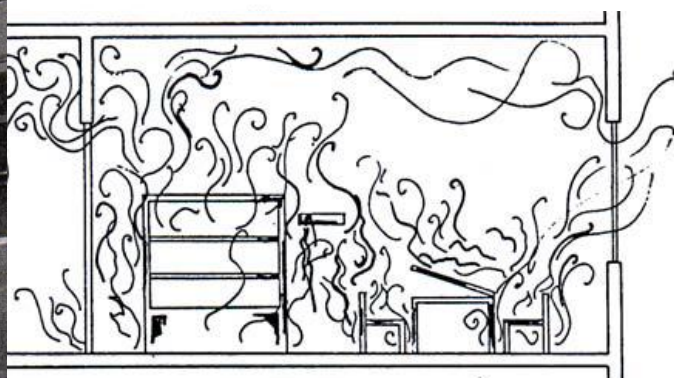




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΜΣ «ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΑ ΕΡΓΑ»

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΥΡΟΠΛΗΚΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ : ΜΑΤΘΑΙΟΥ ΑΓΓΕΛΙΚΗ



Ακαδημ. Έτος 2020-21

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ Κυριαζόπουλος Αντώνης

Τίτλος
Διπλωματικής Εργασίας:

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΥΡΟΠΛΗΚΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕΘΩΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:



Αντώνιος Κυριαζόπουλος

Καθηγητής

Επιβλέπων

Κώστας Δημάκος

Καθηγητής

Μέλος

Κώστας Ρεπαπής

Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέλος

Ιούνιος 2021, ΑΙΓΑΛΕΩ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ματθαίου Αγγελική του Ταξιάρχη φοιτήτρια του ΠΜΣ «Δομοστατικά Έργα» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΠΑ.Δ.Α., πριν αναλάβω την εκπόνηση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Μ.Δ.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Σπουδών, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Μ.Δ.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Μ.Δ.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού εξαμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Η Δηλούσα

Ημερομηνία

Ματθαίου
Αγγελική

15-06-2021



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΥΣΗΣ

- 1.1.1 Ένταση πυρκαγιάς στο σ' ένα διαμέρισμα (Θεωρία L. NILSON – P. THOMAS)
- 1.1.2 Ανάπτυξη θερμοκρασιών στο χώρο κατά την πυρκαγιά.
- 1.1.3 Ανάπτυξη των θερμοκρασιών στα δομικά στοιχεία και η αντοχή τους σε πυρκαγιά κατά ISO P834 και KORDINA
 - 1.1.3.1. ΚΑΜΠΥΛΗ ΧΡΟΝΟΥ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ISO P834
 - 1.1.3.2 ΚΑΤΑ KORDINA
- 1.1.4 Χάλυβας
 - 1.1.4.1 Κατά τη μέθοδο BESSEMER
 - 1.1.4.2 Κατά τη μέθοδο SIEMENS- MARTIN
- 1.1.5 Μορφοποίηση του χάλυβα
 - 1.1.5.1 Θερμική επεξεργασία του χάλυβα.
 - 1.1.5.2 Επεξεργασία του χάλυβα εν ψυχρώ

1.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΩΤΙΑΣ

- 1.2.1 Διάβρωση του χάλυβα
- 1.2.2 Προστατευτικά μέτρα κατά της διάβρωσης του χάλυβα.
- 1.2.3 Συμπεριφορά δομικών στοιχείων από χάλυβα σε συνθήκες φωτιάς.
- 1.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το χρονικό διάστημα πυραντίστασης των χαλύβδινων κατασκευών.
- 1.2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της θερμότητας
- 1.2.6 Ιδιότητες αντοχής και παραμόρφωσης (σύμφωνα με Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.3.2)
- 1.2.7 Συντελεστής θερμικής διαστολής (Σύμφωνα με Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.3.3)
- 1.2.8 Ειδική θερμότητα
- 1.2.9 Θερμοαγωγιμότητα

1.3 ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3

1.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ (Σύμφωνα με Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.2)

- 1.4.1 Απαιτήσεις λειτουργικότητας
- 1.4.2 Δράσεις
- 1.4.3 Τιμές σχεδιασμού των ιδιοτήτων του υλικού
- 1.4.4 Απλά μοντέλα υπολογισμού
- 1.4.5 Ταξινόμηση των διατομών (Ευρωκώδικας 3 – Μέρος 1-2 παρ.4.2.2)
- 1.4.6 Εφελκόμενα μέλη (Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.4.2.3, 4.2.3.1)
- 1.4.7 Δοκοί κατηγορίας 1 διατομών 1 και 2
- 1.4.8 Κρίσιμη θερμοκρασία
- 1.4.9 Σε αμφιέρεστη δοκό που καταπονείται από τα εξής αξονικά φορτία
- 1.4.10 Παράδειγμα καμπτόμενου στοιχείου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

- 2.1.1 Εξαερισμός
- 2.1.2 Πυραντίσταση φέρουσας κατασκευής
- 2.1.3 Ερμηνεία του διαγράμματος ανάπτυξης θερμοκρασίας
- 2.1.4 Επιφανειακή εξάπλωση φλόγας

2.2 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 1

- 2.2.1 Σκοπός του ENV 1991-2-2. Δράσεις στις κατασκευές που εκτίθενται σε συνθήκες φωτιάς.
- 2.2.2 Βασικές έννοιες –ορισμοί
- 2.2.3 Συνθήκες σχεδιασμού φωτιάς (άρθρο 3, ENV 1991-2.2)
- 2.2.4 Θερμικές Δράσεις Γενικές διατάξεις (άρθρο 4, ENV 1991-2.2).
- 2.2.5 Ονομαστικές καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου (§4.2 του Ευρωκώδικα 1)
- 2.2.6 Γενικά
- 2.2.7 Παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας- χρόνου (παράρτημα Β του ENV 1991-2.2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

- 3.1 **ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ**
- 3.2. **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ)**
 - 3.2.1 Σκυρόδεμα
 - 3.2.2 Χάλυβας
 - 3.2.3 Τοιχοποιία
 - 3.2.4 Χάλυβας προέντασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

- 4.1 **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ**
 - 4.1.1 Οι βλάβες που υφίστανται ο χάλυβας και το σκυρόδεμα υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών ως δομικά στοιχεία Ο.Σ. κατασκευής
 - 4.1.2 Υποστυλώματα
 - 4.1.3 Συμπεριφορά δοκών
 - 4.1.4 Συμπεριφορά πλακών
- 4.2 **ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ , ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ**
- 4.3 **ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ – ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ**
- 4.4 **ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**
- 4.5. **ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ**
- 4.6 **ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ**
 - 4.1.1 Πείραμα Α (Κ.Γ.ΤΡΕΖΟΣ , Δ.Θ.ΣΑΓΙΑΣ ΕΜΠ 2006
 - 4.1.2 Πείραμα Β (1994)
 - 4.1.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

- 5. **ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**
 - 5.1 **ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**
 - 5.2 **ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**
 - 5.3. **ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ - ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

- 6.Α. **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ 75, ΑΘΗΝΑ**
 - 6.Α.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ
 - 6.Α.1.1. Περιγραφή της πυρκαγιάς
 - 6.Α.1.2. Ενέργειες μετά το συμβάν – Συλλέγοντα στοιχεία
 - 6.Α.2. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ
 - 6.Α.2.1 Εκτίμηση αναπτυχθεισών θερμοκρασιών

- 6.A.2.2 Αποτίμηση κατάστασης υλικών
- 6.A.2.3 Κατανομή βλαβών στον Φ.Ο.
- 6.A.2.4 Μορφολογία βλαβών
- 6.A.3. ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ
 - 6.A.3.1 Κριτήρια Συμμόρφωσης
 - 6.A.3.1.1 Αποκατάσταση πλακών και δοκών
 - 6.A.3.2 Αποκατάσταση υποστυλωμάτων
- 6.A.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
- 6.B. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΛΑΜΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΗΝ BANGALORE CITY ΤΗΣ ΙΝΔΙΑΣ
 - 6.B.1. ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΟΥ ΔΙΕΞΗΧΘΗΣΑΝ
 - 6.B.1.1 Παρατηρήσεις φυσικής εξέτασης
 - 6.B.1.2 Παρατηρήσεις μη καταστροφικών ελέγχων
 - 6.B.1.3 παρατηρήσεις δοκιμών φόρτισης σε τυπικές δοκούς και πλάκες .
 - 6.B.2 ΕΠΙΣΚΕΥΗ
 - 6.B.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

- 7. ΓΕΝΙΚΑ (ΟΔΗΓΟΣ)
 - 7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ
 - 7.2 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΩΝ
 - 7.3 ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΟΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (ΠΑΘΗΤΙΚΗΣ, ΔΟΜΗΤΙΚΗΣ) ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΙΚΡΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ
 - 7.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΟΜΗΜΑΤΩΝ
 - 7.4.1 Παθητική πυροπροστασία
 - 7.4.2 Ενεργητική πυροπροστασία
 - 7.5 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ
 - 7.5.1. Πυρανίχνευση
 - 7.6 ΚΑΤΑΣΤΑΛΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ
 - 7.6.1 Μέθοδοι κατάσβεσης πυρκαγιάς
 - 7.6.2 ΠΥΡΟΦΡΑΓΜΟΙ
 - 7.7 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ (Άρθρο 1 και 5-13 Π.Δ. 71/1988)
 - 7.8 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

- 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ασφάλεια και η ανθεκτικότητα της κατασκευής έναντι των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς είναι σημαντική για τις μελέτες έργων από Ο.Σ. Θα εξετάσουμε πως η επίδραση της πυρκαγιάς επηρεάζει την συμπεριφορά των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και τη συνάφεια σκυροδέματος οπλισμού. Παρουσιάζεται η αντοχή των δομικών υλικών ενώ στη συνέχεια αναλύεται η επίδραση της θερμότητας στα δομικά στοιχεία της κατασκευής. Γίνεται αναφορά στις συνήθεις βλάβες που παρουσιάζονται και προτείνονται μέθοδοι αποκατάστασης – επισκευής και ενίσχυσης αυτών. Για συνήθεις δράσεις όπως ο σεισμό υπάρχουν μέθοδοι σχεδιασμού, για την δράση της πυρκαγιάς δε διατίθενται μέθοδοι υπολογισμού. Η διεθνής βιβλιογραφία είναι πτωχή, ενώ σχετικά κείμενα κανονισμών ή συστάσεων δεν διατίθενται. Τα τελευταία χρόνια με την χρήση πηγών ενέργειας (φυσικό αέριο) που εμφανίζουν υψηλό βαθμό επικινδυνότητας ως προς την εκδήλωση φωτιάς, ο μηχανικός καλείται να σχεδιάσει πυράντοχες κατασκευές γνωρίζοντας ότι κανένα υλικό δεν παρουσιάζει ιδανική ιδιότητα. Έτσι προσδίδει στη κατασκευή τον απαιτούμενο βαθμό πυρασφάλειας (ενεργητική και παθητική πυροπροστασία). Με τη βοήθεια του παραδείγματος αποκατάστασης κτιρίου όπου εφαρμόζονται μέθοδοι επισκευής σε βλαμμένο κτίριο από πυρκαγιά, παίρνουμε συμπεράσματα για την συμπεριφορά των στοιχείων της κατασκευής και για τα μέτρα πρόληψης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλήγουμε ότι, ο προσεκτικός σχεδιασμός αυξάνει την ανθεκτικότητα των στοιχείων και συνεπώς το σύνολο της κατασκευής, ενώ διευκολύνει την ενίσχυση και αποκατάσταση του κτιρίου που έχει υποστεί πυρκαγιά.

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΥΣΗΣ

Ως Φωτιά γενικά ορίζεται η ταυτόχρονη ανάπτυξη θερμοκρασίας και φλόγας. Ο όρος πυρκαγιά είναι σύνθετος και προέρχεται από τις λέξεις πυρ και καίω και σημαίνει, την από φωτιά καταστροφή (καύση). Μολονότι η φωτιά αποτελεί ουσιαστικό συντελεστή της τεχνολογικής και εκπολιτιστικής ανάπτυξης του ανθρώπου συχνά έχει και δυσάρεστες επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον του, τις οποίες πρέπει να αποφύγει ή να ελαχιστοποιήσει. Αυτό επιτυγχάνεται τόσο με τον κατάλληλο σχεδιασμό (ενταγμένο σε ένα κατάλληλο κανονιστικό πλαίσιο), όσο και με την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων και μέτρων πυροπροστασίας.

Είναι γνωστό πως η φωτιά μετά την ανακάλυψη της, έγινε ο καλύτερος φίλος του ανθρώπου. Τον βοήθησε παρά πολύ στην εξέλιξη του και υπήρξε σταθμός σ' αυτήν. Μπορεί όμως να πάρει και εχθρική μορφή και τότε γίνεται ο χειρότερος εχθρός του.

Το σύνολο της ζωικής και φυτικής ύπαρξης βασίζεται σε χημικές δραστηριότητες του άνθρακα, τις οργανικές ουσίες. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν την βάση κάθε μεταβολισμού, μετασχηματισμού και ανακατάταξης της ζωντανής ύλης. Οι οργανικές ύλες αποτελούνται από άνθρακα (C) , υδρογόνο (H), άζωτο (N), οξυγόνο (O) ή μερικά από αυτά. Χαρακτηριστικό των οργανικών υλών είναι:

- Όλες είναι καύσιμες
- Τις συναντάμε καθημερινά και στις τρεις μορφές της ύλης α) στερεά όπως είναι το ξύλο, το πανί, το χαρτί και το πλαστικό (που είναι πολυκαιρισμένες ομάδες όπως η H₂ κ.λπ. β) υγρά (υδρογονάνθρακες αιθέρες, αλκοόλες κ.λπ. γ) αέρια (υδρογονάνθρακες κ.λπ.)

Για να ξεκινήσει η καύση πρέπει να προκληθεί κλασμάτωση των συστατικών που μπορούν να αεριοποιηθούν με την βοήθεια θερμότητας. Η αεριοποίηση επιτρέπει την οξειδωση και η καύση αποδίδει θερμότητα, που ένα μέρος αυτής επιστρέφει στο σύστημα ώστε το φαινόμενο να συνεχιστεί.

Μετά την καύση των στερεών που συνοδεύεται από φλόγες και υψηλές ταχύτητες, απομένει διάπυρος άνθρακας και τέφρα.

Στα μέταλλα η καύση είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο κι αυτό γιατί του λείπουν τα πτητικά συστατικά. Οι θερμοκρασίες δε που αναπτύσσονται σ'αυτά είναι πάρα πολύ υψηλές ανάλογα μ' αυτές που εμφανίζονται σε άλλες περιπτώσεις. Πολλά μέταλλα όταν καίγονται δίνουν θερμοκρασίες των 2.500°C (π.χ. νάτριο, μαγνήσιο αργίλιο κ.λπ.). Τα μέσα που χρειάζονται για την κατάσβεση τους πρέπει να αντέχουν και ν' αντιδρούν σ' αυτές τις θερμοκρασίες.

Στα υγρά σώματα που η ενέργεια των μορίων τους είναι αυξημένη και οι δυνάμεις συνοχής τους μικρότερη, οι παλμικές κινήσεις τους έχουν μεγαλύτερο εύρος και τα μόρια τους διολισθαίνουν ευκολότερα. *Στα υγρά καύσιμα* η ανάφλεξη είναι πολύ πιο απλή.

Στα αέρια σώματα τα μόρια τους απομακρύνονται το ένα από το άλλο, βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και δημιουργούν κρούσεις μεταξύ τους και μεταξύ των τοιχωμάτων του χώρου όπου και ευρίσκονται. Η διεύθυνση άλλων μορίων ανάμεσα τους είναι πιο εύκολη και η έναρξη της καύσης ευκολότερη.

♦ Η ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Χρησιμοποιούνται δύο τρόποι:

- ❖ Ο Ευρωπαϊκός
 - Α : Είναι τα καύσιμα εκείνα που αφήνουν υπολείμματα άνθρακα (ξύλο, χαρτί κ.λπ.)
 - Β : Υγρά καύσιμα
 - Γ : Αέρια καύση
 - Δ: Μέταλλα
 - Ε : Όλες οι περιπτώσεις (όπου υπάρχει υλικό που βρίσκεται υπό ηλεκτρική τάση)
- ❖ Ο Αγγλοσαξονικός
 - Όπου οι κατηγορίες Β και Γ ενσωματώνονται σε μια την Β.

Είχαμε προαναφέρει πως για να γίνει ανάφλεξη ενός αντικειμένου πρέπει να θερμανθεί τόσο ώστε να παραχθούν αναφλέξιμα αέρια από εξάτμιση ή από χημική διάσπαση (πυρόλυση υγρών και στερεών σωμάτων). Σ'ένα περιορισμένο χώρο η συγκέντρωση των προϊόντων της καύσης (αερίων και καπνού) προκαλεί υπερθέρμανση των αντικειμένων αλλά και θερμική ακτινοβολία. Αυτή τη στιγμή την χαρακτηρίζουμε ως *καθολική ανάφλεξη*. Την χρονική δε στιγμή που γίνεται η καθολική ανάφλεξη, μέχρι την στιγμή μέγιστης θερμοκρασίας έχουμε την *πλήρως ανεπτυγμένη πυρκαγιά*.

Η διαφυγή τότε είναι αδύνατη η εξάντληση των καυστικών υλικών του χώρου αρχίζει και τότε έχουμε την περίοδο απόσβεσης της πυρκαγιάς. Κατά την περίοδο απόσβεσης οι θερμοκρασίες είναι τόσο υψηλές που υπάρχει κίνδυνος μετάδοσης. Κατά την ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς συμβαίνουν πολλές αντιδράσεις μέσα στο χώρο και έξω απ' αυτό. Αν και έχουν γίνει πολλές πρόοδοι, η πλήρης περιγραφή της εξέλιξης της πυρκαγιάς δεν είναι δυνατή.

♦ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Στις πυρκαγιές δομικών κατασκευών διακρίνονται οι τρεις ακόλουθες περιπτώσεις εξέλιξης μίας πυρκαγιάς:

- ένα θεωρούμενο σύστημα (κτίριο) να γίνει «κόμπος φωτιάς» μεταφέροντας τη φωτιά σε άλλο σύστημα (κτίριο),

- το θεωρούμενο κτίριο να αποτελέσει «δέκτη φωτιάς», λόγω πυρκαγιάς σε άλλες κατασκευές και

- να προκληθεί πυρκαγιά μέσα σε κτίριο και να περιοριστεί μέσα σε αυτό (χωρίς αυτό να γίνει «πομπός φωτιάς» (εάν υπάρξει τέτοια εξέλιξη τότε η εξάπλωση της πυρκαγιάς εμπίπτει σε εκείνη της 1ης περίπτωσης.) Καθώς η δραστηριότητα των ανθρώπων, εκδηλώνεται και αναπτύσσεται τόσο εντός των κτιρίων όσο και εκτός αυτού, η πυρκαγιά σε ένα κτίριο μπορεί να προσβάλει και τον άκτιστο χώρο. Αλλά και αντίστροφα είναι δυνατή η μετάβαση πυρκαγιάς από μη δομημένο χώρο (π.χ. δάσος) σε δομημένο χώρο. Στην περίπτωση, ειδικά, μετάδοσης πυρκαγιάς μεταξύ κτιρίων διακρίνουμε μετάδοση πυρκαγιάς:

α) από υψηλότερο κτίριο σε χαμηλότερο

β) μεταξύ ισούψων κτιρίων

γ) από χαμηλότερο κτίριο σε υψηλότερο που δεν είναι σε επαφή.

Στις δύο πρώτες περιπτώσεις η εξάπλωση της πυρκαγιάς γίνεται κυρίως οριζόντια με την ακτινοβολία, και ενώ στην τρίτη περίπτωση, παράλληλα με την ακτινοβολία αυτή. Μεγάλη είναι η συνεισφορά της επιστέγασης του χαμηλού κτιρίου.

◆ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Ειδικά, όσο αφορά στον πληθυσμό ενός κτιρίου, οι επιπτώσεις μίας πυρκαγιάς μπορεί να είναι άμεσες λόγω επαφής ενώ υπάρχει και σοβαρός κίνδυνος ανάφλεξης των ρούχων. Παράλληλα, η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί αφυδάτωση (εξάτμιση του νερού που είναι κύριο στοιχείο του ανθρώπινου σώματος) και εκτεταμένα εγκαύματα, που μπορεί να οδηγήσουν στην απώλεια ανθρώπινης ζωής. Επίσης, επειδή κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς καταναλώνεται οξυγόνο, μπορεί να προκληθεί στον άνθρωπο μία αίσθηση πνιγμού και συμπτώματα ασφυξίας, τα οποία δημιουργούν προβλήματα στη σωστή εκτίμηση μιας επικίνδυνης κατάστασης και μειώνουν την ικανότητα λήψης σωστών αποφάσεων, συχνά με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό του ανθρώπου στον επικίνδυνο χώρο. Με την εξέλιξη της πυρκαγιάς και εφόσον οι θερμοκρασίες διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα αρχίζουν να υποβαθμίζονται ή καταστρέφονται τα φέροντα στοιχεία των κτιρίων και μπορεί να προκληθούν καταρρεύσεις δομικών στοιχείων με σοβαρές συνέπειες για τους ανθρώπους που βρίσκονται εντός αυτού. Ενώ σε περίπτωση έκρηξης, το ωστικό κύμα και τα θραύσματα προξενούν τραυματισμούς.

Σημαντικές και ίσως καθοριστικές για τον άνθρωπο είναι οι επιπτώσεις από την επίδραση του καπνού και των καπναερίων, οι οποίες μπορεί να οφείλονται:

α) στην εναπόθεση αιθάλης στους πνεύμονες,

β) στην παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα, η εισπνοή του οποίου ακόμη και για λίγα λεπτά της ώρας είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη και μπορεί να προκαλέσει ανθρώπινες απώλειες,
γ) και στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, επειδή εκτοπίζει το οξυγόνο και μειώνει την ποσοστιαία συμμετοχή του στο μίγμα της αναπνοής, κτλ.

Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί, ότι οι περισσότερες ανθρώπινες απώλειες οφείλονται σε εισπνοή τοξικών αναθυμιάσεων και καπνού και όχι σε εγκαύματα από επαφή με τη φωτιά.

