαίσιο μπετόν και ορόφους που έχουν ένα συνδυασμό από τοίχους προκατασκευασμένου σκυροδέματος και πλινθοδομής.

Τα θεμέλια του κτιρίου είναι συνεχόμενα σε δύο κατευθύνσεις που καλύπτουν μία περιοχή ίση με τη βάση της κατασκευής. Αυτός ο τύπος θεμελιών θα πρέπει να θεωρηθεί ως ο πιο κατάλληλος λόγω της κακής κατάστασης του εδάφους. Τα κύρια δοκάρια στους εξωτερικούς τοίχους χρησιμεύουν ως καλύμματα κάτω από τα παράθυρα, με αυτόν τον τρόπο δουλεύουν ως το κάλυμμα που αφήνει την προεξοχή των παράθυρων να είναι ευθυγραμμισμένη με την οροφή και έτσι να είναι τα δωμάτια όσο πιο διαμπερή γίνεται. Τέλος το υψηλότερο δοκάρι χρησιμεύει και ως προπέτασμα.

Όσον αφορά στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και την αναλογία του σκυροδέματος, ο τύπος του προσμίγματος είναι φυσικός και μία κάλυψη σκυροδέματος 15 mm είναι αρκετή για να προστατεύσει την ενίσχυση του ατσαλιού από τη διάβρωση. Παρόλα αυτά, από ελέγχους που

έχουν γίνει στα εργαστήρια και από εμπειρία σε ζημιές που έχουν προκληθεί σε κτίρια από πυρκαγιές, έχει διαπιστωθεί ότι μία αύξηση στη πυκνότητα του σκυροδέματος μπορεί να εμποδίσει την εκτεταμένη μείωση της αντοχής της ενίσχυσης του ατσαλιού για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αυτή η περίοδος εξαρτάται από το μέγεθος και τον τύπο του κτιρίου και μπορεί να είναι από μισή ώρα έως και τέσσερις ώρες (Concrete Society, Technical report, 1991).

Η ενίσχυση που χρησιμοποιείται σε μία κατασκευή είναι ένα κυκλικό τμήμα που αποτελείται από στρογγυλές ράβδους ήπιου χάλυβα, διαμέτρου 6 με 40 mm. Αυτές οι ράβδοι είναι κατασκευασμένες σε μεγάλο μήκος και μπορεί να κοπούν γρήγορα και λυγίζουν εύκολα δίχως να παθαίνουν ζημιές. Όπως βλέπουμε από τα υλικά που αποτελούν τα μέρη του κτιρίου, αυτά μπορούν να διατηρήσουν την αντοχή και τη σταθερότητά τους για ορισμένο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια μίας πυρκαγιάς.

4.4.3 Λεπτομέρειες της πυρκαγιάς

Η πυρκαγιά έγινε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 1999 και διήρκεσε μία ώρα. Σύμφωνα με την αναφορά της Πυροσβεστικής, η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς ήταν γύρω στους 250° με 300°c, στο εσωτερικό του κτιρίου υπήρχαν εύφλεκτα υλικά και υπήρξε τοπική ζημιά γύρω από το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής της πυρκαγιάς χωρίς οποιαδήποτε μεγάλη μετατόπιση ή μείωση της δύναμης παραγωγής της ενίσχυσης, που θα ήταν άλλωστε και ο κύριος λόγος για την ανοικοδόμηση ή την κατεδάφιση του κτιρίου. Το κτίριο δεν κατοικείται από τότε που έγινε η πυρκαγιά και έχει κοπεί και το ρεύμα μέσα σ' αυτό.

Επίσης έχει αναφερθεί ότι η πυρκαγιά είχε εξαπλωθεί και στον πάνω όροφο και σβήστηκε πριν μεταδοθεί στο ισόγειο. Στο τέλος, λόγω της αξιολόγησης από ειδικούς σε επισκευές, είχε αποφασιστεί ότι δεν υπήρχε ανάγκη για κατεδάφιση του κτιρίου και όλα τα συντρίμμια είχαν μετακινηθεί από το κτίριο για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει νέα πυρκαγιά στο κτίριο και στις γειτονικές ιδιοκτησίες.