Όσο αφορά στις υλικές ζημιές εξαιτίας μιας πυρκαγιάς, το ολικό κόστος μπορεί να υπολογισθεί μόνο όταν προσδιορισθούν όλες οι απώλειες λόγω φωτιάς αλλά και οι δαπάνες για πρόληψη ή και καταστολή της (αποζημιώσεις, πυρασφαλίσεις ενδεχομένως, κτλ.). Για την «κοστολόγηση» πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι οι απώλειες συνθέτονται από άμεσες και έμμεσες ζημιές και ότι οι δαπάνες διαμορφώνονται από τα έξοδα διατήρησης ενός ικανοποιητικού επίπεδου ελέγχου της φωτιάς αλλά και το κόστος επανάκτησης των απωλειών.

Πιο συγκεκριμένα, το κόστος μίας πυρκαγιάς πρέπει να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

- Καταστροφές υλικών αγαθών (εξοπλισμού).
- Καταστροφή των φερόντων στοιχείων (υποστυλώματα, δοκοί) λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές αστοχίες ή ολική κατάρρευση του κτιρίου.
- Καταστροφές από μετάδοση ή επέκταση της πυρκαγιάς σε γειτονικούς χώρους και ενδεχόμενες αποζημιώσεις.
- Έμμεσες ζημιές από τη μερική ή ολική, προσωρινή ή οριστική διακοπή χρήσης της κατασκευής.
- Κόστος ασφάλειας έναντι φωτιάς.
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας ενεργητικών μέτρων πυροπροστασίας.

1.1.1 Ένταση πυρκαγιάς στο σ' ένα διαμέρισμα **(Θεωρία L. NILSON – P. THOMAS)**

Τα χαρακτηριστικά μιας φωτιάς σε κλειστό χώρο δεν παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις από αυτά μιας φωτιάς σε ανοιχτό χώρο κατά τα πρώτα στάδια της εκδήλωσης της, εντούτοις επέρχονται σημαντικές αλλαγές στο φαινόμενο, καθώς περνάμε από το αρχικό στάδιο ανάφλεξης στη φάση ανάπτυξης. Τα θερμά προϊόντα της καύσης (καυσαέρια και φλεγόμενα σωματίδια) συγκεντρώνονται κάτω από την οροφή του δομήματος, είτε αναφλέγοντας καύσιμα υλικά της οροφής, είτε ακτινοβολώντας θερμότητα προς τα υποκείμενα μη αναφλεγέντα υλικά τα οποία και θερμαίνονται. Στη

συνεχεία, όταν αυτά θερμανθούν αρκετά, αναφλέγονται απότομα όλα μαζί με αποτέλεσμα να έχουμε την λεγόμενη καθολική ανάφλεξη .

Σ' ένα διαμέρισμα κατά το στάδιο της πλήρως ανεπτυγμένης πυρκαγιάς, από το κατώτερο μέρος του ανοίγματος εισέρχεται αέρας από το ύπαιθρο, ενώ από το ανώτερο μέρος εξέρχονται τα καυσαέρια με τους καπνούς. (Αν τα σωματίδια του καπνού είναι πυρακτωμένα βλέπουμε φλόγες). Όσο μεγαλύτερο είναι το άνοιγμα, τόσο περισσότερος αέρας προσάγεται και η ποσότητα του καιόμενου υλικού ανά μονάδα χρόνου είναι μεγαλύτερη. Η δε ένταση είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος και την γεωμετρική μορφή του. Έτσι έχουμε δυο κατηγορίες πυρκαγιάς, εκείνες που η ένταση εξαρτάται από την παροχή αέρος (VENTILATION CONTROLLED) και εκείνες που εξαρτώνται από το θερμικό φορτίο (FUEL LOAD CONTROLLED).

1.1.2 Ανάπτυξη θερμοκρασιών στο χώρο κατά την πυρκαγιά.

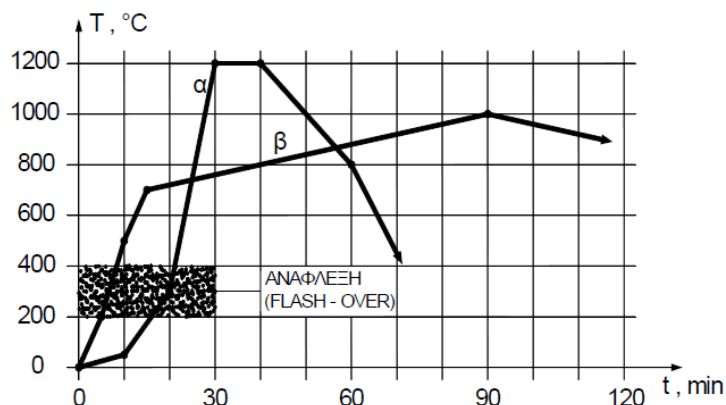
Κατά την πυρκαγιά κλειστού χώρου, ένα μέρος της θερμότητας που παράγεται απορροφάται από τα τοιχώματα , ένα μέρος απάγεται από τα καυσαέρια κι ένα μέρος διαφεύγει με ακτινοβολία από τα ανοίγματα. Από την χημική ενέργεια υπάρχει απώλεια ενός μέρους, γιατί δεν γίνεται πλήρης καύση και φεύγουν άκαυστα αέρια και στερεά σωματίδια. Ένα μέρος δε αυτών καίγεται αφού παρασυρθεί έξω από το χώρο.

Η διάρκεια της πλήρως αναπτυγμένης πυρκαγιάς εξαρτάται από την διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου και από τη διαθέσιμη ποσότητα καύσιμης ύλης. Αν ο χώρος παραμείνει κλειστός, καθώς μειώνεται το οξυγόνο επιβραδύνεται και ο ρυθμός καύσης, η οποία μετατρέπεται σε ατελή καύση, σχηματίζοντας έτσι προϊόντα πολύ τοξικά και επικίνδυνα.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της φωτιάς σε κλειστό χώρο είναι η αύξηση της πίεσης λόγω των θερμών καπναερίων και η δημιουργία υπερπίεσης σε σχέση με τον εξωτερικό χώρο, κυρίως στα ανώτερα στρώματα του κτιρίου. Αυτό οδηγεί σε ροή θερμού αέρα, που διαφεύγει από τα ανοίγματα, χαραμάδες, κτλ., ενώ ταυτόχρονα κρύος αέρας από το περιβάλλον εισχωρεί στο κτίριο από διάφορα ανοίγματα «προσφέροντας» περισσότερο οξυγόνο για την καύση.

Πρωταρχικό βήμα στην διαδικασία αποτίμησης μιας κατασκευής που έχει υποστεί πυρκαγιά αποτελεί η εκτίμηση των σταδίων και των μέγιστων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται μέσα στη μάζα των φέροντων στοιχείων, όσο και η διάρκεια της πυρκαγιάς. Αυτό προϋποθέτει ότι έχει προηγηθεί η εκτίμηση της θερμοκρασίας μέσα στο πυροδιαμέρισμα. Κατά την πυρκαγιά, η εξέλιξη των μέγιστων θερμοκρασιών αέρος συναρτηθεί του χρόνου μέσα σε δεδομένο πυροδιαμέρισμα παριστάνεται μέσω της καμπύλης $T-t$ ($T=T_{αερ}$) και

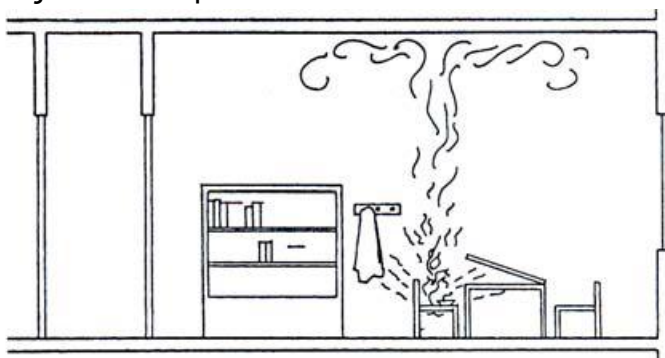
εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των καύσιμων υλικών του πυροδιαμερίσματος Σχ.1.1 και αποτελείται από 4 στάδια:



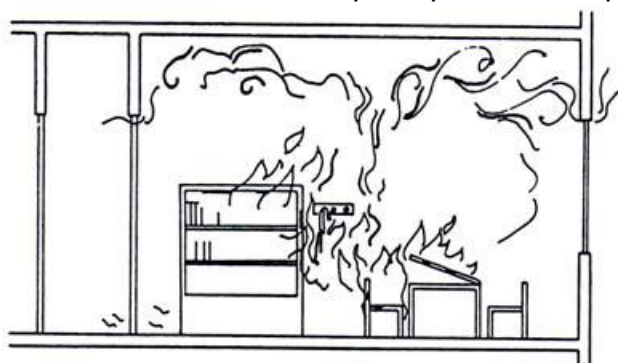
Σχήμα 1.1 Σχηματοποιημένες και ενδεικτικές τυπικές καμπύλες T-t :

- α) Πολλά ανοίγματα, αερο-ελεγχόμενη πυρκαγιά, καύση < 45 min, απόσβεση ~ 10 °C / min,
β) Λίγα ανοίγματα, καυσιμο-ελεγχόμενη πυρκαγιά, καύση > 90 min, απόσβεση ~ 5 °C / min.

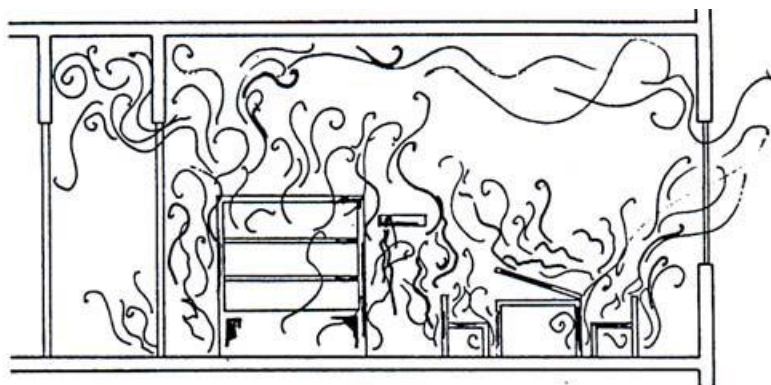
α) **Επώαση:** Μετά την αρχική ανάφλεξη, στρώμα θερμών αερίων σχηματίζεται στην οροφή του κτιρίου (Σχ1.2) . Λήγει με την ανάφλεξη μεγάλου μέρους των καύσιμων υλικών.



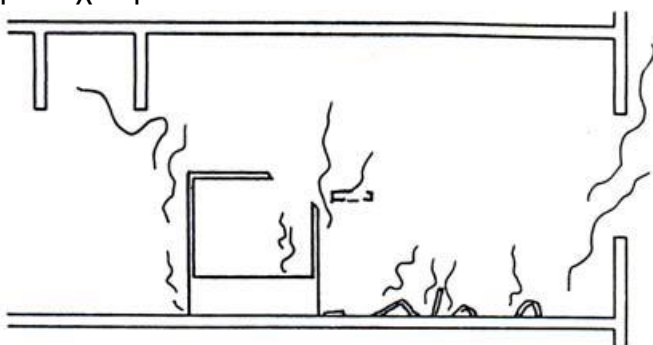
β) **Φούντωμα:** Το συσσωρευμένο στρώμα αερίων στην οροφή προκαλεί την ανάφλεξη της διαθέσιμης καύσιμης ύλης στο πυροδιαμέρισμα. (Σχ. 1.3). Καίγεται το 60% των υλικών, με περίπου σταθερό ρυθμό/ταχύτητα.



γ) **Πλήρης ανάπτυξη:** Όλη η καύσιμη ύλη του πυροδιαμερίσματος καίγεται ενώ οι φλόγες και τα αέρια μεταφέρονται μέσω ανοιγμάτων σε παρακείμενα πυροδιαμερίσματα (Σχ.1.4)



δ) **Απόσβεση:** Η εξάντληση της καύσιμης ύλης συνοδεύεται με την απομάκρυνση πλέον θερμών αερίων (Σχ.1.5) με επίσης σταθερό ρυθμό/ταχύτητα.



Στα πιο αβέβαια στάδια της επώασης και της απόσβεσης, οι φωτιές είναι συνήθως ελεγχόμενες, ενώ στο κύριο στάδιο ανάπτυξης (και της διάδοσης σε άλλους χώρους) οι φωτιές είναι αερο-ελεγχόμενες (με περίπου σταθερή καύση/ απώλεια μάζας των καύσιμων υλικών αναλόγως της εισροής του αέρα/οξυγόνου).

Έτσι για την εκτίμηση των σταδίων και των μέγιστων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς χρησιμοποιούνται :

- α) Την μέθοδο κατά **KORDINA**, η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των μεταβολών της θερμοκρασίας και
- β) την πειραματική καμπύλη υπολογισμού μιας πρότυπης πυρκαγιάς κατά **ISO P834**.

Η πιο σημαντική φάση, από πλευράς επιπτώσεων, τόσο για το ίδιο το κτίριο στο οποίο εκδηλώθηκε η φωτιά, όσο και για τον πληθυσμό του κτιρίου αλλά επίσης και για τα διπλανά κτίρια στα οποία μπορεί να μεταδοθεί η πυρκαγιά, είναι η φάση της πλήρως αναπτυγμένης φωτιάς. Τα φαινόμενα κατά τη φάση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονα. Αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ακτινοβολία, παράγεται μεγάλος όγκος καυσαερίων, ενώ υπάρχει δυσκολία μετακίνησης για διαφυγή ή για επέμβαση. Παράλληλα, εμφανίζονται επιπτώσεις στη δομική ακεραιότητα του κτιρίου, υπάρχει η πιθανότητα εξάπλωσης της φωτιάς σε γειτονικούς χώρους με ανάφλεξη υλικών στην

απρόσβλητη από τη φωτιά πλευρά είτε λόγω υπερβολικής θέρμανσης είτε λόγω ύπαρξης ευθερμαγωγών υλικών, που συνεχίζονται σε διπλανούς χώρους, είτε μέσω διείσδυσης φλογών και μετάδοσης ακτινοβολίας από ανοίγματα ή λόγω καταρρεύσεων διαχωριστικών στοιχείων.

Δυο μελέτες που έγιναν ανεξάρτητα, από τον Σουηδό K. ODEEN (1963) και τους Ιάπωνες K. KAWAGOE και T. SEKINE (1964), διατύπωσαν την σχέση θερμοκρασίας – χρόνου και προσδιόρισαν τη διάρκεια πυρκαγιάς με βάση την ισότητα της παραγόμενης θερμότητας ανά μονάδα χρόνου θερμότητας προς την εξερχόμενη, με τις μορφές που αναφέρθηκαν.

1.1.3 Ανάπτυξη των θερμοκρασιών στα δομικά στοιχεία και η αντοχή τους σε πυρκαγιά κατά ISO P834 και KORDINA

Για την εκτίμηση της αντοχής σε πυρκαγιά των στοιχείων (στύλων, δοκών, πατωμάτων τοίχων) υπάρχει καθυστέρηση θερμοκρασιών. Για διάφορα υλικά τα τελευταία χρόνια έγινε προσπάθεια να βρεθούν να διατυπωθούν μέθοδοι και να συνταχθούν πίνακες ή διαγράμματα υπολογισμού.

Για τον προσδιορισμό αντοχής των δομικών στοιχείων σε πυρκαγιά, γίνεται δοκιμασία σε τυποποιημένες καμίνους, όπου αναπτύσσεται η θερμοκρασία με αυτόματα ρυθμιζόμενους καυστήρες πετρελαίου ή φωταέριου.

1.1.3.1. ΚΑΜΠΥΛΗ ΧΡΟΝΟΥ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ISO P834

Με το πρότυπο **ISO P834** της 150 καθορίστηκε η καμπύλη του σχήματος 1.6 και ο πίνακας θερμοκρασίας συνάρτηση προς το χρόνο

$$\theta - \theta_0 = 345 \log(8t+1) \quad \text{όπου}$$

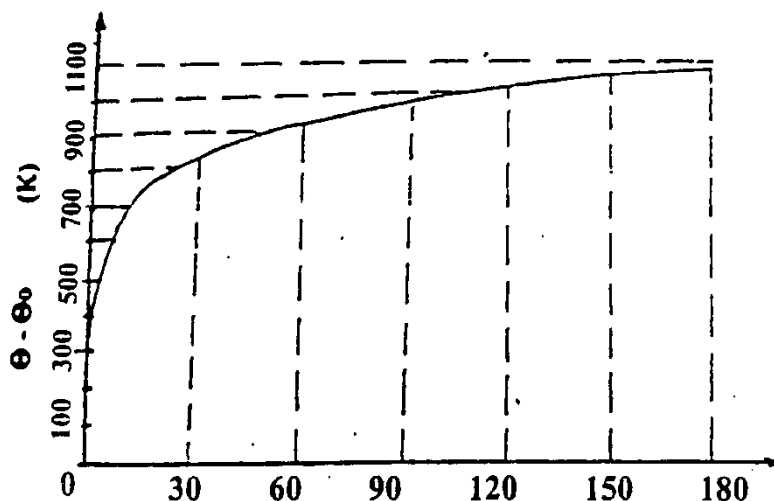
θ = θερμοκρασία χώρου καύσης

θ_0 = θερμοκρασία του δοκιμίου κατά την έναρξη της δοκιμασίας

t = χρόνος σε λεπτά

t min	$\theta - \theta_0$ K
0	0
5	556
10	658
15	719
30	822
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1194

Πίνακας 1



Σχήμα 1.6

Χρόνος t σε min

Την θερμοκρασία πρέπει να δείχνουν θερμομετρικά στοιχεία κρεμασμένα σε απόσταση 30 εκατ. Από την οροφή της καμίνου. Πειραματικά αντοχή δομικού στοιχείου ορίζεται ο χρόνος που το δομικό στοιχείο εκπληρώνει την λειτουργία του, ενώ υποβάλλεται σε θέρμανση στην κάμινο κατά την τυπική καμπύλη.

Ο σχεδιασμός δομικών μελών από Ο.Σ, έναντι πυρκαγιάς βάσει κανονισμών έχει στηριχθεί περισσότερο στην **ISO P834** (Σχ.1.6)

1.1.3.2 ΚΑΤΑ ΚΟΡΔΙΝΑ

Η εξέλιξη της πυρκαγιάς κτιρίων συμβαίνει σε τρία χαρακτηριστικά στάδια ανάλογα προς το ύψος θερμοκρασίας και την διάρκεια: (οι τυπικές καμπύλες T-t παρουσιάζουν 3 στάδια)

- Στο πρώτο στάδιο (**Το Φούντωμα**), που διαρκεί 15-30 λεπτά, η φωτιά εξαπλώνεται και οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν γρήγορα στους 800°C -900 °C
- Στο δεύτερο στάδιο (**Πλήρης ανάπτυξη**), καίγεται ότι μπορεί να καεί. Η διάρκεια εξαρτάται από την ποσότητα των περιεχομένων ή αποθηκευμένων στοιχείων που βρίσκονται στο χώρο. Η θερμοκρασία ανεβαίνει ακόμα ανάλογα προς τα φλεγόμενα αντικείμενα μέχρι 1000°C- 1100 °C
- Στο τρίτο στάδιο (**Απόσβεση**), η πυρκαγιά υποχωρεί και οι θερμοκρασίες πέφτουν γρήγορα.

Η θερμοκρασία στην εστία της φωτιάς εξαρτάται από :

- Την ποσότητα που υπόκεινται σε ανάφλεξη
- Τον καπνό και την εφελκούμενη θερμότητα
- Την ύπαρξη ατμοσφαιρικού αέρος(π.χ στο υπόγειο η πυρκαγιά εκτείνεται μόνο από ρεύμα αέρος)
- Τη διάρκεια της πυρκαγιάς
- Την ειδική ταχύτητα καύσης

Οι τυπικές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε διάφορους χώρους δίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 2 που ακολουθεί.

Κατοικίες, Γραφεία	800 °C έως 900 °C	Αποφλοιώσεις τοιχοποιιών, ισχυρές ρωγμές λόγω θερμικών διαστολών
Αποθήκες με αναφλέξιμα	μέχρι 1000 °C	Όπως από πάνω
Αποθήκες πολύ εύφλεκτων υλικών	1000 °C έως 1200 °C	Συντήξεις και τήξεις υάλων

Πίνακας 2. Θερμοκρασίες πυρκαγιάς και γνωρίσματά τους

1.1.4 Χάλυβας

Όταν μιλάμε για τον χάλυβα εννοούμε όλα τα είδη κραμάτων του σιδήρου, εκτός από το μαντέμι. Κυριότερο στοιχείο των κραμάτων αυτών είναι ο άνθρακας. Ανάλογα με τις απαιτήσεις - χρήσης του χάλυβα, μπορούν να μεταβληθούν κάποιες ιδιότητες κατά την παράγωγη του, δια της χημικής συνθέσεως, δια της μεταβολής της κρυσταλλικής κατάστασης, δια της θερμικής κατάστασης κ.λπ.

Ο χάλυβας λαμβάνεται από το κοινό χυτοσίδηρο (χαλυβοποίηση του χυτοσίδηρου) με:

- Τη μέθοδο BESSEMER
- Τη μέθοδο SIEMENS - MARTIN
- Τη μέθοδο ηλεκτρικής καμίνου

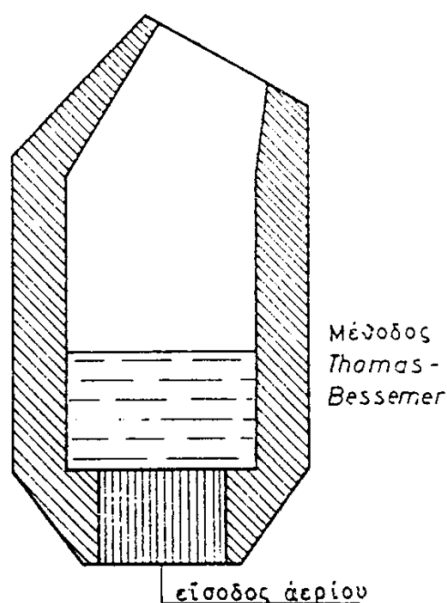
1.1.4.1 Κατά τη μέθοδο BESSEMER

Ο κοινός χυτοσίδηρος φέρεται εντός μετατροπείας από τον πυθμένα του οποίου εμφυσάτε θερμός αέρας (η αέρας + οξυγόνο) με τη βοήθεια ακροφυσίων.

Ο αέρας αυτός οξειδώνει (κατάκαίει) τις ακαθαρσίες (c, si, p) και έτσι λαμβάνεται χυτοσίδηρος σχεδόν απαλλαγμένος από άνθρακα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα του χυτοσίδηρου σε P, επενδύεται και ο μετατροπείας με όξινη η βασική επένδυση.

Για χυτοσίδηρο πτωχό σε P. Η επένδυση είναι όξινη. Για χυτοσίδηρο πλούσιο σε P, η επένδυση είναι βασική (μέθοδος (Thomas).

Η μέθοδος Thomas- BESSEMER φαίνεται στο σχήμα 1.8



Σχήμα 1.8

Μετατροπέας

Thomas BESSEMER

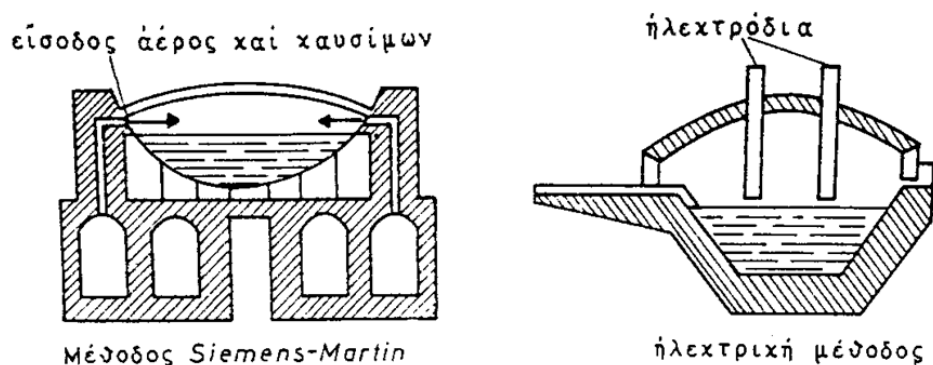
1.1.4.2 Κατά τη μέθοδο SIEMENS- MARTIN

Είναι δυνατή η παράγωγή χάλυβα με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την τροφοδοσία της καμίνου.

Χρησιμοποιούνται αβαθείς κάμινοι με μεγάλη επιφάνεια αντιδράσεως της επένδυσης, η οποία μπορεί να είναι βασική ή όξινη. Η θερμοκρασία στην κάμινο φτάνει τους 1500- 1700 °C.

Η υψηλή θερμοκρασία και η μεγάλη επιφάνεια της επένδυσης της Καμίνου, επιτρέπουν την προγραμματισμένη επίδραση των Οξειδωτικών αντιδράσεων.

Η μέθοδος SIEMENS- MARTIN είναι κατάλληλη για την παράγωγή Οποιουδήποτε χάλυβα και επιτρέπει μια ακριβή σύνθεση των κραμάτων.



Σχήμα 1.9

Στο Σχήμα 1.9 φαίνεται ο μετατροπέας ηλεκτρικής μεθόδου του SIEMENS- MARTIN.

Με τη μέθοδο της ηλεκτρικής καμίνου λαμβάνεται χάλυβας εξαιρετικής ποιότητας. Η θερμότητα παράγεται από ηλεκτρική ενεργεία ή με τον σχηματισμό ηλεκτρικών τόξων μεταξύ ηλεκτροδίων από άνθρακα και του τίγματος ή με καύση κωκ, μέσα σε υψικάμινο, με την βοήθεια ηλεκτρικών αντιστάσεων. Στη δεύτερη περίπτωση προστίθεται τόσο κωκ, όσο χρειάζεται για την ανάγωση του μεταλλεύματος.

1.1.5. Μορφοποίηση του χάλυβα

Γίνεται σε χαλυβουργικές βιομηχανίες με πρώτη υλη τον χάλυβα από τις μεταλλουργικές καμίνους (BESSEMER- SIEMENS- MARTIN, ηλεκτρική κάμινος), σε σχήμα πρισματος, η κόλουρου κώνου (χελώνα).

Η μορφοποίηση του χάλυβα γίνεται:

α. χύτευση- σφυρηλάτηση.

Η μέθοδος της χυτεύσεως και της σφυρηλάτησεως χρησιμοποιούνται για την παράγωση μηχανολογικών και δομικών υλικών (π.χ. χυτοσίδηροι, σωλήνες, καλύμματα φρεατίων, εφίδρωνα λάφυρων κ.λπ.)

β. Κυλίνδρωση

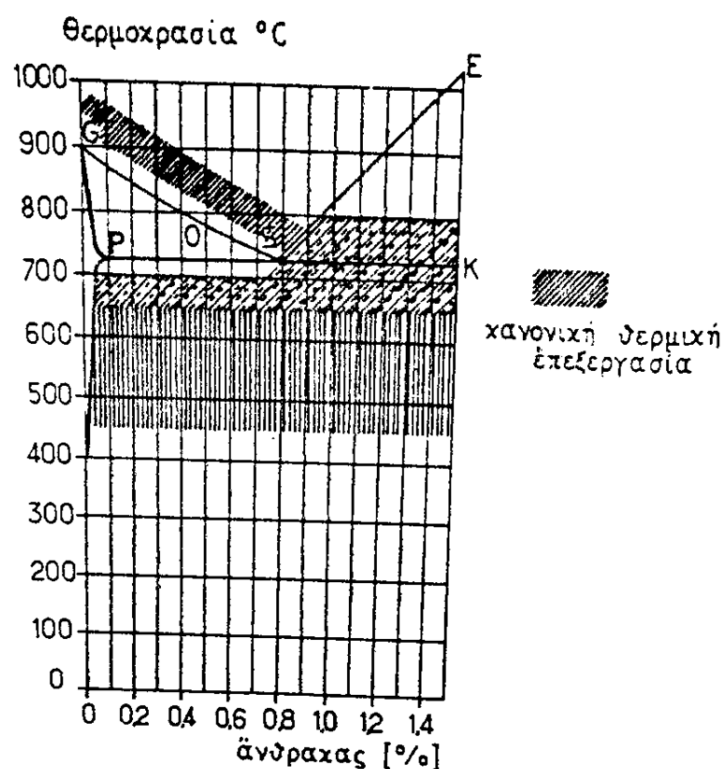
Η μέθοδος της κυλίνδρωσης ή έλασης εφαρμόζεται στην παράγωση δομικών υλικών από χάλυβα. Η κυλίνδρωση γίνεται σε γελάστρα (ειδικές μηχανές) και καλύπτει όλο το φάσμα διατομών δομικού χάλυβα.

γ. Εξέλκηση ή διέλευση (τράβηγμα)

Η εξέλκωση ή διέλευση χρησιμοποιείται στην παράγωγη συρμάτων οποιανδήποτε διαμέτρου, σωλήνων άνευ ραφής, διατομών με ακριβείς διαστάσεις κ. λ. π.

1.1.5.1 Θερμική επεξεργασία του χάλυβα.

Η θερμική επεξεργασία του χάλυβα γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία (Σχήμα 1.10) με ρύθμιση της ταχύτητας ψύξεως. Με την μέθοδο αυτή βελτιώνονται ορισμένες ιδιότητες του χάλυβα, εξ αιτίας της αποκρυστάλλωσης και του μετασχηματισμού του κρυσταλλικού ιστού.



Σχήμα 1.10

Θερμική επεξεργασία χάλυβα (κατά Wesche)

Η απότομη ψύξη του χάλυβα που έχει θερμοκρασία 40 έως 60 C πάνω από την γραμμή GS (Σχήμα 1.10) επιφέρει επιφανειακή σκλήρυνση (βαφή του σιδηρού) δια του σχηματισμού βελονοειδών κρυστάλλων. Η απότομη ψύξη γίνεται με αέρα, νερό λαδί η με διαλύματα αλάτων.

1.1.5.2 Επεξεργασία του χάλυβα εν ψυχρώ

Γίνεται σε θερμοκρασίες κατώτερες από τη θερμοκρασία αποκρυστάλλωσης και σύνθεσης σε θερμοκρασίες χώρου. Κατά την μορφοποίηση εν ψυχρώ επιτυγχάνεται βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του χάλυβα, όπως είναι η αντοχή και η σκληρότητα του χάλυβα.

Οι κυριότερες μέθοδοι εν ψυχρώ είναι. Η κυλίνδρωση (έλαση), η σφυρηλάτηση, η τύπωση και η εξέλκωση.

1.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΩΤΙΑΣ

1.2.1 Διάβρωση του χάλυβα

Η διάβρωση έχει σαν συνέπεια το φυσικό και χημικό μετασχηματισμού όποιος επιφέρει μείωση και οδηγεί σε μικρότερη διάρκεια ζωής του χάλυβα αλλά και του έργου.

Διάβρωση προκαλείται από τις επιρροές του ατμοσφαιρικού αέρα, της υγρασίας, των υπόγειων υδάτων, του θαλασσιού ύδατος της θερμοκρασίας των οξέων και από δομικά υλικά.

Τα κυριότερα είδη διάβρωσης είναι:

- α. χημική διάβρωση
- β. ηλεκτροχημική διάβρωση
- γ. Γαλβανική διάβρωση
- δ Διάβρωση με ταυτόχρονη φόρτιση σε εφελκυσμό

Χημική διάβρωση

Η διάβρωση προκαλείται από την άμεση δράση του οξυγόνου, νερού, των οξέων, των βάσεων και των αλάτων. Ο βαθμός διάβρωσης εξαρτάται από την χημική συμπεριφορά του χάλυβα (δηλαδή από την χημική συγγένεια του χάλυβα προς το δραστικό μέσο). Και κυρίως από το είδος της επιφανειακής προστατευτικής στρώσης από οξειδίο του χάλυβα, η όποια καθορίζει τη φυσική προστασία κατά της διάβρωσης.

Ο χάλυβας δεν προσβάλλεται από την βάση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και σε ξερό αέρα δεν παρουσιάζει διάβρωση.

Σε ερυθροπυρωμένη κατάσταση περιβάλλεται από μια οξειδωτική στρώση. Στον υγρό αέρα αποτελεί το πλέον ευαίσθητο δομικό μέταλλο στη διάβρωση.

Είδος επιφανειακών στρώσεων	Υλικά επιφανειακών στρώσεων	Τεχνική μέθοδος	
Ανόργανες στρώσεις	Οξειδωτικές στρώσεις	Ερυθροπίρωση Οξειδωτική στρώση με διαλύματα αλάτων	- ! !!
	Φωσφορικές στρώσεις	Προστατευτική στρώση με φωσφορικά άλατα (Χρήση σε σιδηρά κουφώματα, σαν βασική στρώση)	-
Επιμεταλλώσεις	Μεταλλικές στρώσεις από εμβάπτιο σε τήγμα μετάλλων (ψευδάργυρος, κασίτερος, αλουμίνιο). Γαλβανικές επιμεταλλώσεις (ψευδάργυρος, κασίτερος, μόλυβδος, νικέλιο, χρώμιο, χαλκός). Επιμετάλλωση με εκτόξευση τήγματος μετάλλου.	Επιψευδαργύρωση (γαλβανισμένες λαμαρίνες, γαλβανισμένοι σωλήνες κ.λπ.) δι' εμβάπτιο ή γαλβανισμού (ηλεκτρολυτικά). Επικασσιτέρωση. Επικέλωση. Επιχρωμίωση κ.λπ.	Γ! : Π! 2
	Πυριτικά (σμαλτώματα)	Στρώσεις από πυριτικά μείγματα στην επιφάνεια του μετάλλου δια θερμικής επεξεργασίας (800-1100°C). Εκτόξευση γαλακτώματος τσιμέντου ή σκυροδέματος (προστατευτική στρώση λόγω της αλκαλικής αντιδράσεως)	
Ανόργανες και μη μεταλλικές στρώσεις	Τσιμέντο		
Επιχρώσεις	Ασφαλτικά υλικά Καουτσούκ Συνθετικά Χρώματα	Επιχρώσεις	

Πίνακες 3 και 4

Προστατευτικά μέτρα κατά της διάβρωσης του χάλυβα (και σιδήρου)

Προστατευτικές στρώσεις για τον ατμοσφαιρικό αέρα		Προστατευτικές στρώσεις για χημική δράση		Προστατευτικές στρώσεις για θερμική δράση	
Φορέας	Χρωστική ουσία	Φορέας	Χρωστική ουσία	Φορέας	Χρωστική ουσία
Λινέλαιο	Αλουμίνιο (ΕΣ)	Χλωριούχο καουτσούκ	Οξείδιο του Ζn ΒΣ ΕΣ	Φαινολική ρητινή	Μίνιο του σιδήρου ΒΣ ΕΣ
Λινέλαιο-αλκαλική ρητινή	Μίνιο (P ₂ O ₅) (ΒΣ)	Καουτσούκ (Cyclo-kautschuk)	Διοξείδιο του τιτανίου ΒΣ ΕΣ	Ρητινή silicon	σιδηρούχος μαρμαρυγίας (ΕΣ)
Ασφαλτικά υλικά	λευκό του μολύβδου (ΕΣ)	Βινυλική ρητινή	Πυριτιοκαρβίδιο ΒΣ ΕΣ	Υδρωαλλός	Γραφίτης ΒΣ ΕΣ
Πίσσα-μάλθη-άσφαλτος	μίνιο του σιδήρου ΒΣ ΕΣ	Πολυουρεθάνη	Γραφίτης ΒΣ ΕΣ	"	Σκόνη Ζn (ΕΣ)
"	Σκόνη Ζn (ΒΣ)				
"	Οξείδιο του Ζn ΒΣ ΕΣ	εποξειδική ρητινή	Μίνιο του σιδήρου ΒΣ ΕΣ	"	Αλουμίνιο (ΒΣ)
"	Κίτρινο του χρωμίου με Ζn (ΒΣ)	Πολυεστέρες	σιδηρούχος μαρμαρυγίας (ΕΣ)		
"	Διοξείδιο του τιτανίου ΒΣ ΕΣ	Πολυχλωροπρένιο	Σκόνη μολύβδου (ΕΣ)		
	κ.λ.π.	Χλωριωμένο Πολυαιθυλένιο			
		Χλωριωμένο Πολυπροπυλένιο			

ΒΣ = Βασική στρώση
ΕΣ = Επιφανειακή στρώση

Πίνακας 5

Υλικά αντιδιαβρωτικής προστασίας

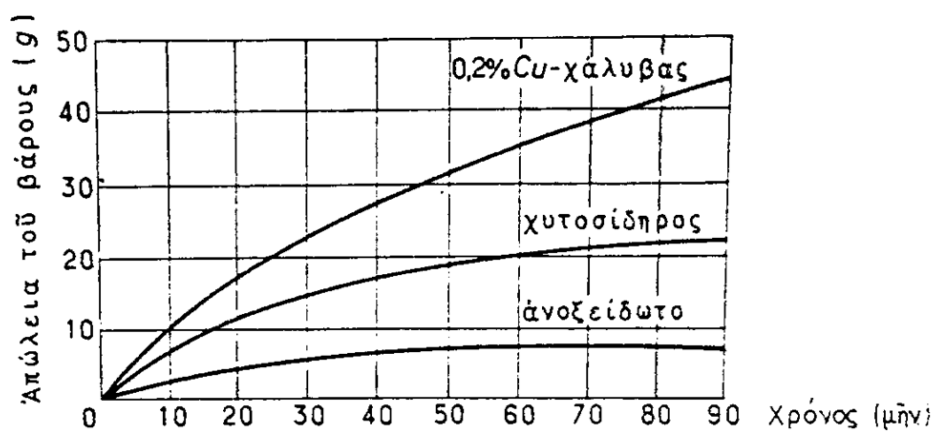
Η διάβρωση του χάλυβα λαμβάνει χώρο, κυρίως παρουσία οξυγόνου. Με την διαφοράς δυναμικών στην επιφάνεια του μετάλλου, σχηματίζονται ιόντα σιδήρου(Fe), στην περιοχή της ανόδου. Τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται κατά τον σχηματισμό των ιόντων του σιδήρου κινούνται προς την κάθοδο και σχηματίζουν ιόντα OH. Αυτά ενώνονται με τα ιόντα σιδήρου και σχηματίζουν Fe(OH)(καφέ σκουριά) το οποίο έχει ένα πολλαπλάσιο όγκο από το Fe. Η διόγκωση αυτή όταν ο χάλυβας βρίσκεται στο σκυρόδεμα, προκαλεί διάρρηξη του ιστού του σκυροδέματος και έτσι αποκαλύπτεται ο σιδηρούς οπλισμός με συνέπεια τη διάβρωση του οπλισμού.

Το μαλακό νερό ενισχύει τη διάβρωση, ενώ το σκληρό νερό σχηματίζει προστατευτικές στρώσεις από CaCO₃.

Η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα, εξαρτάται κυρίως από την τιμή του PH του νερού των πόρων του τσιμεντολιθώματος.

Σε αλκαλικό περιβάλλον σχηματίζεται λεπτός υμένας (προστατευτική οξειδωτική στρώση) στην επιφάνεια του χάλυβα η οποία προστατεύει τη μάζα του από την περαιτέρω διάβρωση. Ο προστατευτικός υμένας, έχει σταθερότητα σε τιμές PH μεγαλύτερες του 11(η συνήθης τιμή PH του σκυροδέματος κυμαίνεται μεταξύ 12,6 και 13,0).

Στις τιμές του PH μικρότερες του 11, ο υμένας αρχίζει να καταστρέφεται τοπικά κι έτσι αρχίζει η διάβρωση του χάλυβα, της οποίας η ταχύτητα αυξάνεται όταν η τιμή του PH είναι μικρότερη του 9. Η απανθράκωση του τσιμεντολιθώματος, η οποία δημιουργεί πρόσθετο πορώδες βοηθά στη διάβρωση του χάλυβα του οπλισμένου σκυροδέματος, κατά δύο τρόπους:



Σχήμα 1.11

Διάβρωση διαφόρων ειδών χάλυβα σε θαλάσσια ατμόσφαιρα

(κατά WESCHE)

Πρώτον: Μειώνει την ποσότητα του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και κατά συνέπεια την τιμή PH του τσιμεντολιθώματος.

Δεύτερον: Αυξάνει το πορώδες δια της μετατροπής του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε CaCO_3 . Η αύξηση του πορώδους διευκολύνει την είσοδο του οξυγόνου και των άλλων βλαβερών ουσιών, μέχρι την επιφάνεια του χάλυβα.

1.2.2 Προστατευτικά μέτρα κατά της διάβρωσης του χάλυβα.

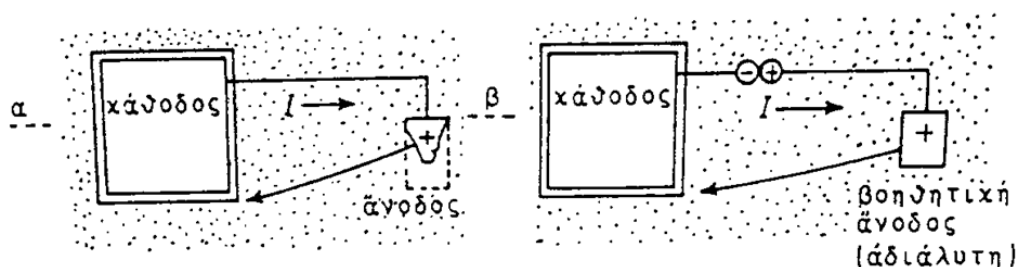
Τα προστατευτικά μέτρα κατά της διάβρωσης του χάλυβα αποσκοπούν στην εξασφάλιση της ευστάθειας και της μεγάλης διάρκειας ζωής των δομικών έργων.

Ο χάλυβας γίνεται ανθεκτικός στη διάβρωση αν προστατεύεται από φυσικό υμένα (π.χ. αλουμίνιο, ανοξείδωτοι χάλυβες). Έχουμε δύο τύπους προστασίας, την καθοδική και την επιφανειακή.

Καθοδική προστασία

Η καθοδική προστασία εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που αναμένεται ισχυρή διάβρωση και τα άλλα προστατευτικά μέτρα (επιχρώσεις, επιμεταλλώσεις κ.λπ.) είναι δύσκολο να ανανεωθούν (π.χ. δομικά στοιχεία μέσα στο νερό, στο έδαφος κ.τ.λ.).

Η καθοδική προστασία εφαρμόζεται, με χρήση ανόδου από λιγότερο ευγενές μέταλλο (π.χ. Al, Mn, Zn) όπου η άνοδος διαλύεται και απαιτείται ανανέωση. (Σχ.1.12)



Σχήμα 1.12

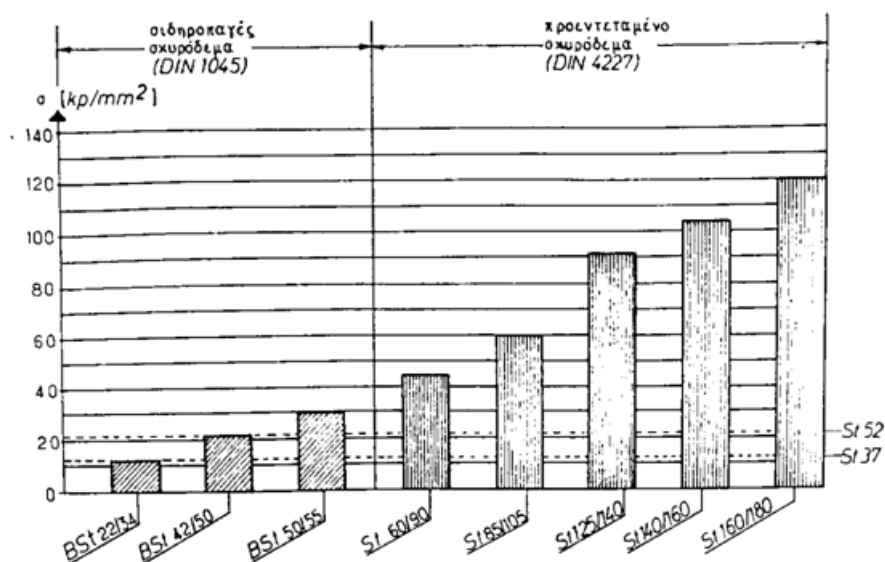
Καθοδική προστασία (κατά Brandenberger)

Επιφανειακή προστασία

Η επιφανειακή προστασία του χάλυβα και γενικώς όλων των μετάλλων, γίνεται κυρίως με επεξεργασία από αντιδιαβρωτικά χρώματα, επιμεταλλώσεις και περιβλήματα.