4.4.4 Έκταση της ζημιάς

Ανάλυση των γενικών αποτελεσμάτων

Έκταση της κατασκευής που επηρεάστηκε

Όπως είναι γνωστό, σε ένα τσιμεντένιο στέλεχος, μόνο η θερμοκρασία των εξωτερικών στρωμάτων έχει αυξηθεί και η θερμοκρασία του εσωτερικού του σκυροδέματος είναι σχετικά χαμηλή. Ειδικά στις γωνίες ενός στοιχείου του κτιρίου η θερμοκρασία σε μια δεδομένη απόσταση από την εκτεθειμένη επιφάνεια είναι υψηλότερη λόγω της μεταφοράς της θερμότητας από τις δύο γωνιές.

Έτσι, στην περίπτωση που μελετάμε για τα 380mm² των κολώνων μετά από μία ώρα θερμότητας, η θερμοκρασία σε βάθος 25mm θα ήταν 300°C, σε βάθος 50mm θα ήταν 150°C και σε βάθος 75mm θα ήταν 100°C. Για αυτό το λόγο, οι περισσότερες από τις κολώνες είναι διαχωρισμένες και αποχρωματισμένες ή μαυρισμένες στις τσιμεντένιες επιφάνειες.

4.4.5 Έκταση αποφλοίωσης

Δύο τύποι αποφλοίωσης μπορεί να αναγνωριστούν. Η εκρηκτική αποφλοίωση που σύμφωνα με το Technical Note 118 CIRIA, συμβαίνει στα πρώτα 30 λεπτά και χαρακτηρίζεται από τη βίαιη ρήξη τμημάτων του σκυροδέματος, που συνοδεύεται από δυνατό ήχο. Αυτά τα κομμάτια μπορεί να είναι μικρά (100mm) ή μεγάλα (Ως και 300mm σε μήκος) και είναι ικανά να προκαλέσουν φυσική καταστροφή. Περιστασιακά η δριμύτητα της εκρηκτικής αποφλοίωσης μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία τρυπών μέσω του πάχους του τμήματος, παραδείγματος χάριν σε πλάκα πατωμάτων ή στον ιστό ενός δοκαριού. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτός ο τύπος της αποφλοίωσης είναι περιορισμένος στο μη ενισχυμένο μέρος του τμήματος και συνήθως δεν προχωρά πέρα από το ενισχυμένο στρώμα (που μπορεί να είναι ενωμένο με ένα δοκάρι ή μια κολώνα).

Ο δεύτερος τύπος αποφλοίωσης, που συχνά αναφέρεται και ως «Sloughing off» (CIRIA Report 118) συμβαίνει κατά τη διάρκεια των τελευταίων σταδίων μίας πυρκαγιάς όταν το σκυρόδεμα έχει γίνει αδύναμο και έχουν αρχίσει ρήγματα στις γωνίες και τις κορυφές του. Κομμάτια από σκυρόδεμα πέφτουν από τις γωνίες των δοκαριών και τις κολώνες και ίσως να ακολουθηθούν από κομμάτια σκυροδέματος από τις προσόψεις, όσο τα ρήγματα μεγαλώνουν.

Παρόλα αυτά, ο τύπος της αποφλοίωσης μερικές φορές επηρεάζεται από τον τύπο του προσμίγματος που υπάρχει. Από πρακτική άποψη, ο πιο σημαντικός τύπος είναι αυτός της εκρηκτικής αποφλοίωσης, επειδή επηρεάζει την δομική συμπεριφορά. Η μείωση του σκυροδέματος οδηγεί σε γρήγορη άνοδο της θερμοκρασίας στον πυρήνα και μείωση στο

φορτίο εδράνου και διαχωρίζει τις λειτουργίες των στοιχείων του σκυροδέματος. Οι όροφοι, οι πλάκες, οι τοίχοι, τα δοκάρια και οι κολώνες είναι όλα ευαίσθητα σε αυτόν τον τύπο ζημιάς. Αν η ενίσχυση έχει εκτεθεί στη θερμότητα, τότε θα ζεσταθεί γρήγορα και η αντίσταση αυτού του κομματιού θα μειωθεί με αυξανόμενους ρυθμούς.