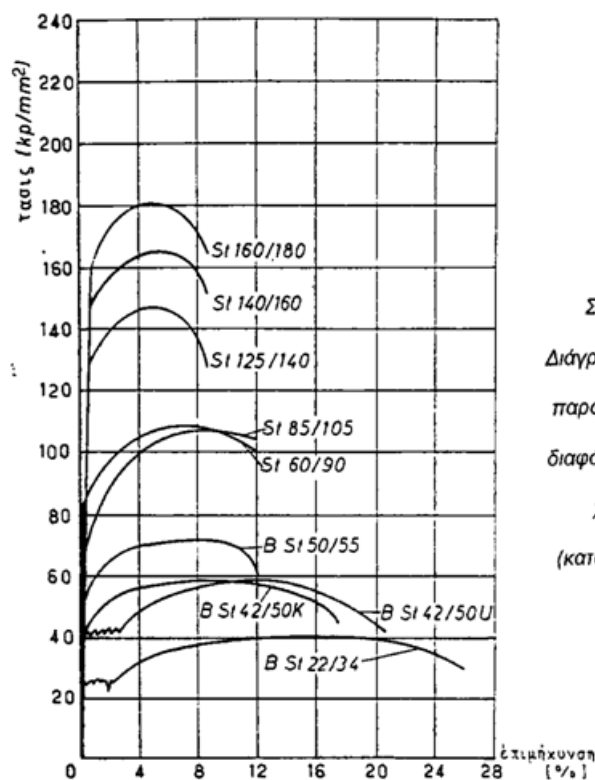
1.2.3 Συμπεριφορά δομικών στοιχείων από χάλυβα σε συνθήκες φωτιάς.

Ο χάλυβας είναι βέβαια άκαυστο υλικό δεν αντέχει όμως για πολύ ώρα σε θερμοκρασίες των συνθηκών πυρκαγιών. Οι χάλυβες που με ψυχρή εξέταση έχουν αποκτήσει υψηλή αντοχή, όπως αυτοί που εφαρμόζονται στο προεκτεταμένο μπετόν, δείχνουν ταχύτερη πτώση. Διότι με την ανάπτηξη που επέρχεται, χάνεται η πρόσθετη αντοχή τους.



Σχήμα 1.13

Επιτρεπτές τάσεις δομικού χάλυβα



Σχήμα 1.14

Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων παρόμοιων διαφόρων δομικών χάλυβων (κατά WESCHE)

Οι μηχανικές ιδιότητες όλων των κοινών υλικών των κτιρίων ελαττώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Αν και ο χάλυβας είναι ένα μη εύφλεκτο υλικό χωρίς καμιά απελευθέρωση καπνού ή τοξικών αερίων είναι επίσης καλός αγωγός της θερμότητας και οι λεπτές διατομές ακολουθούν την ανύψωση της θερμοκρασίας του πυροδιαμερίσματος.

Επειδή η εργαστηριακή δοκιμασία του συνήθους μαλακού χάλυβα δείχνει πως η αντοχή του (σε εφελκυσμό) αυξάνει μέχρι τους 250⁰ C (για να επανέλθει στους 400⁰ C), αν πέσει κάτω από 250⁰ C, η μηχανική αντοχή του χάλυβα και του σκυροδέματος, πέφτει ακαριαία και όταν η θερμοκρασία φθάσει τιμές πάνω από 450⁰ C ίσως οδηγηθούν σε κατάρρευση.

Η θερμοκρασία κατάρρευσης είναι γνωστή ως **κρίσιμη θερμοκρασία** και ποικίλει ανάλογα με την θεώρηση επιτρεπτής τάσης ή της οριακής αντοχής. Για τις αμφιέρεστες δοκούς και για τα υποστυλώματα ενός ορόφου η κρίσιμη λειτουργία δίνεται για σταθερό επίπεδο φορτίου, παραγόμενο από τους κανόνες σχεδιασμού κατά τη φάση ψύξης.

Το επίπεδο της κρίσιμης θερμοκρασίας είναι κατά προσέγγιση 500⁰ C -550⁰ C για επίπεδο φορτίου 60% του τελικού (οριακού φορτίου ψύχους).

Αυτό ισχύει για κάθε ποιότητα χάλυβα και τύπο κατασκευής και για όσο καιρό διατηρείται ομοιόμορφη θερμοκρασιακή διανομή.

1.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το χρονικό διάστημα πυραντίστασης των χαλύβδινων κατασκευών.

Τη χρονική περίοδο πυραντίστασης μιας χαλύβδινης κατασκευής επηρεάζουν δύο κατηγορίες:

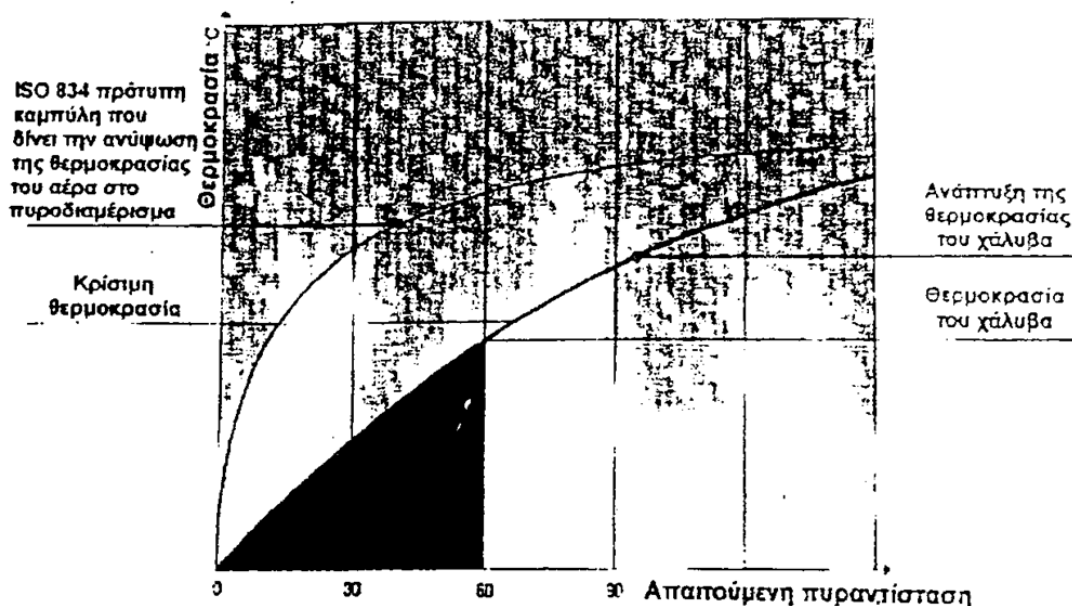
- Μια ομάδα επηρεάζει την κρίσιμη θερμοκρασία
- Μια ομάδα επηρεάζει τον βαθμό θερμότητας του χάλυβα.

Η σχέση που υπάρχει μεταξύ της ανύψωσης της θερμοκρασίας ενός χαλύβδινου μέλους και της κρίσιμης θερμοκρασίας του δίνεται στο Σχήμα 1.15

Η δε ανάπτυξη της θερμοκρασίας ενός χαλύβδινου μέλους κατά τον απαιτούμενο χρόνο, πρέπει να είναι μικρότερη από την κρίσιμη θερμοκρασία του.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κρίσιμη θερμοκρασία εξαρτώνται:

1. Από την θεωρία σχεδιασμό – ψύχους
2. Από την θερμοκρασιακή διανομή
3. Τις διαστάσεις διατομής



Σχήμα 1.15

Σχέση μεταξύ της ανύψωσης της θερμοκρασίας ενός χαλύβδινου μέλους και της κρίσιμης θερμοκρασίας του.

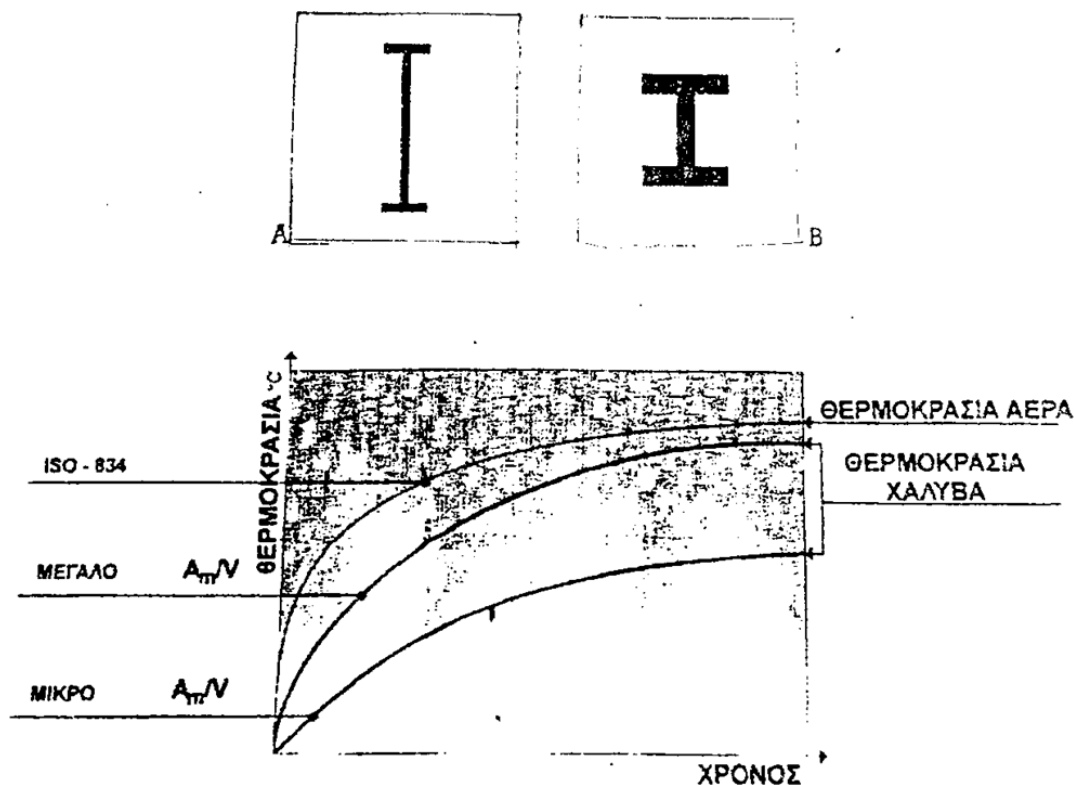
Αν η φωτιά είναι μειωμένη σ'ένα μέρος ή ένα στοιχείο της κατασκευής, το άλλο μέρος που είναι ψυχρό μπορεί να συνεισφέρει στη βελτίωση της λειτουργίας.

1.2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της θερμότητας

Για τις καθαρά χαλύβδινες διατομές η τιμή της θερμότητας καθορίζεται από το πόσο συμπαγές είναι η διατομή του επιλεγμένου χαλύβδινου μέλους. Όσο περισσότερο συμπαγής είναι μια διατομή τόσο μεγαλύτερη ενέργεια απαιτείται για την θερμάνει.

Για τον υπολογισμό της επίδρασης αυτής της αναφοράς ως συντελεστής διατομής $\frac{A_m}{V} m - 1$ στο οποίο A_m είναι η περίμετρος του βέλους V .

Ευθέως εκτεθειμένο σε φωτιά και $V(m_2)$ είναι η περιοχή της διατομής του ίδιου μέλους. Όσο υψηλότερος είναι ο λόγος $\frac{A_m}{V}$, τόσο γρηγορότερη είναι η ανύψωση της τιμής της θερμοκρασίας. Στους υπολογισμούς του συντελεστή διατομής $\frac{A_m}{V}$ η πλήρης περιοχή της διατομής (V) χρησιμοποιείται ως ολόκληρη η χαλύβδινη διατομή που θα έπαιρνε τη θερμότητα. Περίμετρος είναι η περίμετρος που έχει εκτεθεί στη φωτιά π.χ. σε μια δοκό που στηρίζει ένα δάπεδο από σκυρόδεμα, η περίμετρος είναι μειωμένη κατά το πλάτος του πάνω πέλματος που προστατεύεται από το δάπεδο.



Σχήμα 1.16

Επίδραση $\frac{Am}{V}$ στην τιμή θερμότητας.

1.2.6 Ιδιότητες αντοχής και παραμόρφωσης (σύμφωνα με Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.3.2)

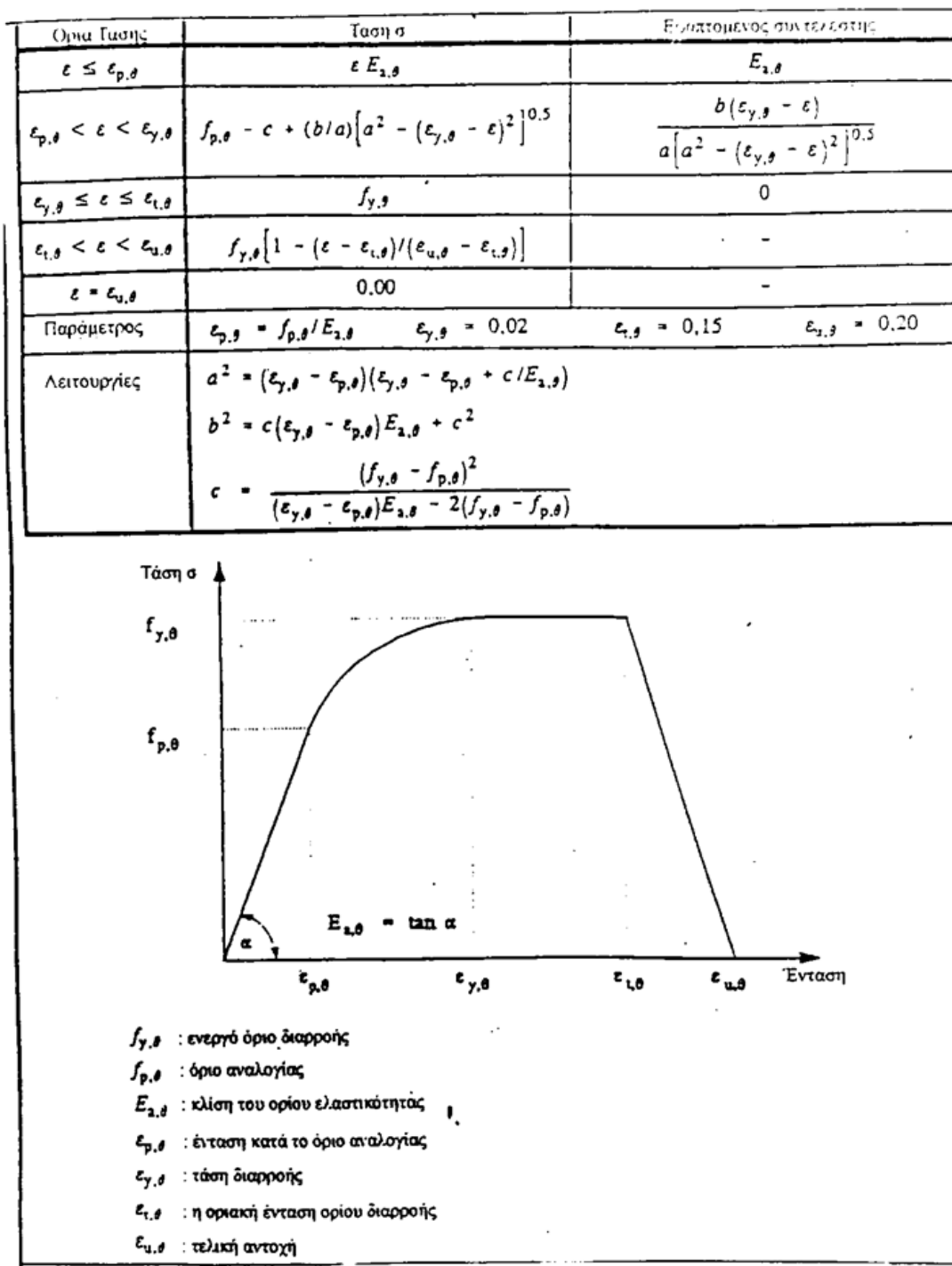
Για τις τιμές θερμότητας 2 και 50 K/min οι ιδιότητες της αντοχής και παραμόρφωσης του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες λαμβάνονται από τη σχέση τάση – ένταση που καθορίζει την αντίσταση σε θλίψη, εφελκυσμό, κάμψη και διάτμηση.

- Δρώσα αντοχή σχετική της αντοχής διαρροής στους 20 °C $K_{y,\theta} = \frac{f_{y,\theta}}{f_y}$
- Όρια αναλογίας σχετικό της αντοχής διαρροής στους 20 °C $K_{q,\theta} = \frac{f_{q,\theta}}{f_y}$
- Μέτρο ελαστικότητας, σχετικό με το μέτρο ελαστικότητας στους 20 °C $K_{E,\theta} = \frac{E_{\alpha,\theta}}{E_\alpha}$

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΑΛΥΒΑ θ_2	ΜΕΙΩΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ θ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΠΡΟΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ f_y Η E_2 ΣΤΟΥΣ 20 °C.			
	Μειωτικός συντελεστής (σχετικός του f_y) για ενεργό όριο διαρροής $k_{\gamma,\theta} = f_{\gamma,\theta}/f_y$	Γροποποιημένος συντελεστής (σχετικός του f_y) για ικανοποιητ των κριτηρίων παραμόρφωσης $k_{\chi,\theta} = f_{\chi,\theta}/f_y$	Μειωτικός συντελεστής (σχετικός του f_y) για όριο αναλογίας $k_{\rho,\theta} = f_{\rho,\theta}/f_y$	Μειωτικός συντελεστής (σχετικός του E_2) για την κλίση του ορίου ελαστικότητας $k_{E,\theta} = E_{2,\theta}/E_2$
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	0,0000	0,0000

Πίνακας 6

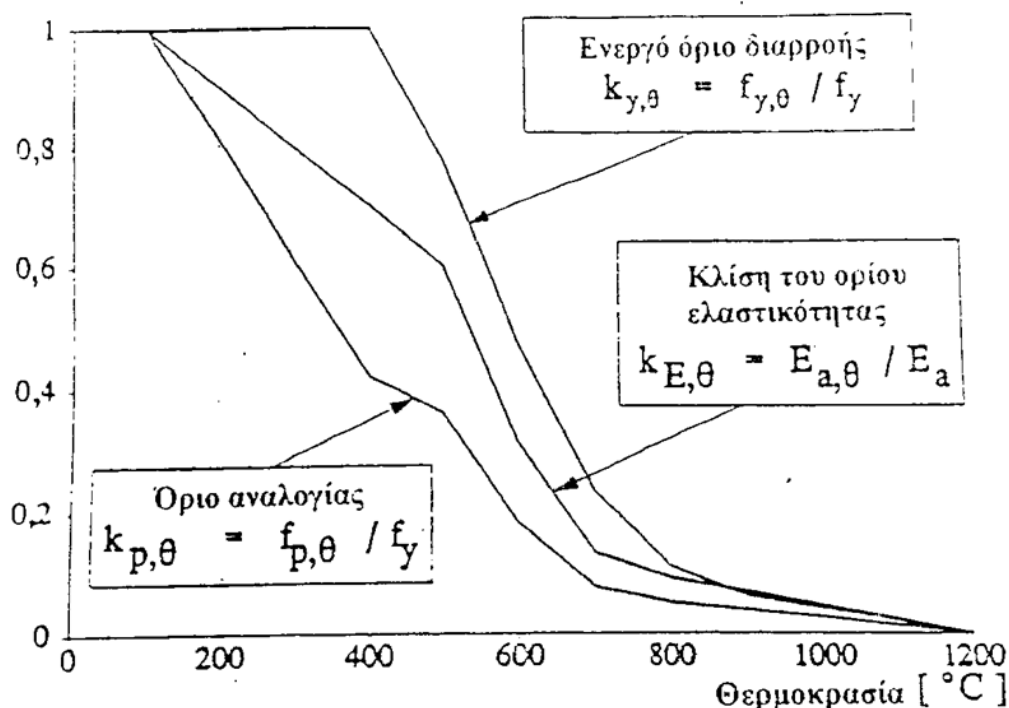
Μειωτικοί συντελεστές για τη σχέση τάσης – έντασης του χάλυβα για υψηλές θερμοκρασίες



Σχέση τάσης έντασης του χάλυβα για υψηλές θερμοκρασίες

Η μεταβολή των τριών συντελεστών με την θερμοκρασία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.17 , που ακλουθεί.