Το μεγαλύτερο μέρος της πειραματικής έρευνας στην αποφλοίωση που έγινε από το 1970 έως το 1977 έχει επιχειρήσει να κατανοήσουν τους λόγους που προκαλούν την εκρηκτική αποφλοίωση. (Technical Report, No 33 1992).

4.4.6 Περιγραφή της ζημιάς στα δομικά συστατικά

Τα αποτελέσματα της οπτικής εξέτασης και της κατηγοριοποίησης των ζημιών για κάποια επιλεγμένα υλικά και συστατικά, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται από τα διευκρινισμένα συστατικά, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Βλέπε τον πίνακα 4.

| Τυπικά παραδείγματα | Συνθήκες | Θερμοκρασία κατά προσέγγιση |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|
| Αφρός, λαβές, γάντζοι κουρτινών, περιβλήματα ραδίου. | Μαλακώνουν, λιώνουν και απορρέουν | 120-140° c 250° c |
| Ξύλο, χαρτιά, βαμβάκι | θόλωση | 200°-300° c |
| Υδραυλικές εγκαταστάσεις | Λιώνουν | 300°-350° c |
| Υδραυλικές αρθρώσεις | Λιώνουν | 250°-300° c |
| Καλλύματα | Φυσαλίδες, μαλακώνουν | 150°-250° c |
| Τζάμια | Μαλακώνουν | 200°-300° c |
| Εξαρτήματα | Μαλακώνουν | 350°-400° c |
| Thin wall containers | Καταρρέουν | 150° c |
| Ηλεκτρολογικός και μηχανολογικός εξοπλισμός | Αλλοιώνονται | |

Πίνακας 4

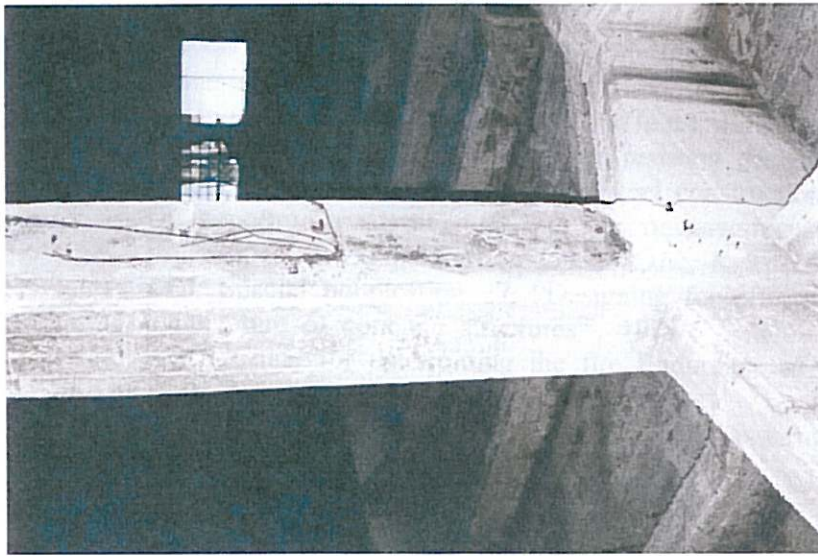
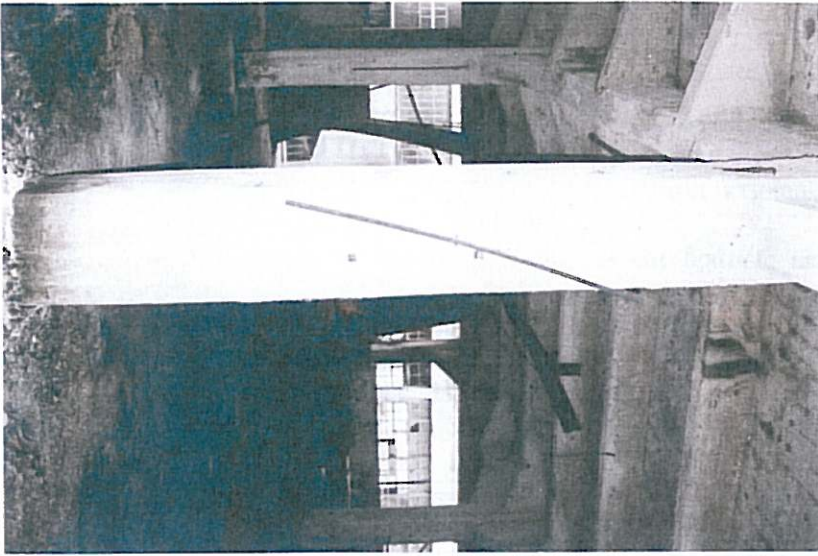
Ο πίνακας 4 μπορεί να μας βοηθήσει στη γενική αξιολόγηση των πιθανών επισκευών. Οι λεπτομερείς απαιτήσεις για την επισκευή εξαρτώνται από την ποσοτική εξέταση και τον έλεγχο στα μέρη του κτίσματος, τα οποία θα έχουν ως αποτέλεσμα τον καθαρισμό ενός τελικού προγράμματος που θα υποδεικνύει την περιοχή και τις λεπτομέρειες της επισκευής για το κάθε δομικό κομμάτι.