Μειωτικός συντελεστής



Σχήμα 1.17

Μειωτικοί συντελεστές για τη σχέση τάσης – έντασης του χάλυβα

για υψηλές θερμοκρασίες

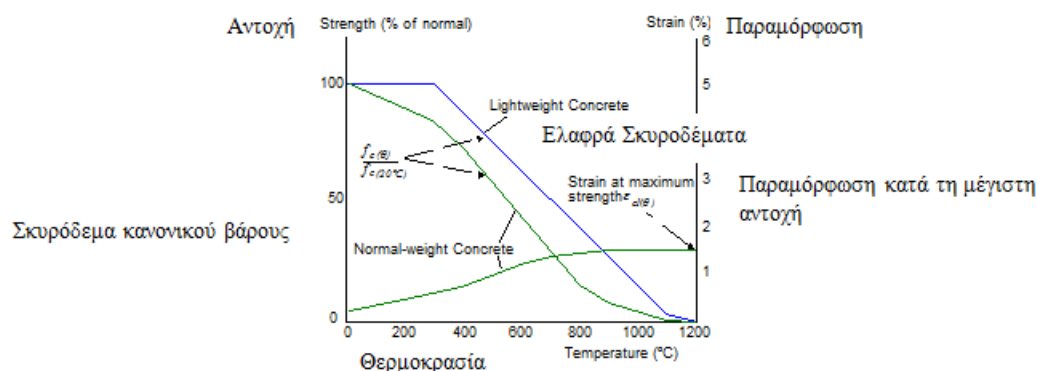
Πυκνότητα χάλυβα

Η πυκνότητα του χάλυβα θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του χάλυβα. Η τιμή της δε λαμβάνεται: $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$

Αντοχές σκυροδέματος

Οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος, σε διάφορες θερμοκρασίες, διαφέρουν σημαντικά στη μορφή από τις αντίστοιχες του χάλυβα. Όλες οι καμπύλες έχουν μέγιστη θλιπτική αντοχή, και όχι ενεργό αντοχή διαρροής, η οποία εμφανίζεται σε παραμορφώσεις που σε σχέση με τη θερμοκρασία αυξάνονται προοδευτικά. Η εφελκυστική αντοχή για όλα τα σκυροδέματα θεωρείται συνήθως μηδενική. Όπως είναι φυσικό, στους Ευρωκώδικες μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικοί καταστατικοί νόμοι για το υλικό, υπό την προϋπόθεση ότι υποστηρίζονται από πειραματικές

αποδείξεις. Για σκυροδέματα κανονικού βάρους (πυκνότητα περίπου 2400 kg/m³) μόνο η κατώτερη γραμμή των τιμών αντοχής, που αντιστοιχεί στον πυριτικό τύπο, έχουν γίνει πίνακες στον Ευρωκώδικα 4, Μέρος 1-2. Για σκυροδέματα από ασβεστικά αδρανή χρησιμοποιούνται οι ίδιες τιμές, παρότι είναι συντηρητικές. Όταν απαιτούνται περισσότερες λεπτομέρειες, οι μελετητές αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 2 Μέρος 1-2.



Σχήμα 1.18. Μειωτικοί συντελεστές αντοχής κατά τον EC4 για κανονικού βάρους πυριτικά σκυροδέματα και ελαφρά σκυροδέματα σε υψηλές θερμοκρασίες (Ευρωκώδικας 4, Μέρος 1-2)

Ως ελαφρά σκυροδέματα ορίζονται εκείνα των οποίων η περιοχή πυκνοτήτων κυμαίνεται μεταξύ 1600-2000 kg/m³. Αν και στην πράξη μπορούν να κατασκευαστούν με τη χρησιμοποίηση διαφόρων τύπων αδρανών, αντιμετωπίζονται στον Ευρωκώδικα 4 Μέρος 1-2 ως εξασθενούντα ομοιόμορφα με τη θερμοκρασία. Έτσι το σύνολο μειωτικών συντελεστών αντοχής για τα ελαφρά σκυροδέματα, είναι πάλι προς τη συντηρητική πλευρά.

1.2.7 Συντελεστής θερμικής διαστολής (Σύμφωνα με Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.3.3)

α. Η θερμική επιμήκυνση του χάλυβα $\Delta\ell/\ell$ καθορίζεται:

❖ Για $20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Theta\alpha < 750\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta\ell/\ell = (1,2 \times 10^{-5} \theta\alpha) + (0,4 \times 10^{-8} \theta\alpha^2) - (2,4 \times 16 \times 10^{-4})$$

❖ Για $750\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Theta\alpha \leq 860\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta\ell/\ell = 1,1 \times 10^{-2}$$

❖ Για $860\text{ }^{\circ}\text{C} < \Theta\alpha < 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$

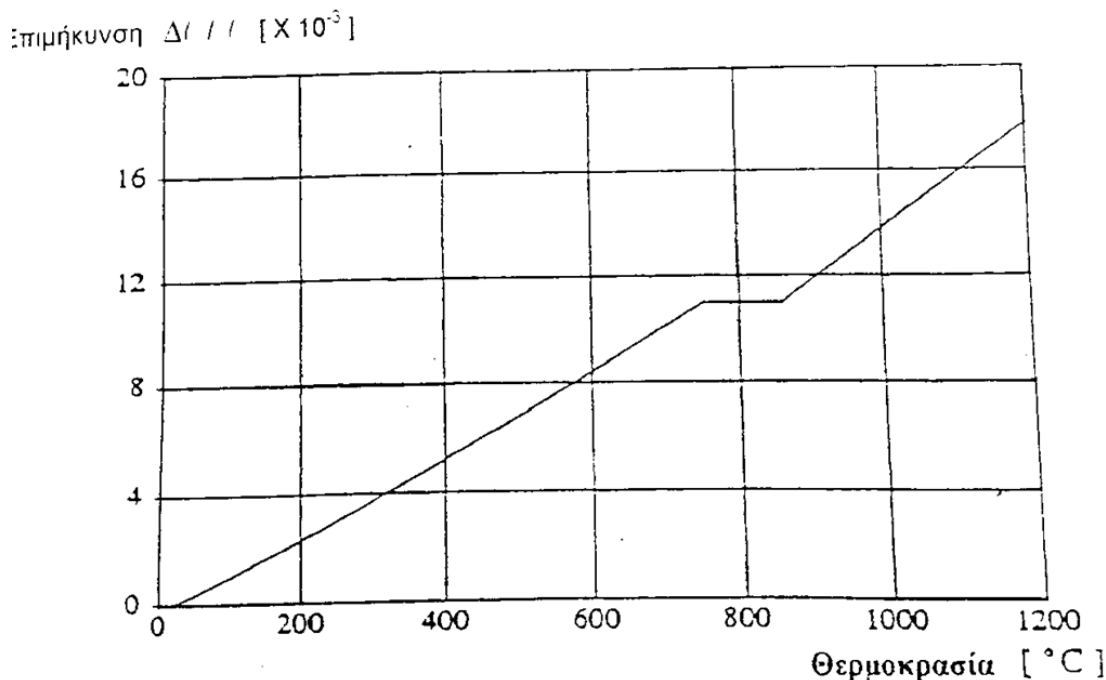
$$\Delta\ell/\ell = (2 \times 10^{-5} \theta\alpha) - (6,2 \times 10^{-3})$$

Όπου ℓ = μήκος στους 200 °C

$\Delta\ell$ = θερμική διαστολή λόγω θερμοκρασίας

$\theta\alpha$ = θερμοκρασία χάλυβα [°C]

β. Η μεταβολή της θερμικής επιμήκυνσης του χάλυβα με την θερμοκρασία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.18)

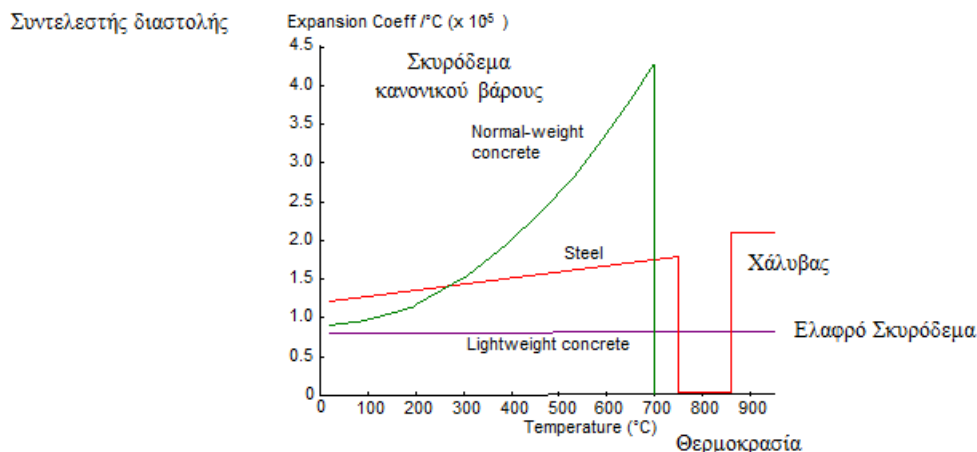


Σχήμα 1.18

Θερμική επιμήκυνση του χάλυβα ως αποτέλεσμα της θερμοκρασίας

Θερμική διαστολή χάλυβα και σκυροδέματος

Στους απλούστερους υπολογισμούς σε συνθήκες φωτιάς, παραβλέπεται η θερμική διαστολή των υλικών. Αλλά για μέλη από χάλυβα τα οποία υποβαστάζουν πλάκα από σκυρόδεμα στο ανώτερο πέλμα τους, η διαφορική θερμική διαστολή που προκαλείται από την προστασία του πάνω πέλματος και η λειτουργία δεξαμενής θερμότητας από την πλάκα από σκυρόδεμα δημιουργούν ένα «θερμικό καμπούριασμα» προς τη φωτιά στη χαμηλή περιοχή θερμοκρασιών. Όταν χρησιμοποιούνται προχωρημένα υπολογιστικά μοντέλα, είναι απαραίτητο να αναγνωρίσουμε ότι, η θερμική διαστολή πυροδιαμερίσματος παρεμποδίζεται από τις ψυχρές κατασκευές που το περιβάλλουν και αυτό δημιουργεί συμπεριφορά σημαντικά διαφορετική από εκείνη που έχει διαπιστωθεί σε παρόμοια μέλη σε δοκιμές φούρνους χωρίς δεσμεύσεις. Είναι, ως εκ τούτου, αναγκαίο να αναγνωρίσουμε τουλάχιστον τον τρόπο κατά τον οποίο οι συντελεστές θερμικής διαστολής μεταβάλλονται ο ένας ως προς τον άλλο, αλλά και ο καθένας με τη θερμοκρασία. Τα παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 10. Ίσως, το πιο σημαντικό είναι ότι οι συντελεστές θερμικής διαστολής του χάλυβα και του σκυροδέματος έχουν συγκρίσιμα μεγέθη στην περιοχή θερμοκρασιών πρακτικού ενδιαφέροντος.



Σχήμα 1.19. Μεταβολή των συντελεστών θερμικής διαστολής του χάλυβα και του σκυροδέματος, κατά τους Ευρωκώδικες 3 και 4, με τη θερμοκρασία (Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1-2 και Ευρωκώδικας 4, Μέρος 2-2)

Είναι απίθανο να φθάσει το σκυρόδεμα την περιοχή θερμοκρασιών των 700°C στην οποία η θερμική του διαστολή σταματά, ενώ αντίθετα, οι εκτεθειμένες χαλύβδινες διατομές θα φτάσουν, σχεδόν σίγουρα, την ελαφρά υψηλότερη περιοχή θερμοκρασιών, στην οποία παρατηρείται αλλαγή της κρυσταλλικής δομής και σταματά προσωρινά η θερμική διαστολή.

1.2.8 Ειδική θερμότητα

1. Η ειδική θερμότητα του χάλυβα C_a καθορίζεται:

❖ Για $20\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600\text{ }^\circ\text{C}$

$$C_a = (425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a) - (1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2) + (2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3) \quad \left\{ \frac{j}{kgK} \right\}$$

❖ Για $600\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735\text{ }^\circ\text{C}$

$$C_a = 666 - \frac{13002}{\theta_a - 738} \quad \left\{ \frac{j}{kgK} \right\}$$

❖ Για $735\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900\text{ }^\circ\text{C}$

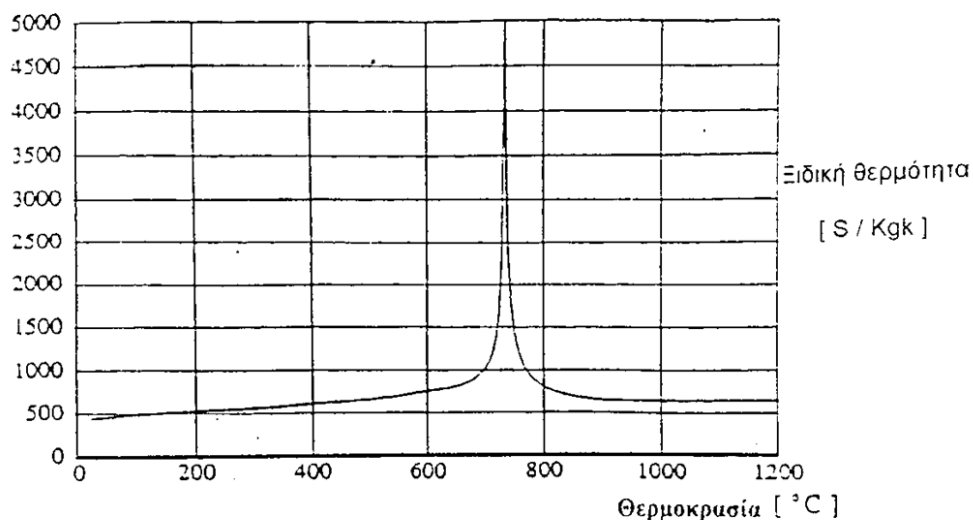
$$C_a = 545 - \frac{17820}{\theta_a - 731} \quad \left\{ \frac{S}{kgK} \right\}$$

❖ Για $900\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 1200\text{ }^\circ\text{C}$

$$C_a = 650 \quad \left\{ \frac{S}{kgK} \right\}$$

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

2. Η μεταβολή της ειδικής θερμότητας με την θερμοκρασία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.20



Σχήμα 1.20

Ειδική θερμότητα χάλυβα ως αποτέλεσμα της θερμοκρασίας

3. Απλοποιημένα υπολογιστικά πρότυπα η ειδική θερμότητα θεωρείται ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του χάλυβα. Σ' αυτή την περίπτωση η τιμή της

είναι $C_a = 600 \left\{ \frac{j}{kgK} \right\}$

1.2.9 Θερμοαγωγιμότητα

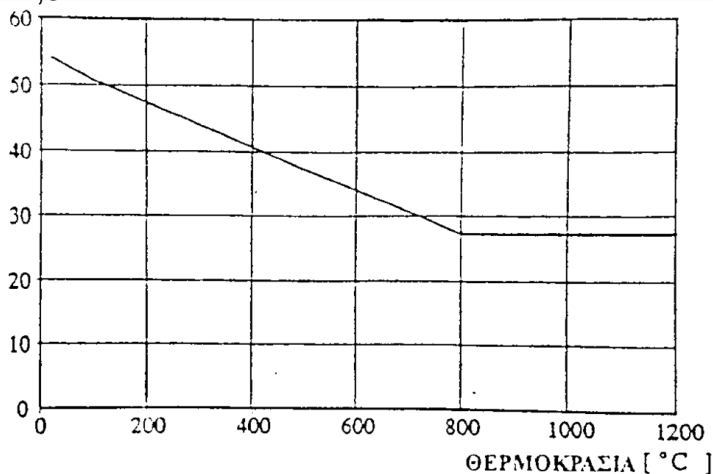
Η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα μειώνεται γραμμικά μέχρι τους 800 και μετά παραμένει σταθερή και καθορίζεται από τις σχέσεις:

❖ Για $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq \Theta_a < 800 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\lambda_a = 53 - 3,33 \times 10^{-2} \Theta_a \quad \left\{ \frac{W}{mK} \right\}$$

❖ Για $800 \text{ }^\circ\text{C} \leq \Theta_a \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\lambda_a = 27,3 \quad \left\{ \frac{W}{mK} \right\}$$



Σχήμα 1.20

Μεταβολή θερμοαγωγιμότητας $\{ W / mk \}$

Σε απλοποιημένα υπολογιστικά πρότυπα η θερμοαγωγιμότητα θεωρείται ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του χάλυβα, και έχει τιμή $\lambda_a = 45 \text{ } \left\{ \frac{W}{mK} \right\}$

1.3 ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3

Έννοιες – Ορισμοί

- 1.** Συντελεστής διαμόρφωσης (CONFIGURATION FACTOR)
Στερεά γωνία εντός της οποίας το εκτεινόμενο περιβάλλον είναι ορατό από ένα συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειας του μέλους διαιρούμενο με 2Π.
- 2.** Συντελεστής θερμικής μεταβίβασης (CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENT)
Μεταφερόμενη θερμότητα στο μέλος, μεταξύ του κύριου όγκου της θερμοκρασίας του αέρα, οριακά της σχετικής επιφάνειας του μέλους και της θερμοκρασίας της επιφάνειας.
- 3.** Κρίσιμη θερμοκρασία του δομικού χάλυβα,
σένα δομικό στοιχείο χάλυβα για ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας.
- 4.** Σχεδιασμός σε συνθήκες φωτιάς (DESIGN FIRE)
Ορισμένη ανάπτυξη φωτιάς υιοθετείται για τον σχεδιασμό σε συνθήκες φωτιάς.
- 5.** Αντοχή διαρροής,
για μια δοσμένη θερμοκρασία, το επίπεδο της τάσης στο οποίο η σχέση τάσης – έντασης του χάλυβα.
- 6.** Εξωτερικό μέλος (EXTERNAL MEMBER)
Δομικό μέλος τοποθετημένο έξω από το κτίριο, το οποίο μπορεί να εκτεθεί σε συνθήκες φωτιάς μέσω των ανοιγμάτων του κτιρίου.
- 7.** Πυροδιαμέρισμα (FIRE COMPARTMENT)
Ο χώρος στον οποίο το κτίριο, που περιέχεται από μεμονωμένα μέλη έτσι ώστε η φωτιά που εξαπλώνεται πέραν του διαχωριστικού να προλαμβάνεται.
- 8.** Υλικό προστασίας (FIRE PROTECTION MATERIAL)
Το υλικό που είναι ικανό να παραμένει στην θέση του σε συνθήκες φωτιάς, παρέχοντας θερμική μόνωση.
- 9.** Αντοχή στη φωτιά (FIRE RESISTANCE)
Η ικανότητα της κατασκευής να εκπληρώνει τη φέρουσα αντοχή λειτουργικότητας για ορισμένη έκθεση σε συνθήκες φωτιάς και για ορισμένη χρονική περίοδο.
- 10.** Πυρότοιχος (FIRE WALL)
Ο τοίχος που ξεχωρίζει δυο (2) κτίρια και που σχεδιάζεται για πυραντίσταση και κατασκευαστική σταθερότητα έτσι ώστε σε περίπτωση πυρκαγιάς της μιας κατασκευής η εξάπλωση της πέραν του τοίχους να αποφεύγεται.
- 11.** Σφαιρική δομική ανάλυση για φωτιά (GLOBAL STRUCTURAL ANALYSIS FOR FIRE)
Η ανάλυση του δομήματος, όπου ολόκληρο ή μέρη του δομήματος εκτίθενται σε συνθήκες φωτιάς.

12. Έμμεσες δράσεις φωτιάς.

Θερμικές διαστολές, παραμορφώσεις προκαλούν εσωτερικές δυνάμεις και ροπές.

13. Κριτήριο φέρουσας αντοχής (LOAD BEARING CRITERION)

Κριτήριο κατά το οποίο η ικανότητα της κατασκευής να υφίσταται ορισμένες δράσεις (κατά την διάρκεια της φωτιάς) , είναι προκαθορισμένη.

14. Λειτουργία φέρουσας ικανότητας.

Η ικανότητα της οικοδομής να υφίσταται ορισμένες δράσεις κατά την διάρκεια της φωτιάς σύμφωνα με καθορισμένα κριτήρια.

15. Ανάλυση μέλους για φωτιά

Η θερμική και μηχανική ανάλυση δομικού μέλους εκτεθειμένου σε φωτιά .

Έμμεσες αντιδράσεις φωτιάς δεν θεωρούνται εκτός απ' αυτές που είναι αποτελέσματα θερμικών αναβαθμίσεων.

1.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ (Σύμφωνα με Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.2)**1.4.1 Απαιτήσεις λειτουργικότητας**

Κατά τον δομικό σχεδιασμό σε συνθήκες φωτιάς όταν απαιτείται μηχανική αντοχή, τα δομήματα πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να διατηρούν τη φέρουσα αντοχή λειτουργικότητας και να εφαρμόζονται τα μέσα προστασίας παραμόρφωσης κατά τη διάρκεια της έκθεσης τους σε συνθήκες φωτιάς.

1.4.2 Δράσεις

Οι μηχανικές και οι θερμικές δράσεις δίνονται από τους κανονισμούς του ENV 1991-1993 στα μέρη 1.2 και 2.2 και ισχύουν μόνο για σταθερή έκθεση σε φωτιά.

1.4.3 Τιμές σχεδιασμού των ιδιοτήτων του υλικού**a. Θερμικές ιδιότητες για θερμική ανάλυση**

1. Αν η αύξηση της ιδιότητας είναι για ασφάλεια: $X_{fl,\delta} = X_{k,\theta} / Y_{m,fl}$
2. Αν η αύξηση της ιδιότητας δεν είναι ευνοϊκή για ασφάλεια:
3. $X_{fl,\delta} = X_{mf} / Y_{m,lf} \cdot X_{k,\theta}$
4. Ιδιότητες αντοχής και παραμόρφωσης για την ανάλυση της κατασκευής $X_{fl,\delta} = K_{\theta} \cdot X_K / Y_{m,fl}$
5. $X_{k,\theta}$ = χαρακτηριστική τιμή της ιδιότητας του υλικού εξαρτώμενη από το υλικό θερμοκρασίας
6. X_K = χαρακτηριστική τιμή της ιδιότητας της αντοχής ή της παραμόρφωσης (f_k ή E_k) για κανονική θερμοκρασία σχεδιασμού

7. K_{θ} = μειωτικός συντελεστής για την ιδιότητα αντοχής ή παραμόρφωσης ($X_{k,\theta} / X_k$), η, οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία του υλικού.
8. $Y_{m,fl}$ = Μερικός συντελεστής ασφαλείας για την σχετική ιδιότητα του υλικού, σε συνθήκες φωτιάς.

b. Για τις θερμικές ιδιότητες του χάλυβα, ο μερικός συντελεστής σε συνθήκες φωτιάς : $Y_{m,fl}=1,0$

c. Για τις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα, ο μερικός συντελεστής σε συνθήκες φωτιάς : $Y_{m,fl}=1,0$

Σύμφωνα με Ευρωκώδικα 3 μέρος 1-2 αρ. 4 η μεταλλική κατασκευή μπορεί να είναι:

- Απροστάτευτη
- Μεμονωμένη υλικό προστασίας σε συνθήκες φωτιάς
- Προστατευμένη με καλύμματα θερμότητας
- Προστατευμένη με άλλη μέθοδο που επηρεάζει και περιορίζει την ανύψωση θερμοκρασίας του χάλυβα (όπως π.χ πλήρωση με νερό, προστασία τοίχων και δαπέδων).