4.4.7 Φωτογραφίες μελέτης









ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πρακτικός σχεδιασμός κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι πυρκαγιάς [Θ.Π. Τάσιος-Γ.Δεοδάτης], [εργαστήριο Ω.Σιεμπ]
2. Σχέδιο κανονισμού για την πυροπροστασία κτιρίων (15 τεύχη), Υ.Χ.Ο.Π 1982-83 [εργαστήριο Ω.Σ/ΕΜΠ]
3. Ευροκώδικας 1: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών. Μέρος 2.2- καταπόνηση των κατασκευών έναντι πυρκαγιάς, 1995
4. Ευροκώδικας 4: Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα, Μέρος 1.2. Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών έναντι πυρκαγιάς (EN, ENV 1994-1-2, 1994)
5. L.E.B, "Design of concrete structures for fire resistance", Bulletin d'Information n' 145, 1982
6. Malhotra H.L , "Design of fire-resisting structures", 1982
7. «Δέκατος όγδοος κύκλος μεταπτυχιακών διαλέξεων Ωπλισμένου σκυροδέματος», Θ.Π. Τάσιος, Α. Μπάκα, Ε. Βιντζηλαίου, Μ. Χρονόπουλος, Π. Πλαϊνης, Κ. Συρμακέζης, Ε. Κατσαραγάκης, Ι. Τσουκαντάς, ΕΜΠ 1982
8. ASTM STP 614: Fire standards and safety
9. ASTM STP 685: Design of buildings for fire safety
10. Vayas.I. (e.d): The fire protection of steel structures, 1995. Klidarithmos publ
11. Pintea.D., Vayas.I., Ocheana.f.: The design of steel and composite steel-concrete structures exposed to fire, first European conference on steel structures. Eurosteel 95, Α. Kounadis (e.d.), Balkema 1995, 311-316
12. Lawson, R.M, Newman, G.M.: Fire resistant design of steel structures, a handbook to BS 5950: Part 8, the steel construction institute, 1990
13. Πυροπροστασία και πυρασφάλεια για τις κατασκευές από Ω.Σ [σημειώσεις Ε.Μ.Π], Θ. Τάσιος, Ι. Σιγάλας, Κ. Τρέζος, Ι. Τσουκαντάς
14. ACI, Special publication 27, "Designing for effects of creep, shrinkage, temperature of concrete structures", 1971
15. ACI, "Guide for determining the fire Endurance of concrete Elements", 1981
16. Concrete society, Technical Report No 15: "Assessment of fire damaged concrete structures and repair of gunite"
17. "Design and detailing of concrete structures for fire resistance", Guidance by the joint committee of the institute of structural Engineers, London, April, 1978
18. "Fire safety of concrete structures", ACI, SP. 80, 1983
19. "A conceptual approach towards a probability based design-guide on structural fire-safety", Workshop Report, CIB W14, January 1983
20. Schneider U., "Verhalten Von Beton bei hohen Temperaturen", Heft 337, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 1982
21. Normenausschuss-Bau, "Entwurf eines Model Codes: Baulicher Brandschutz", 2. Fassung, Berlin, 1979
22. Kordina. M.S., Schneider U., Haksever A., Klingsch W, "Zur Berechnung von Stahlbeton Konstruktionen im Brand fall", Sonderforschungsbereich 148, TU Braunschweig, 1975