Η εκτίμηση της συμπεριφοράς της κατασκευής βασίζεται:

- a.** Στα απλά μοντέλα υπολογισμού. Αυτά τα μοντέλα δίνουν συντηρητικά αποτελέσματα.
- b.** Στα ανώτερα μοντέλα υπολογισμού. Στα μοντέλα αυτά οι αρχές της μηχανικής εφαρμόζονται με ένα ρεαλιστικό τρόπο σε ορισμένες εφαρμογές.
- c.** Στις πειραματικές μεθόδους. Σ' αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται μέθοδοι σχεδιασμού βασισμένοι ή στο ανώτερο υπολογιστικό μοντέλο ή σε μεθόδους που βασίζονται σε πειραματικά αποτελέσματα.

1.4.4 Απλά μοντέλα υπολογισμού

Η φέρουσα αντοχή λειτουργικότητας ενός χαλύβδινου μέλους μπορεί να διατηρηθεί σε συνθήκες φωτιάς, μετά από ένα χρόνο t εάν:

$E_f \leq R_{f,t}$ είναι το αποτέλεσμα δράσεως σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς σύμφωνα με ENV 1911 2-2

$R_{f,t}$ = αντίστοιχη αντίσταση σχεδιασμού του χάλυβα (χαλύβδινου μέλους) σε χρόνο t σε κατάσταση πυρκαγιάς, η οποία καθορίζεται από τη διανομή της θερμοκρασίας στη διατομή, τροποποιώντας την αντοχή σχεδιασμού σε κανονική συνθήκη θερμοκρασίας. ENV 1993 1-1.

Η αντοχή των συνδέσεων μεταξύ των μελών, δεν απαιτεί έλεγχο, διότι προβλέπεται ότι η θερμική αντίσταση $(df/lf)_c$ της προστασίας της σύνδεσης πυροπροστασίας δεν θα είναι μικρότερη από την ελάχιστη τιμή της θερμικής

αντίστασης $(df/lf)_m$ της πυροπροστασίας του καθενός από τα μέλη του χάλυβα.

df = το πάχος του προστατευτικού υλικού όταν:

$df = 0$ για απροστάτευτα μέλη

lf = θερμοαγωγιμότητα του υλικού πυροπροστασίας

όπου τα μέσα προστασίας απαιτούν την θεώρηση κριτηρίων παραμόρφωσης, πρέπει να εκτελείται όπως ορίζεται στην παρ. 4.2.4 του Ευρωκώδικα 3, αλλά και αντικαθιστώντας τους μειωτικούς συντελεστές $K_{Y,\theta}$ και $K_{Y,\theta_{max}}$ για την αντοχή διαρροής στις θερμοκρασίες θ_α (t_α) και $\theta_{\alpha_{max}}$ με τους τροποποιημένους μειωτικούς συντελεστές $K_{X,\theta}$ και $K_{X,\theta_{max}}$.

1.4.5 Ταξινόμηση των διατομών (Ευρωκώδικας 3 – Μέρος 1-2 παρ.4.2.2)

- Κατά τον σχεδιασμό σε συνθήκες φωτιάς, ένα θλιβόμενο μέλος μπορεί να ταξινομηθεί με σχεδιασμό σε κανονική θερμοκρασία, χωρίς καμία αλλαγή.
- Μια αμφιέριστη δοκός που φέρει πλάκα σύμμεικτη, αν εκτεθεί και από τις τρεις πλευρές, μπορεί να ταξινομηθεί με σχεδιασμό σε κανονική θερμοκρασία χωρίς καμία αλλαγή.
- Κάθε άλλο μέλος μπορεί να ταξινομηθεί χρησιμοποιώντας τροποποιημένη τιμή του ε που δίνεται από τον τύπο $\varepsilon = [(235/f_y)(K_{E,\theta} / K_{Y,\theta})]^{0.5}$

1.4.6 Εφελκούμενα μέλη (Ευρωκώδικα 3 – Μέρος 1-2 παρ.4.2.3, 4.2.3.1)

- Η αντοχή σχεδιασμού $N_{fi,t,Rd}$ τη χρονική στιγμή t ενός εφελκούμενου μέλους, καθορίζεται ως:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i K_{y,\theta_i} f_y / Y_{m,fi}$$
 όπου:
 A_i = στοιχειώδης περιοχή της διατομής με θερμοκρασία θ_i
 K_{Y,θ_i} = μειωτικός συντελεστής της αντοχής διαρροής του χάλυβα σε θερμοκρασία θ_i
 θ_i = η θερμοκρασία στην περιοχή A_i
- Η αντοχή σχεδιασμού $N_{fi,t,Rd}$ την χρονική στιγμή t ενός εφελκούμενου μέλους όταν υπάρχει ομοιόμορφη θερμοκρασία, λαμβάνεται ίση με την αντοχή σχεδιασμού $N_{fi,\theta_\alpha,Rd}$ με σταθερή θερμοκρασία θ_α ίση με την μέγιστη θερμοκρασία χάλυβα $\theta_{\alpha,max}$ την χρονική στιγμή t .
 Καθορίζεται δε από:

$$N_{fi,\theta,Rd} = K_{Y,\theta} N_{Rd} [Y_{m,1} / Y_{m,fi}]$$
 όπου:
 $K_{Y,\theta}$ = μειωτικός συντελεστής αντοχής διαρροής χάλυβα σε θερμοκρασία θ_α
 N_{Rd} = η αντοχή σχεδιασμού για την ολική διατομή $N_{ol,Rd}$ για σταθερή θερμοκρασία σχεδιάσμου.

1.4.7 Δοκοί κατηγορίας 1 διατομών 1 και 2

- a. Η ροπή αντίστασης των διατομών κατηγορίας 1 και 2 με ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας, κατά την χρονική στιγμή t καθορίζεται ως:

$$M_{fi,ti,Rd} = \sum_i^n A_i Z_i K_{y,\theta_i} f_{y,i} / \gamma_{m,fi} \text{ όπου:}$$

Z_i = η απόσταση από τον πλαστικό ουδέτερο άξονα στο κέντρο βάρους της περιοχής A_i .

$f_{y,i}$ = ονομαστική αντοχή διαρροής f_y της περιοχής A_i που λαμβάνεται ως θετική στην θλιβόμενη περιοχή του πλαστικού ουδέτερου άξονα, και αρνητική στην εφελκούμενη πλευρά.

A_i και $K_{y,\theta_i} = A_i$ στοιχειώδης περιοχή της διατομής με θερμοκρασία θ_i

K_{y,θ_i} = μειωτικός συντελεστής της αντοχής διαρροής χάλυβα σε θερμοκρασία θ_i

- b. Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας των διατομών, με μη ομοιόμορφη διανομή θερμοκρασίας, είναι ο κάθετος άξονας στο επίπεδο λογισμού που ικανοποιεί το κτίριο

$$\sum_{i=1}^n A_i K_{y,\theta_i} f_{y,i} = 0$$

1.4.8 Κρίσιμη θερμοκρασία

Στα παραμορφωτικά κριτήρια, που η κρίσιμη θερμοκρασία του χάλυβα $\theta_{\alpha,cr}$ τη χρονική στιγμή t , θα καθορίζεται από τον βαθμό χρησιμοποίησης μ_0 σε χρόνο $t = 0$ και θα χρησιμοποιείται ο τύπος $\theta_{\alpha,cr} = 39,19 \ln[1/0.967 \mu_0^{3833} - 1] + 482$

Για όλα τα εφελκούμενα μέλη, ο βαθμός χρησιμοποίησης μ_0 , τη χρονική στιγμή $t=0$ χρησιμοποιείται $\mu_0 = E_{ft,d} / R_{fR,d,0}$ όπου:

$R_{fR,d,0}$ = τιμή της $R_{fR,d,t}$ για $t=0$

$E_{ft,d}$ = είναι το αποτέλεσμα των δράσεων σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς, σύμφωνα με ENV 1991.2-2

$R_{fR,d,t}$ = αντίστοιχη αντοχή σχεδιασμού χάλυβα ή χαλύβδινου μέλους, σε κατάσταση πυρκαγιάς σε χρόνο t .

Για τα εφελκούμενα μέλη και για τις δοκούς οστρεπτοκαμπτικός λυγισμός δεν είναι ενδεχόμενος τρόπος αστοχίας λαμβάνεται ως :

$$\mu_0 = \eta f [\gamma_{mty} / \gamma_{mi}]$$

παραδείγματα εφελκόμενου στοιχείου

1.4.9 Σε αμφιέρεστη δοκό που καταπονείται από τα εξής αξονικά φορτία

Μόνιμα φορτία : $N_g = 500 \text{KN}$

Κινητά φορτία : $N_g = 320 \text{KN}$

Αξονική δύναμη σχεδιασμού:

$$N_{sd} = 1,35N_{gt} + 1,50N_g \Rightarrow N_{sd} = (1,35 \times 500) + (1,5 \times 320) \Rightarrow N_{sd} = 1155 \text{ KN}$$

$$F_e 360 \Rightarrow \sigma_y = 23,5 \text{ KN/cm}^2 = 235 \text{ Mpa}$$

$$\text{Πρέπει: } R_d \geq N_{sd} \Rightarrow A_{sy} / 1,10 \geq 1155 \Rightarrow A_{23,5/1,10} \geq 1155 \Rightarrow A \geq 54,0 \text{ cm}$$

$$\text{Επιλέγω λοιπίν IPE 330 με } F = 62,6 \text{ cm}^2$$

$$H = 330 \text{ mm}$$

$$B = 160 \text{ mm}$$

Ο έλεγχος επάρκειας σε συνθήκες φωτιάς.

$$1,00 N_g + 1,00 q = A_{sy,\theta} \Rightarrow (1,00 \times 5,00) + (1,00 \times 320) = 62,6_{sy,\theta} \Rightarrow 800 = 62,6_{sy,\theta} \Rightarrow$$

$$sy,\theta = 130,99 \text{ KN/m}^2$$

$$sy,\theta / sy = 130,99 / 235 = 0,557$$

από $K_{q\theta} = f_{q\theta} / f_y = K_{y\theta} = 0,557$ με γραμμική παρεμβολή προκύπτει $\theta = 571,93 = 572 \text{ }^\circ\text{C}$ κρίσιμη θερμοκρασία.

Για μη μονωμένο μεταλλικό μέλος.

A_m/V = περίμετρος / εμβαδόν διατομής

$$\text{Περίμετρος: } [16,0 + (1,15 + 7,625) \times 2,0] \times 2,0 + 27,1 \times 2,0 = 121,3 \text{ cm}$$

$$\text{όπου } d = 16,0 \text{ cm} \quad t = 1,15 \text{ cm}$$

$$d - S/2 = 7,625 \text{ cm}$$

$$h - 2c = 27,1 \text{ cm}$$

άρα ο συντελεστής διατομής είναι:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{121,3 \text{ cm}}{62,6 \text{ cm}^2} = 1,213 \text{ m} / 6,2 \times 10^3 \text{ m}^2 = 193,77 \text{ m}^{-1}$$

Με γραμμική παρεμβολή για $\theta_g = 571,93 \text{ }^\circ\text{C}$ και

$$\frac{A_m}{V} = 193,77 \text{ m}^{-1} \Rightarrow t = 12,996 \text{ min} = 13 \text{ min}$$

Ο χρόνος αυτός είναι ανεπαρκής και το μέλος πρέπει να μονωθεί.

1.4.10 Παράδειγμα καμπτόμενου στοιχείου

Αμφίεραστη δοκός, ανοίγματος 8,0m της οποίας το άνω θλιβόμενο πέλμα έχει επαρκή πλευρική προστασία, φέρει ομοιόμορφα κατανεμημένα κατακόρυφα φορτία

$$\text{Μόνιμα φορτία: } G_i = 500 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κινητά φορτία: } Q = 320 \text{ KN/m}$$

$$F_e 360 \Rightarrow \sigma_y = 23,5 \text{ KN/cm}^2 \Rightarrow \sigma_y = 235 \text{ Mpa}$$

♦ Δυσμενής φόρτιση μέλους έχει:

$$P_{sd} = 1,35 G_i + 1,50 Q \Rightarrow P_{sd} = 15,9 \text{ KN/m}$$

♦ Ροπή κάμψης $M_{max} = P_{sd} l^2 / 8 \Rightarrow M_{max} = 127,2 \text{ KN/m}$

♦ Ροπή σχεδιασμού $M_{sd} = 127,2 \text{ KNm}$ πρέπει:

$$M_{sd} \leq M_{p,l} / 1,10 \Rightarrow M_{p,l} \geq M_{sd} * 1,10 \Rightarrow M_{p,l} \geq 139,92 \text{ KNm}$$

$$M_{p,l} = 2W_x \sigma_y \geq 139,92 \Rightarrow W_x \geq 297,7 \text{ cm}^3$$

♦ Επιλέγουμε διατομή IPE 240 μ3

$$W_x = 324 \text{ cm}^3, \quad F = 39,1 \text{ cm}^2, \quad h = 240 \text{ mm}, \quad b = 12 \text{ mm}$$

- ◆ Έλεγχος επάρκειας σε συνθήκες φωτιάς
 $1,0 G_i + 1,0 Q = F_{\sigma_y, \theta} \Rightarrow 88 = 39,1 \sigma_{y, \theta} \Rightarrow \sigma_{y, \theta} = 2,25 \text{ KN/m}^2 = 22,5 \text{ Mpa}$
 $\sigma_{y, \theta} / \sigma_y = 22/235 = 0,094$ για $K_{y, \theta} = 0,095$
προκύπτει ότι η κρίσιμη θερμοκρασία είναι $760 \text{ }^\circ\text{C}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οποιαδήποτε βιομηχανική δομική κατασκευή, κατοικία, ξενοδοχείο κλπ. θεωρείται ως ένα σύστημα. Όταν σε αυτό εκδηλωθεί πυρκαγιά έχουμε ένα καιόμενο σύστημα.

Σ' ένα τέτοιο σύστημα έχουμε τα προϊόντα καύσης που διακρίνονται (NFRA) σε μη θερμικά (καπνός, τοξικά αέρια) και θερμικά (θερμότητα, φλόγες).

Η επίδραση αυτών των προϊόντων στον άνθρωπο είναι μεγάλη και μπορεί να επιφέρει ακόμη και θάνατο. Στα κτίρια δε, να προκαλέσει πολύ μεγάλες ζημιές, με πολύ μεγάλο οικονομικό κόστος αποκατάστασης.

Η ποιότητα και η πυκνότητα καπνού των αερίων, καθώς και η ποσότητα θερμότητας και φλογών, όπως προαναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εξαρτάται από τη χημική σύσταση και την ποσότητα της καιόμενης ύλης, την περιεκτικότητα σε οξυγόνου στον αέρα, και από τις παραμέτρους που επηρεάζουν την εξάπλωση της φωτιάς π.χ. ελεύθερα ανοίγματα, επιφάνεια της όψης που εκπέμπει ακτινοβολία κλπ. Γι' αυτό τον λόγο, όταν επιχειρείται κατάσβεση πυρκαγιών και όταν οι συνθήκες το επιβάλλουν, πρέπει οι πυροσβέστες να είναι εφοδιασμένοι με ειδικές προστατευτικές στολές, προσωπίδες, φωτιστικούς φακούς, αναπνευστικές συσκευές κλπ.

Όταν μια πυρκαγιά επικρατεί εντός κλειστού χώρου (δωματίου), η ατμόσφαιρα είναι μίγμα καπνού- καυσαερίων αέρα (καπνική ατμόσφαιρα). Αυτό το μίγμα και η κανονική ατμόσφαιρα πριν την εκδήλωση πυρκαγιάς, συμπεριφέρονται όμοια κατά την κίνηση τους. Καθώς μεγαλώνει η πυρκαγιά, αυξάνουν η πίεση και η θερμοκρασία.

Κατά την διάρκεια της πλήρους ανάπτυξης της φωτιάς στο δωμάτιο, η θερμοκρασία μπορεί να είναι 220 °C.

Σύμφωνα με την καταστατική εξίσωση των αερίων, που εκφράζεται από τον τύπο $P \cdot V_m = R \cdot T$ και για τις δύο καταστάσεις. (κανονική ατμόσφαιρα δωματίου – όγκος αέρα V_1 , πίεση P_1 , απόλυτη θερμοκρασία T_1 , και καπνική ατμόσφαιρα δωματίου - όγκος V_2 , πίεση P_2 , απόλυτη θερμοκρασία T_2).

$$\text{Ισχύει: } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Μικρή μεταβολή της πίεσης, τέτοια ώστε $P_1 = P_2$ (ή περίπου ίσο) είναι αρκετή να προκαλέσει σημαντική ροή καπνού και αέρα από φωτιά.

Αν δεχθούμε ότι η σχετική θερμοκρασία του χώρου πριν από τη φωτιά είναι 21 °C και η σχετική θερμοκρασία στις συνθήκες πυρκαγιάς είναι 650 °C, οι αντίστοιχες απόλυτες θερμοκρασίες είναι:

$$T_1 = 273^\circ + 21^\circ = 294^\circ \text{C}$$

$$T_2 = 273^\circ + 650^\circ = 923^\circ \text{C}$$

Η μεταβολή του όγκου μπορεί να προσδιορισθεί ως:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{V_1}{294} = \frac{V_2}{923}$$

Έτσι ο όγκος των αερίων αυξάνει κατά ένα συντελεστή 3 ή και μεγαλύτερο.

Κάθε κυβικό καθαρού αερίου, όταν εισέρχεται στον καιόμενο χώρο διαστέλλεται με αυτό τον συντελεστή, πριν αντικατασταθεί από το καπνικό μίγμα.

Τα θερμά αέρια καθώς κινούνται μακριά από τη φωτιά, ψύχονται κι έτσι επανακτούν τον κανονικό (αρχικό) όγκο τους. Ακόμη και με σταδιακή τέτοια ψύξη, το αποτέλεσμα της χωρικής διαστολής είναι ότι τα αέρια στις συνθήκες πυρκαγιάς, αποκτούν διπλάσιο όγκο του αέρα που εμπλέκεται στο φαινόμενο (σύμφωνα με την πληροφόρηση του NFRA).

Οι ποσότητες καθαρού αέρα και καπνού, αν και είναι αρκετές, είναι λιγότερο σημαντικές από την ποσότητα του αέρα που διέρχεται μέσω του κτιρίου στη διάρκεια της πυρκαγιάς.

Το γεωμετρικό σχήμα του κτιρίου και οι διευθετήσεις χώρων έχουν σοβαρή επίδραση στην κίνηση του καπνού και τη διάδοση θερμότητας. Γι' αυτό ο κτιριακός σχεδιασμός επιβάλλει ρεαλιστικές εκτιμήσεις, αν θέλουμε να έχουμε πυροπροστασία κατασκευών. Σε αυτά τα πλαίσια, αυτόματα συστήματα πυροπροστασίας, συνιστούν συχνά τις απαραίτητες προϋποθέσεις για πυρασφάλεια.

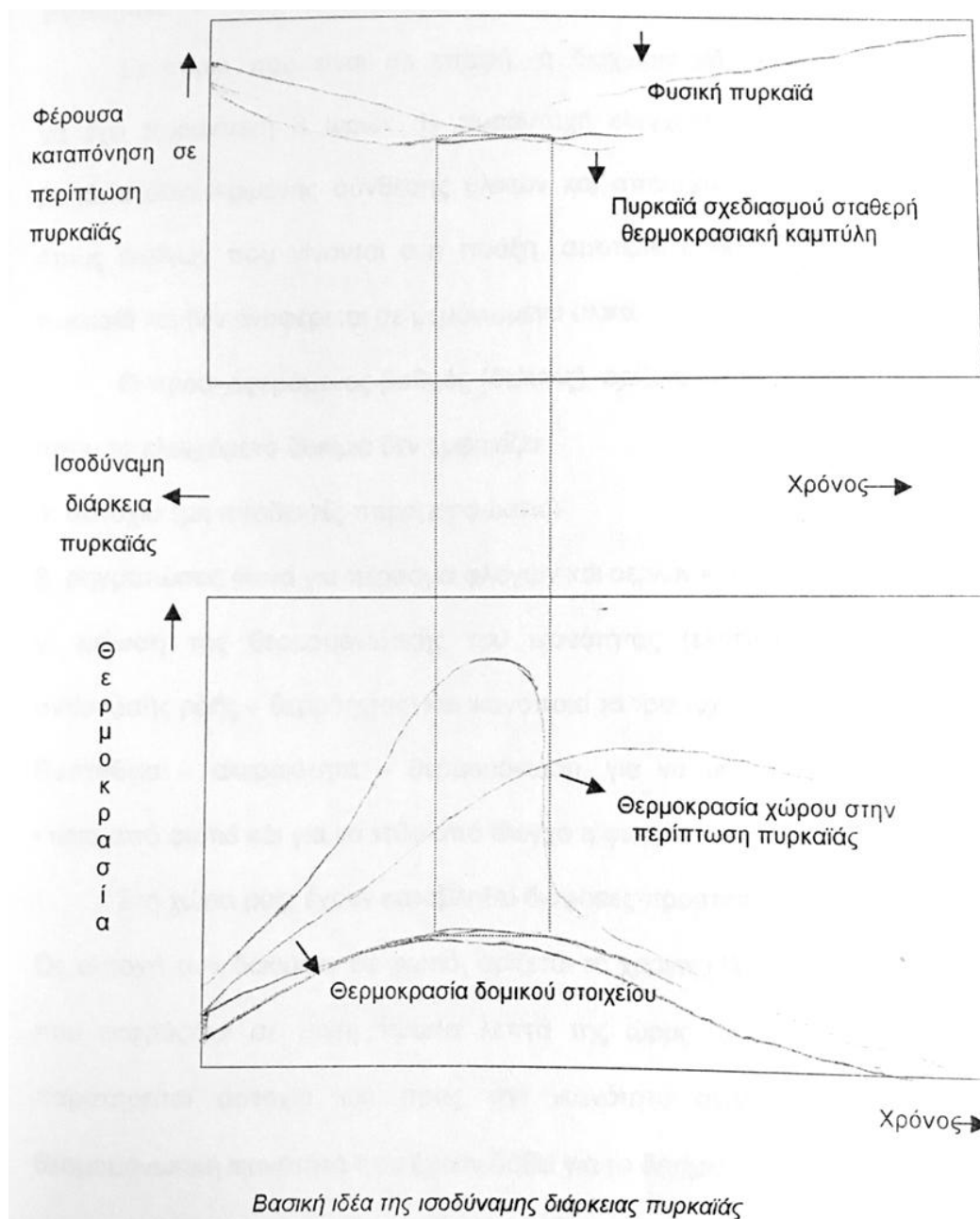
Σε ότι αφορά τα κτίρια, η εξέλιξη της πυρκαγιάς εξαρτάται από την πυραντοχη, όχι μόνο των εξωτερικών τοιχοποιιών αλλά και των δομικών στοιχείων. Υπάρχουν απλές υπολογιστικές μέθοδοι πυροπροστασίας που επιτρέπεται να εφαρμόζονται για απλούς φορείς ή δομικά στοιχεία, π.χ. δοκούς ενός ανοίγματος και αμφιαρθρωτά υποστυλώματα για την αντιμετώπιση ολόκληρων κατασκευών.