23. Mayer-Ottens C., "Zur Frage der Abplatzungen an Beton-bauteilen aus Normalbeton bei Brand beanspruchung", Braunschweig, 1972
24. DIN 4102 Teil 4, Brandartigen Verhalten von Baustoffen und Bauteilen, Zusammenstellung und Anwendung Klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, Berlin, 1981
25. Kordina K., Klingsch W., "Tragverhalten brandbeanspruchter Stahlbetonstützen", IABSE, vol.16, Quebec, 1974
26. Bautechnischer Brandschutz im Stahlbeton U. Spannbeton-bau Schriftenreihe der Bauforschung 26, DDR-Berlin 1973
27. Kordina K., Ehm H., v. Postel R. "Erwärmungsvorgänge an balkenartigen Stahlbeton bauteilen unter Brandbeanspruchung": Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 230, 1975
28. Seekamp, Backer, Stanke: "Brandversuche an Stahlbeton-decken" Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 197
29. European Committee for Standardisation (CEN), ENV 1993-1-2: Draft Eurocode 3: Design of steel structures, part 1.2: General rules-Structural fire design, November, 2000
31. British Standards Institution
BS 5950: Structural use of steelwork in building, part 8: Code of practice for fire resistant design
BSI, 1990
30. Deutsches Institut für Normung (DIN), DIN 4102 fire behaviour of building materials and building components Berlin, March 1981
31. International code Council (ICC)
International Building code
Usa, March, 2000
32. The steel construction Institute (SCI),
Structural Fire Design to EC3&EC4, and comparison with BS5950
Ascot, 1996
33. The Steel Construction Institute (SCI), Fire Resistant design of steel Structures - A handbook to BS5950: Part 8 Ascot, 1990
34. The Steel Construction Institute (SCI),
connections Ascot, 1990
35. The Steel Construction Institute (SCI),
Building Design using cold Formed Steel sections: Fire protection Ascot, 1993
36. The Steel Construction Institute (SCI),
Structural Fire Design: Off-site Applied Thin Film Intumescent Coatings, London, 1996
37. The Steel Construction Institute (SCI),
Fire Safe Design: A new approach to multi-storey steel framed buildings
Ascot, 2000
38. Συμπεριφορά σιδηρών δομικών έργων σε ψηλές θερμοκρασίες (σημειώσεις κ.Γ. Ιωαννίδη)
39. Centre Technique Industriel de la Construction Metalique (CTICM),
Demonstration of real fire tests in car parks and high buildings,
September 1999
40. PROFILARBED-Research,
Competitive Steel Buildings Through Natural Fire Safety Concept: Part1 (Main text), March, 1999

41. VTT Technical Research Centre of Finland,
ECSC STEEL RTD PROGRAMME: Risk –based Fire Resistance
Requirements: Annual report 2003
42. Centre Technique Industriel de la Construction Metallique (CTICM),
Calculation Rules of Lightweight Steel Sections in fire situation
including natural fires, March, 2002
43. American society of Civil Engineers (ASCE STANDARD), Standard
Calculation Methods for Structural Fire Protection, USA, 2003
44. Ιωάννης Κ. Βάγιας, Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο
Σκυρόδεμα, Κλειδάριθμος, 2001.