Από την πλευρά των δράσεων, επιτρέπεται να λαμβάνονται υπόψη φυσικές πυρκαγιές αντί της σταθερής μοναδιαίας θερμοκρασιακής καμπύλης. Η καταπόνηση των δομικών στοιχείων σε περίπτωση πυρκαγιάς πρόκειται στο μέλλον να χαρακτηρίζεται σαν φόρτιση πυρκαγιάς.

Με τη διατήρηση της στάθμης της προστασίας στα σημερινά επίπεδα είναι δυνατή η βελτίωση των μέτρων προστασίας από την πυρκαγιά. Για ασυνήθεις καταστάσεις, στην περίπτωση πυρκαγιάς, οι επιμέρους συντελεστές

ασφαλείας για τις ικανότητες καταπόνησης, επιτρέπεται να λαμβάνονται, ανεξάρτητα από τον τρόπο – μέθοδο κατασκευής.

Η μελέτη επιρροής, που οδηγεί σε διαφορές στους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας της κατασκευής στην κανονική θερμοκρασία του χώρου, δε χάνουν τη σημασία τους στη περίπτωση της πυρκαϊάς. Σαν αποτέλεσμα προκύπτει ένα διαφορετικό επίπεδο ασφαλείας.



Γενικά η ικανότητα μιας κατασκευής ή ενός δομικού στοιχείου κτιρίου, να αντιστέκεται στα θερμικά αποτελέσματα μιας πυρκαϊάς, ικανοποιητικά χωρίς να χάνει τη θερμομόνωση ή την φέρουσα ικανότητα, προβλέπεται σε διατάξεις, κώδικες, κανονισμούς και πρότυπα ελληνικά και ξένα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι:

Σε κτίρια που είναι σε επαφή , η διαχωριστική μεσοτοιχία, πρέπει να έχει πυραντοχή 3 ωρών. Η πυραντοχή ελέγχεται πειραματικά με την βοήθεια συγκεκριμένης σύνθεσης υλικών και απαιτήσεων λειτουργικότητας, όπως εκείνων που γίνονται στη πράξη, αποτελεί βαθμό αντίστασης στην πυρκαγιά και δεν αναφέρεται σε μεμονωμένα υλικά.

Ο προαναφερόμενος βαθμός (δείκτης), ορίζεται με τη χρονική διάρκεια, όπου το ελεγχόμενο δοκίμιο δεν εμφανίζει:

- Αστοχία (μη αποδεκτές παραμορφώσεις)
- Ρηγματώδεις (κενά για πέρασμα φλογών και αερίων καύσης)
- Μείωση της θερμομονωτικής του ικανότητας (ελάττωση του βαθμού αντίστασης ροής – θερμότητας) και ικανοποιεί το τρίπτυχο – ευστάθεια / ακεραιότητα / θερμομόνωση, για να μην καταρρεύσουν τα κτίρια από φωτιά και για να τεθεί η φωτιά υπό έλεγχο.

Στη χώρα μας, έχουν καταβληθεί διάφορες προσπάθειες τυποποίησης. Ως αντοχή των δοκιμίων σε φωτιά, ορίζεται το χρονικό διάστημα θέρμανσης, που εκφράζεται σε λεπτά της ώρας (min), μέχρι τη στιγμή που παρατηρείται αστοχία ως προς την ικανότητα ανάληψης φωτιάς και θερμομονωτική ικανότητα που έχουν δοθεί για το δοκίμιο.

Η ανύψωση της θερμοκρασίας (θέρμανση) γίνεται σε κλίβανο και λαμβάνεται ότι:

$$T = T_0 + 345 \log(8t+1) \text{ όπου}$$

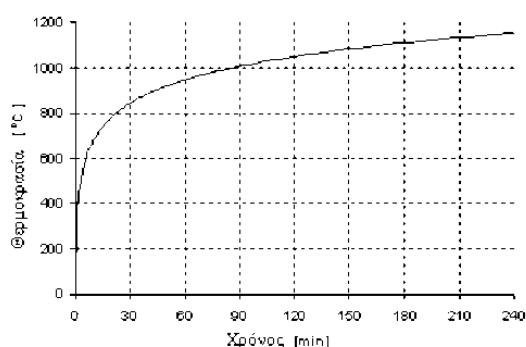
$$t = \text{ο χρόνος σε λεπτά (min)}$$

T = θερμοκρασία κλιβάνου στη χρονική στιγμή t σε °C

T₀ = αρχική θερμοκρασία κλιβάνου σε °C

Η σχέση αυτή δίνει τιμές που περιέχει ο πίνακας 2.1

Χρόνος t	Ανύψωση θερμοκρασίας
	Κλιβάνου T – T ₀ °C
Min	
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	936
120	1029
180	1090
240	1133
360	1193



Πίνακας 2.1

Ανύψωση θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο

Υλικά που όταν καίγονται παράγουν τοξικά αέρια και μεγάλη ποσότητα καπνού.

Τα μη θερμικά προϊόντα της καύσης είναι διάφορα αέρια που παράγονται ή ελευθερώνονται από τις διεργασίες που συντελούνται στις πυρκαγιές καθώς και ο καπνός που προκαλείται από τις διεργασίες. Υλικά που όταν καίγονται παράγουν τοξικά (δηλητηριώδη) αέρια ή πολύ καπνό αναφέρονται στο πίνακα 2.2. Και μας δίνουν μια σαφή εικόνα κινδύνων που έχουμε σε πυρκαγιές κτιρίων, όταν μέσα σε αυτά καίγονται υλικά που παράγουν τοξικά αέρια και πολύ καπνό.

Υλικό	Αέριο	Παρατηρήσεις
Μαζί ή ελαστικό	Υδροθείο διοξειδίου του θείου	Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 500 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο προκαλεί θάνατο)
Μαζί, μετάξι, νάυλον, μελαμίνες	Αμμωνία	Μπορεί να προκαλέσει μείωση της ικανότητας της δράσης.
Υφάσματα Ανόργανα άλατα νιτρικής αλκοόλης, αμμωνίου (Πυρολυόμενα)	Υδροξείδιο του αζώτου	Προκαλεί και θάνατο σε 10min όταν φθάσει τα 200 ppm
Πετρελαιοειδή	Ακριλική αλδεύδη ακρολεΐνη	Πολύ τοξική και σε 50-100 ppm
Πλαστικά (PVC)	Υδροχλώριο	Πολύ επικίνδυνο άνω των 500 ppm
Ξύλο	Μονοξείδιο του άνθρακα	Ο καπνός προκαλεί α) οπτική συσκότιση, β) δηλητηριάσεις

Πίνακα 2.2

2.1.1 Εξαερισμός

Η πυροδιαμερισματοποίηση προσφέρεται για τον περιορισμό των θερμικών προϊόντων της καύσης καπνού και αερίων, στο χώρο της αρχικής εκδήλωσης της πυρκαγιάς. Μερικές φορές όμως διάφοροι λόγοι, όπως οικονομικοί και πρακτικοί, δεν επιτρέπουν την εφαρμογή της και αναζητούνται άλλες λύσεις, ιδιαίτερα στο πρόβλημα αντιμετώπισης του καπνού.

Μια τέτοια προσπάθεια αποτελεί ο εξαερισμός που σημαίνει συστηματική διευθέτηση του καπνικού μίγματος, με σκοπό τον έλεγχο και την τελική απομάκρυνση του από το κτίριο. Στόχοι αυτού του ελέγχου είναι:

α . η διατήρηση των οδύσεων διαφυγής, καθαρών από καπνούς

β . η διατήρηση μιας καθαρής ατμόσφαιρας για την διευκόλυνση της πυροσβεστικής επέμβασης

γ . η διατήρηση των δομικών στοιχείων από τα θερμά καυσαέρια.

Το πρόβλημα όμως του εξαερισμού είναι δύσκολο. Στα μονώροφα κτίρια, προβλέπεται διέξοδος (εξαεριστήρων) στην οροφή. Κι αυτό είναι μία λύση. Στα υπόγεια, η δυνατότητα αερισμού είναι πάρα πολύ περιορισμένη. Τα ανοίγματα του εξαερισμού τοποθετούνται στην κορυφή έξω από την περίμετρο του κτιρίου, ενώ τα ανοίγματα εισαγωγής καθαρού αέρα τοποθετούνται στο δάπεδο του υπογείου.

Ο εξαερισμός πολυώροφων κτιρίων γίνεται με φυσικό τρόπο (κίνηση καπνικού μίγματος) από ανοίγματα των ορόφων σε κάθε πάτωμα, που συγκεντρώνουν τον καπνό σ'ένα κατακόρυφο αγωγό, συνήθως στον υπάρχοντα φωταγωγό. Παράλληλα , η δημιουργία ανοιγμάτων εισαγωγής καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα από χαμηλότερα ανοίγματα είναι αναγκαία.

Τα μηχανήματα κλιματισμού επειδή μπορεί να βοηθήσουν την μετάδοση καπνού πυρκαγιάς στο κτίριο, πρέπει να τύχουν της σωστής μελέτης κλιματισμού.

Επειδή οι αγωγοί αερισμού βοηθούν συχνά στη μετάδοση της πυρκαγιάς και στη μετάδοση τοξικών επενεργειών, τίθενται στις μέρες μας σε εφαρμογή διάφορες τεχνικές ώστε να αποφεύγονται τα παραπάνω , όπως οι πυροφραγμοί. Οι οποίοι είναι κινητές θυρίδες (dampers) που πέφτουν όταν λιώσει το εύτηκτο υλικό που τις συγκρατεί (έτσι να είναι μέσα σε πυράντοχο πλαίσιο στο οποίο να προσαρμόζονται οι αγωγοί). Ο τρόπος που επιβάλλεται η πυραντίσταση από την νομοθεσία και πως παρουσιάζεται η διαγραμματικά εξελισσόμενη πυρκαγιά.

2.1.2 Πυραντίσταση φέρουσας κατασκευής

Πυραντίσταση ενός δομικού στοιχείου ονομάζεται η ικανότητα του να αντιστέκεται για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα που ονομάζεται *δείκτης πυραντίστασης* στην επίδραση μιας φωτιάς, χωρίς απώλεια της ευστάθειας της μηχανικής του αντοχής και της αντίστασης του στη δίοδο της θερμότητας.

Ο δείκτης πυραντίστασης εκφράζεται σε min ή συχνά με ένα αριθμό και το γράμμα F(=Fire). Ο αριθμός εκφράζει σε min τον αντίστοιχο δείκτη. Στον «Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων» (Κ.Π.Κ Π.Δ. 71/88) δίνονται πίνακες δεικτών πυραντίστασης για τα φέροντα στοιχεία, τα τελειώματα και τα συνηθισμένα υλικά μέσα δομικών κατασκευών (πλινθοδομές, υποστυλώματα, δοκούς, πατώματα κ.λ.π.). Οι τιμές των πινάκων επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς χωρίς πειραματική ή λογιστική

επαλήθευση. Ο φέρων οργανισμός των κτιρίων, σε περίπτωση πυρκαγιάς πρέπει να φέρει τα φορτία για τα οποία προορίζεται.

2.1.3 Ερμηνεία του διαγράμματος ανάπτυξης θερμοκρασίας

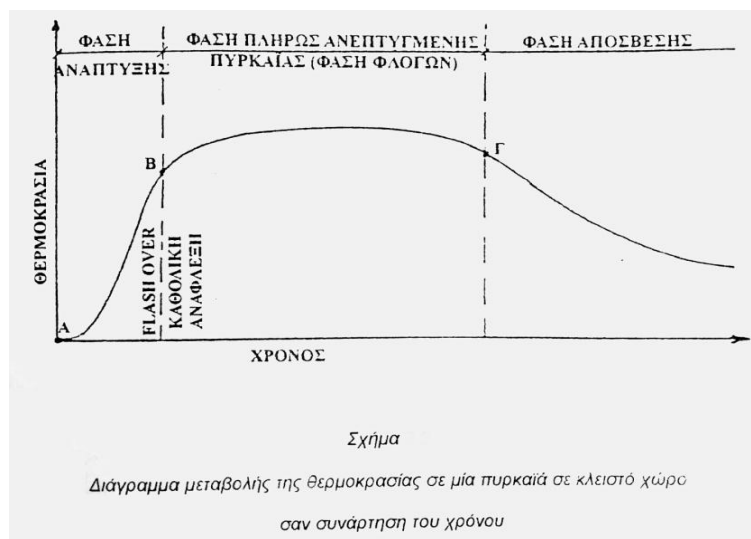
Σε κλειστούς χώρους με εξελισσόμενη φωτιά, τα αέρια και ο καπνός της καύσης κάτω από την οροφή, προκαλούν τη θέρμανση των αντικειμένων που έρχονται σε επαφή μαζί τους και παράλληλα δέχονται την θερμική ακτινοβολία των φλογών (πυρακτωμένων στερεών σωματιδίων). Όταν τα αναφλέξιμα αντικείμενα θερμανθούν αρκετά, αναφλέγονται απότομα και η φάση αυτή χαρακτηρίζεται ως *καθολική ανάφλεξη* (flash over).

Στο διάγραμμα του σχήματος όπου απεικονίζεται η θερμοκρασία του χώρου συναρτήση του χρόνου, στο χρονικό διάστημα A –B που είναι η φάση ανάπτυξης της φωτιάς, η αύξηση της θερμοκρασίας είναι βραδεία και μεταξύ των εστιών ανάπτυξης υπάρχει ελεύθερος χώρος από φλόγες, απ'όπου μπορούν να περάσουν και να διαφύγουν άνθρωποι.

Από τη στιγμή B που γίνεται η καθολική ανάφλεξη μέχρι τη χρονική στιγμή Γ, εμφάνισης της μέγιστης θερμοκρασίας, επικρατεί πλήρως ανεπτυγμένη φωτιά. Κατά τη φάση αυτή, όλος ο χώρος είναι γεμάτος φλόγες και η διαφυγή ανθρώπων είναι αδύνατη (καθολική εξελιγμένη πυρκαγιά).

Με τη χρονική στιγμή Γ αρχίζει η εξάντληση των καυστών υλικών του χώρου και έχουμε την περίοδο απόσβεσης της πυρκαγιάς.

Εάν ο χώρος είναι και παραμένει κλειστός, η φωτιά καεί ελεύθερα έως ότου λιγοστέψει το οξυγόνο του χώρου. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό, ότι σε ένα χώρο που υπάρχει βραδεία ανανέωση του αέρα, είναι βραδεία και η ανάπτυξη της φωτιάς αφού βέβαια χρειάζεται εξωτερική προσαγωγή οξυγόνου, όπως σε ένα διαμέρισμα κτιρίου.



Στη φάση της καθολικά αναπτυσσόμενης φωτιάς, η πυρκαγιά έχει αποκτήσει τα χαρακτηριστικά σοβαρότατης απειλής (η σημαντικότητα της – severity δε μπορεί να παραβλέπεται).

Διακρίνονται δύο περιπτώσεις καθολικά αναπτυσσόμενης φωτιάς ανάλογα από το αν η ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου εξαρτάται από το ρυθμό προσαγωγής αέρα ή από το ρυθμό διάδοσης της φωτιάς στο καύσιμο.

α . Όταν η ταχύτητα εξέλιξης της καύσεως εξαρτάται από την ποσότητα του διαθέσιμου αέρα (και όχι από την επάρκεια της ποσότητας καύσιμου ύλης),

ισχύει: $R = CA\sqrt{H}$

όπου:

R = η ταχύτητα καύσεως (σε Kg/min)

C = σταθερός αριθμητικός συντελεστής που κυμαίνεται μεταξύ 5,0 και 6,2

A = η επιφάνεια ανοιγμάτων (σε m²)

H = το ύψος των ανοιγμάτων (σε m)

Η χρονική διάρκεια της καύσης σε αυτή τη περίπτωση δίνεται από τη σχέση:

$R = f / [tA\sqrt{H}]$

t= ο χρόνος σε min

f=το πυροθερμικό φορτίο

β . Όταν η ταχύτητα εξέλιξης της καύσης, εξαρτάται από τα καύσιμα , η φωτιά εξελίσσεται με συνθήκες που προσομοιάζουν με την αντίστοιχη σε ανοιχτό χώρο. Αν και έχουν γίνει πολλές πρόοδοι, η πλήρης περιγραφή της εξέλιξης της πυρκαγιάς με βάση τις χαρακτηριστικές παραμέτρους δεν είναι ακόμα δυνατή. Όμως με την παραδοχή ότι η θερμοκρασία μέσα στον χώρο είναι ομοιόμορφη και ότι η ποσότητα της καιόμενης ύλης ανά μονάδα χρόνου είναι σταθερή κατά την περίοδο της ανεπτυσσόμενης πυρκαγιάς , έγινε δυνατό να κάνουμε ή να έχουμε προβλέψεις ικανοποιητικής προσέγγισης για την μέγιστη θερμοκρασία του χώρου.

Έτσι είναι δυνατό παράλληλα με το στατικό υπολογισμό ενός κτιρίου, να γίνεται και ο καθορισμός των μέτρων προστασίας των φέρουσων κατασκευών και διαχωριστικών στοιχείων, που προορίζονται να εμποδίσουν τη μετάδοση της φωτιάς.

2.1.4 Επιφανειακή εξάπλωση φλόγας

Η αντοχή στην πυρκαγιά μπορεί να εκτιμηθεί από την αντίδραση ενός υλικού στη προώθηση της φλόγας. Ως επιφανειακή ταχύτητα φλόγας καθορίζεται ο ρυθμός διαδρομής ενός μετώπου σε ορισμένες συνθήκες καύσης.

Η ιδιότητα αυτή μπορεί α δώσει πληροφορίες για το ενδεχόμενο μετάδοσης μιας πυρκαγιάς σε γειτονικά αντικείμενα και μπορεί να εκτιμηθεί από το ρυθμό καύσης, την έκταση της καύσης και το ύψος της φλόγας σύμφωνα με την τροποποίηση ASTM E 83, F 162, κ.λ.π.

Η επιφανειακή εξάπλωση της φλόγας ενδιαφέρει πολύ τις δομικές κατασκευές. Π.χ. η αποτελεσματικότητα ενός πυροδιαμερίσματος στην αντιμετώπιση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς, εξαρτάται από τη φύση και τα θερμικά χαρακτηριστικά των διάφορων επιστρώσεων των εσωτερικών τελειωμάτων (υλικών που βρίσκονται σε άμεση επαφή με τους τοίχους, δάπεδα, οροφές) και αποτελούν την εκτιθέμενη εσωτερική επιφάνεια του πυροδιαμερίσματος στη φωτιά.

Η ταχύτητα επιφανειακής εξάπλωσης της φλόγας μετριέται σε πρότυπες δοκιμασίες και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ότι στρώσεις με μεγάλες τιμές ταχύτητας εξάπλωσης γρήγορα δίδουν τη φλόγα και σε άλλους χώρους.

2.2 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 1

Οι προθέσεις της πυροπροστασίας είναι να περιορίσουν τους κινδύνους, με σεβασμό στο άτομο και την κοινωνία, της γειτονικής παρουσίας και στην εκτεθειμένη στη φωτιά παρουσία.

Η κατασκευή πρέπει να σχεδιάζεται και να κτίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε:

- ◆ Η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής να θεωρείται για ορισμένη περίοδο του χρόνου
- ◆ Η γέννηση και εξάπλωση της φωτιάς και του καπνού να περιορίζεται μέσα στα κατασκευαστικά έργα
- ◆ Η εξάπλωση της φωτιάς στα γειτονικά κατασκευαστικά έργα, να περιορίζεται
- ◆ Οι ιδιοκτήτες να μπορούν να διαφύγουν από το έργο ή να διασωθούν με άλλους τρόπους
- ◆ Η ασφάλεια των ομάδων διάσωσης να λαμβάνεται υπόψη.

Οι Ευρωκώδικες κατασκευής, διανέμουν ορισμένες όψεις παθητικής πυροπροστασίας κατά τους όρους σχεδιασμού των κατασκευών και μέρη εκ των οποίων για ανεπαρκή φέρουσα ικανότητα και για τον περιορισμό της εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Λειτουργίες και επίπεδα εκτέλεσης που απαιτούνται, είναι γενικά καθορισμένες από τις διεθνείς αρχές, κατά τους όρους κατάταξης της σταθερής πυραντίστασης. Όπου επιδέχεται πυρασφάλεια για τον προσδιορισμό παθητικών και ενεργητικών μετρήσεων, οι απαιτήσεις από τις αρχές θα επιτρέπουν εναλλακτικές στρατηγικές.

Αναγνωρίζεται δε, ότι η μηχανή πυρασφάλειας επιτρέπεται για περισσότερα πρότυπα φωτιάς από αυτά που συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το έγγραφο. Επίσης αναγνωρίζεται ότι, η αποδοχή των πρότυπων πυρκαγιάς από τις διεθνείς αρχές, διαφέρει σ'όλη την έκταση της Ευρώπης και οι κανόνες μπορεί να επιτρέπουν το σχεδιασμό σύμφωνα με τις απαιτήσεις της πυραντίστασης σε σταθερή έκθεση φωτιάς.

2.2.1 Σκοπός του ENV 1991-2-2. Δράσεις στις κατασκευές που εκτίθενται σε συνθήκες φωτιάς.

1. Αυτό το μέρος αφορά δράσεις στις κατασκευές που εκτίθενται σε συνθήκες φωτιάς. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα μέρη του ENV 1992-96, ENV 1999, τα σχετικά με τον συνδυασμό σε συνθήκες φωτιάς, τα οποία δίνουν κανόνες σχεδιασμού των κατασκευών για πυραντίσταση.
2. Οι θερμικές δράσεις που δίνονται στο κύριο μέρος αυτού του εγγράφου περιορίζονται κυρίως στις ονομαστικές θερμικές δράσεις.
3. Αυτό το μέρος παρέχει γενικές διατάξεις και δράσεις για τον δομικό σχεδιασμό των κτιρίων και τις εργασίες των μηχανικών και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ENV 1991-1 «βάσεις σχεδιασμού», μέρη του ENV 1991, 1992-1996 και 1999.
4. Η εφαρμογή του ENV 1992-96 και 1999 είναι έγκυρο, αν η κανονική θερμοκρασία σχεδιασμού των κατασκευών είναι σε συμφωνία με τους Δομικούς Ευρωκώδικες.
5. Καλύπτει κατασκευαστικό σχεδιασμό που αναφέρονται παράγραφο 1.1.2 του ENV 1992-2-2. Σχετίζετε με τις περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται μια κατασκευή να παρέχει επαρκή απόδοση λειτουργικότητας κατά την έκθεση της σε συνθήκες φωτιάς.

2.2.2 Βασικές έννοιες –ορισμοί

Ένας βασικός κατάλογος ορισμών παρέχεται στον ENV 1991-1

- ♦ **Συντελεστής σχήματος F [-] (CONFIGURATION FACTOR)**
Λόγος μεταξύ στερεάς γωνίας από την οποία, από ένα ακριβές σημείο της επιφάνειας του μέλους, η εκτεταμένη περιφέρεια είναι ορατή 2Π.
- ♦ **Συντελεστής θερμικής μεταβίβασης ac [W/m^2K] (CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENT)**
Θερμική μεταβίβαση στο μέλος σχετικής της διαφοράς (μεταξύ του κύριου τη θερμοκρασίας αέρα), οριοθετεί την επιφάνεια του μέλους και την θερμοκρασία αυτής της επιφάνειας.
- ♦ **Σχεδιασμός σε συνθήκες φωτιάς (DESIGN FIRE)**
Ορισμένη ανάπτυξη φωτιάς που επιλαμβάνεται με σκοπό το σχεδιασμό σε συνθήκες φωτιάς.

- ◆ **Πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου σχεδιασμού q_d [MJ/m^2] (DESIGN FIRE LOAD DENSITY)**
Η Πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου δράσεως κατά τις συνθήκες φωτιάς. Η τιμή του q_d επιδέχεται παραδοχές εξαιτίας τυχόν ανακρίβειών και των απαιτήσεων ασφαλείας.
- ◆ **Αποτελέσματα δράσεων E (EFFECTS OF ACTION)**
Ροπές, δυνάμεις, τάσεις, παραμορφώσεις (σε σύγκριση των αποτελεσμάτων των δράσεων S : μόνο δυνάμεις και ροπές)
- ◆ **Εξωτερική καμπύλη φωτιάς (EXTERNAL FIRE CURVE)**
Η ονομαστική καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου προτιθέμενη για το εξωτερικό μέρος των διαχωριζομένων τοίχων, τα οποία μπορεί να εκτεθούν σε συνθήκες φωτιάς, από διαφορετικά μέρη κατευθείαν από το εσωτερικό.
- ◆ **Εξωτερικό μέλος (EXTERNAL MEMBER)**
Μέλη της κατασκευής τοποθετημένα έξω από το κτίριο, τα οποία μπορεί να εκτεθούν σε συνθήκες φωτιάς διαμέσου των ανοιγμάτων του εσωκλειόμενου κτιρίου.
- ◆ **Πυροθερμικό φορτίο Q [MJ] (FIRE LOAD)**
Το άθροισμα των θερμικών ενεργειών, που αποδεσμεύονται κατά την χρήση όλων των καιόμενων υλικών σ'ένα χώρο (περιεχόμενο κτιρίου και κατασκευαστικά στοιχεία).
- ◆ **Πυκνότητα πυροθερμικού φορτίου q [MJ/m^2] (FIRE LOAD DENSITY)**
Το πυροθερμικό φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας, σχετική με την περιοχή πατωμάτων: q με την επιφάνεια της περιοχής του υλικού περικλειόμενου χώρου, συμπεριλαμβανομένων των ανοιγμάτων q_f
- ◆ **Δείκτης πυραντίστασης (FIRE RESISTANCE)**
Η ικανότητα της κατασκευής ή μέρος αυτής ή ενός μέλους να εκπληρεί τις απαιτούμενες λειτουργίες (φέρουσα αντοχή λειτουργικότητας) για ορισμένη έκθεση σε φωτιά και για ορισμένη χρονική περίοδο.
- ◆ **Πυρότοιχος (FIRE WALL)**
Ο τοίχος που διαχωρίζει τα δύο κτίρια, ο οποίος είναι σχεδιασμένος για πυραντίσταση, δομική σταθερότητα, αντοχή, για οριζόντια φόρτιση, έτσι ώστε σε περίπτωση πυρκαγιάς η αστοχία της κατασκευής από την μία πλευρά του πυρότοιχου, να αποφεύγεται η εξάπλωση της πυρκαγιάς στην άλλη πλευρά του τοίχου.
- ◆ **Πλήρως αναπτυσσόμενη φωτιά (FULLY DEVELOPED FIRE)**
Το στάδιο της πλήρους καύσης όλων των καιόμενων επιφανειών κατά τη διάρκεια της φωτιάς μέσα σε ορισμένο χώρο.
- ◆ **Καμπύλη φωτιάς υδρογονανθράκων (HYDROCARBON FIRE CURVE)**
Η ονομαστική καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου αντιπροσωπεύοντας τα πυροθερμικά φορτία υδρογονανθράκων.
- ◆ **Έμμεσες δράσεις φωτιάς (INDIRECT FIRE ACTIONS)**

Θερμικές επεκτάσεις , θερμικές παραμορφώσεις και ανυψώσεις , προκαλώντας δυνάμεις και ροπές.

- ◆ **Λειτουργία φέρουσας ικανότητας (LOAD BEARING FUNCTION)**
Η ικανότητα της κατασκευής ή του μέλους να υφίστανται ορισμένες δράσεις κατά τη διάρκεια της φωτιάς, σύμφωνα με τα κριτήρια ορισμού.
- ◆ **Καθαρή θερμική ροή H_{net} [W/m^2] (NET HEATFLUX)**
Ενέργεια ανα μονάδα χρόνου και επιφάνειας περιοχής απορροφούμενη από τα μέλη.
- ◆ **Ονομαστική θερμοκρασία σχεδιασμού (NORMAL TEMPERATURE DESIGN)**
- ◆ **Προκύπτουσα ικανότητα ακτινοβολίας (RESULTANT EMISSIVITY)**
Ο λόγος μεταξύ της δρώσας θερμικής ακτινοβολίας στο μέλος και της καθαρής θερμικής ροής που θα συνέβαινε εάν το μέλος και η περιβάλλουσα ακτινοβολία του θεωρούνται ως μέλαν σώμα.
- ◆ **Λειτουργία διαχωρισμού (SEPARATING FUNCTION)**
Η ικανότητα ενός διαχωριστικού μέλους να προλαμβάνει την εξάπλωση της φωτιάς που γίνεται με τη διέλευση των φλογών ή των ζεστών αερίων ή της ανάφλεξης πέραν της εκτεθειμένης επιφάνειας(θερμική μόνωση) κατά τη διάρκεια της σχετικής έκθεσης σε φωτιά.
- ◆ **Διαχωριστικά μέλη (SEPARATING MEMBERS)**
Δομικά και μη δομικά μέλη (τοίχοι ή δάπεδα) διαμορφώνουν τον περικλειόμενο χώρο ενός πυροδιαμερίσματος.
- ◆ **Τυπική πυραντίσταση (STANDARD FIRE RESISTANCE)**
Η ικανότητα μιας κατασκευής ή μέρους αυτής (συνήθως μόνο μέλη) να εκπληρεί τις απαιτούμενες λειτουργίες για την τυπική έκθεση, σε συνθήκες φωτιάς για ορισμένη χρονική περίοδο.
- ◆ **Πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου (STANDARD TEMPERATURE – TIME CURVE)**
Μια ονομαστική καμπύλη που αντιπροσωπεύει κυρίως κυτταρινικού τύπου φορτία φωτιάς.
- ◆ **Δομικά μέλη (STRUCTURAL MEMBERS)**
Η φέρουσα αντοχή των μελών της κατασκευής συμπεριλαμβανομένων των στηρίξεων.
- ◆ **Ανάλυση της θερμοκρασίας (TEMPERATURE ANALYSIS)**
Η διαδικασία κατά την οποία καθορίζεται η αύξηση της θερμοκρασίας στα μέλη, βάσει των θερμικών δράσεων, οι θερμικές ιδιότητες του υλικού των μελών και των προστατευμένων περιοχών, όπου σχετίζονται.
- ◆ **Καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου(TEMPERATURE TIME CURVES)**
Οι θερμοκρασίες του αέρα στο περιβάλλον των επιφανειών του μέλους ως λειτουργία του χρόνου, μπορεί να είναι:

- a. **Ονομαστικές:** σε συμφωνία με τις συμβατικές καμπύλες, υιοθετημένες για τη ταξινόμηση και επαλήθευση της πυραντίστασης e.g.η πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας- χρόνου.
- b. **Παραμετρικές:** καθορισμένες, με βάση τα πρότυπα πυρκαγιάς ορίζοντας τις συνθήκες του πυροδιαμερίσματος.

♦ **Θερμικές δράσεις (THERMAL ACTIONS)**

Οι θερμικές δράσεις της κατασκευής περιγράφονται από καθαρή θερμική ροή στα μέλη της.

Συμβολισμοί

Οι βασικοί συμβολισμοί παρουσιάζονται στο ENV 1991-1 «Βάση σχεδιασμού» και παρακάτω παρουσιάζονται οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται σ' αυτό το μέρος του ENV 1992-2.2.

A	Δράση εξαιτίας της έκθεσης σε φωτιά
A_{ind}	Έμμεση δράση φωτιάς
E	Αποτελέσματα δράσεων
Q	Μεταβλητή δράση
G	Μόνιμη δράση
R_{fi}	Φέρουσα αντοχή, σχετική με την έκθεση σε φωτιά
H	Θερμική ροή ανά μονάδα επιφάνειας (W/m^2)
t_{fi}	Πραγματικός χρόνος πυραντίστασης (κάθε μέλους της κατασκευής)
$T_{fi, reqd}$	Απαιτούμενος χρόνος πυραντίστασης (min)
Φ	Συντελεστής υεφοποίησης
θ	Θερμοκρασία [$^{\circ}C$]. $\theta[^{\circ}C] = T[K] - 273$

θ_{cr}	Κρίσιμη θερμοκρασία [$^{\circ}C$] του χάλυβα
θ_r	Θερμοκρασία ακτινοβολίας του περιβάλλοντος του μέλους [$^{\circ}C$]
θ_g	Θερμοκρασία αέρα κατά την έκθεση σε φωτιά [$^{\circ}C$]
θ_m	Επιφανειακή θερμοκρασία του μέλους [$^{\circ}C$]
θ_o	Αρχική θερμοκρασία αέρα [$^{\circ}C$]
α	Συντελεστής θερμικής μεταβίβασης [W/m^2K]
ϵ_{res}	Παραγόμενη ακτινοβολία
Ψ	Συντελεστής φορτικού συνδυασμού
γ	Μερικός συντελεστής ασφαλείας

Στους παραπάνω συμβολισμούς υπάρχουν δείκτες οι οποίοι εκφράζουν τα εξής:

c	:	Συστατικό διάδοσης της θερμικής μεταβίβασης
c_r	:	Κρίσιμη τιμή
f_i	:	Εκφράζει τιμές σχετικές με τις συνθήκες σχεδιασμού
d	:	Τιμή σχεδιασμού
k	:	Χαρακτηριστική τιμή
r	:	Μέρος της ακτινοβολίας της θερμικής μεταβίβασης
t	:	Διάρκεια έκθεσης σε συνθήκες φωτιάς

2.2.3 Συνθήκες σχεδιασμού φωτιάς (άρθρο 3, ENV 1991-2.2)

Τυχηματικές συνθήκες

1. Θεωρείται τυχηματική κατάσταση η πυρκαγιά που προκαλεί καταστροφές.
2. Οι σχετικές συνθήκες σχεδιασμού και οι τυχηματικές δράσεις της φωτιάς, καθορίζονται από τον κίνδυνο της πυρκαγιάς.
3. Για τις κατασκευές όπου ειδικοί κίνδυνοι πυρκαγιάς εγείρονται στα ίχνη άλλων τυχηματικών δράσεων, ο κίνδυνος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον προσδιορισμό της ασφάλειας.
4. Ο χρόνος και φορτίο εξαρτημένα της συμπεριφοράς της κατασκευής πριν από τυχηματικές συνθήκες, δε χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη.

Σχεδιασμός φωτιάς

1. Τα πυροδιαμερίσματα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να προλαβαίνουν την εξάπλωση της πυρκαγιάς στα αλλά πυροδιαμερίσματα κατά την διάρκεια της έκθεσης σε συνθήκες φωτιάς.
2. Ο σχεδιασμός πρέπει να εφαρμόζεται μόνο σ'ένα πυροδιμέρισμα του κτιρίου κατά το χρόνο (t), και να αντιπροσωπεύει μία πλήρως αναπτυσσόμενη πυρκαγιά μέσα σ'ένα ορισμένο χώρο.

Έκθεση σε συνθήκες φωτιάς

1. Κατά τον προσδιορισμό της έκθεσης του μέλους σε συνθήκες φωτιάς, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό, η θέση του σχεδιασμού φωτιάς σε σχέση με το μέλος.
2. Απαιτείται να εφαρμόζεται η έκθεση σε συνθήκες φωτιάς μόνο από τη μία πλευρά κατά τον χρόνο (t), όταν πρόκειται να επαληθευτεί η διαφορετική λειτουργία.
3. Για τα εξωτερικά μέλη, η έκθεση σε συνθήκες φωτιάς, πρέπει να θεωρείται δια μέσου των ορόφων.

4. Για το διαχωρισμό των εξωτερικών τοίχων, η έκθεση σε συνθήκες φωτιάς πρέπει να θεωρείται από τα εσωτερικά και εναλλακτικά απ' έξω.

Συνθήκες μετά τη φωτιά

3. Κατά τον σχεδιασμό, δε χρειάζεται να ληφθούν υπόψη συνθήκες μετά την φωτιά, όταν η κατασκευή έχει μπει σε φάση ψύξης.
4. Κατά τον σχεδιασμό της απαιτούμενης περιόδου πυραντίστασης η λειτουργία της κατασκευής δεν λαμβάνεται υπόψη.

2.2.4 Θερμικές Δράσεις

Γενικές διατάξεις (άρθρο 4, ENV 1991-2.2)

1. Θερμικές δράσεις δίνονται από την καθαρή θερμική ροή $[W/m^2]$ προς την επιφάνεια του μέλους.
2. Η καθαρή ροή, καθορίζεται θεωρώντας θερμική μεταβίβαση θερμότητας από και προς το περιβάλλον πυρκαγιάς.
3. Το συστατικό της ακτινοβολούμενης θερμικής ροής ανά μονάδα επιφανείας καθορίζεται από:

$$h_{net,r} = F_{eres} * 5,67 * 10^{-8} [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [W/m^2]$$

όπου :

F = συντελεστής μορφοποίησης

E_{eres} = παραγόμενη ακτινοβολία

θ_r = θερμοκρασία της ακτινοβολίας που περιβάλλει το μέλος $[^{\circ}C]$

θ_m = θερμοκρασία της επιφάνειας του μέλους $[^{\circ}C]$

$5,67 * 10^{-8}$ Steffan Boltzmann $[W/m^2 \text{ } ^{\circ}K]$

4. Όπου τα μέρη περί συνθηκών φωτιάς του ENV 1992-1996 και ENV 1999, δε δίνουν ορισμένα δεδομένα, ο συντελεστής μορφοποίησης λαμβάνεται $F = [1, 0]$
5. Για την ακτινοβολία που εκπέμπεται e_{eres} σχετική με τη καμπύλη ονομαστικής θερμοκρασίας-χρόνου σχετικά αναφέρονται στη § 4.2 ENV 1991-2.2
6. Η θερμοκρασία ακτινοβολίας θ μπορεί να αντιπροσωπευτεί από την θερμοκρασία αέρα θ_g .
7. Τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας της επιφάνειας μέλους θ_m , που προκύπτουν από την θερμοκρασιακή ανάλυση, σύμφωνα με τα μέρη του ENV 1992-1996 και 1999, είναι σχετικά.
8. Το ονομαστικό μέρος της διάδοσης της θερμότητας ανά μονάδα επιφανείας καθορίζεται από τη σχέση $h_{net,c} = a_c * (\theta_g - \theta_m)$ $[W/m^2]$
όπου:
 a_c = συντελεστής θερμοαγωγιμότητας $[W/m^2 \text{ } ^{\circ}K]$
 θ_g = θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος του μέλους που είναι εκτεθειμένο σε συνθήκες φωτιάς $[^{\circ}C]$
 θ_m = επιφανειακή θερμοκρασία μέλους $[^{\circ}C]$

9. Για τον συντελεστή θερμοαγωγιμότητας a_c , σχετικό ονομαστικής καμπύλης θερμοκρασίας- χρόνου.
10. Για τις πλευρές των μεμονωμένων μελών που δεν είναι εκτεθειμένα σε φωτιά, η θερμική ροή κατά την διάρκεια της ακτινοβολίας, μπορεί να μελετηθεί και για τη διάδοση της θερμότητας και υιοθετείται η τιμή $A_c = [g] \quad [W/m^2 \text{ } ^\circ K]$
11. Η θερμοκρασία αέρα θ_g
 - Υιοθετημένη ως καμπύλη ονομαστικής θερμοκρασίας χρόνου
 - Καθορισμένη από τους όρους των φυσικών παραμέτρων, σύμφωνα με § 4.3 του ENV 1991-2.2

2.2.5 Ονομαστικές καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου (§4.2 του Ευρωκώδικα 1)

Γενικά

1. Οι ονομαστικές καμπύλες θερμοκρασίας- χρόνου που δίνονται στις §4.2.2 έως 4.2.4 του ENV 1991-2.2, χρησιμοποιούνται σύμφωνα με το σχετικά διεθνές πεδίο εφαρμογής.
2. Όσον αφορά το σχεδιασμό, σύμφωνα με ονομαστικές καμπύλες θερμοκρασίας-χρόνου, η καθαρή θερμική ροή οφειλόμενη στη διάδοση της θερμότητας και στην ακτινοβολία έχει ως εξής:

$$h_{net,d} = Y_{u,c} h_{net,c} + Y_{u,r} h_{net,r} \quad [W/m^2]$$

όπου:

$$h_{net,c} \text{ δίνεται από τη σχέση } h_{net,c} = a_i \cdot (\theta_g - \theta_m) \quad [W/m^2]$$

$h_{net,r}$ δίνεται από τη σχέση

$$h_{net,r} = F_{eres} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [W/m^2]$$

$Y_{u,c}$ = συντελεστής για των υπολογισμό των διαφορετικών διεθνών τύπων πειράματος και εξισώσεων [1, 0]

$Y_{u,r} = [1, 0]$ όπως $Y_{u,c}$

3. Η ανακυκλώμενη ακτινοβολία, οφείλεται:

$e_{res} = e_f \cdot e_m$ όπου:

e_f = ικανότητα ακτινοβολίας σχετική του πυροδιαμερίσματος, συνήθως λαμβάνεται ίσος με [0,8].
4. e_m = ικανότητα ακτινοβολίας της επιφάνειας του υλικού, όπου ο σχεδιασμός σε συνθήκες φωτιάς σύμφωνα με ENV 1992-1996, δεν καθορίζει τιμή, ο e_m λαμβάνεται ίσος με [0,7].

Πρότυπες καμπύλες θερμοκρασίας- χρόνου

1. Η πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας- χρόνου δίνεται

- $$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t+1) \quad [^{\circ}\text{C}]$$
- t = χρόνος [min]
2. Ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης $\alpha_1=25$ [W/m² °K]

Εξωτερική καμπύλη φωτιάς

1. Η εξωτερική καμπύλη φωτιάς δίνεται:
- $$\theta_g = 660(1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}]$$
- Όπου
- θ_g = θερμοκρασία αέρα του περιβάλλοντος μέλους [°C]
- t = χρόνος [min]
2. Ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης $\alpha_c=25$ [W/m² °K]
- Παραμετρική έκθεση σε συνθήκες φωτιάς (παράρτημα Α, ENV1991-2.2)

2.2.6 Γενικά

Οι θερμοκρασίες αέρα για τον υπολογισμό της καθαρής θερμικής ροής καθορίζονται βάση των φυσικών παραμέτρων θεωρώντας τις:

- Πυκνότητα θερμικού αέρα
- Συνθήκες αερισμού

Πρότυπα φωτιάς

1. Οι υπολογισμοί βασίζονται στην υπόθεση ότι το σχετικό πυροθερμικό φορτίο καύσεως εκτός από εκεί, όπου οι διεθνείς ορισμοί επιτρέπουν για ορισμένες περιόδους πυραντίστασης σε παραμετρική έκθεση σε φωτιά.
2. Για τα πυροδιαμερίσματα με αποδεδειγμένα συστήματα απόσβεσης, για τα οποία απαιτείται δομικός σχεδιασμός έναντι φωτιάς, η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου έναντι φωτιάς εφαρμόζεται σύμφωνα με το παράρτημα Δ ENV 1991-2.2
3. Σύμφωνα με το κυρίως μέρος του ENV 1991-2.2 αιτούνται τα εξής:
 - Για εξωτερικά μέλη υπολογίζεται ως το άθροισμα των συνεισφορών του πυροδιαμερίσματος και των κρίσιμων αναφλέξεων από τα ανοίγματα.
 - Για εσωτερικά μέλη μόνο η συμβολή του πυροδιαμερίσματος στην ακτινοβολούμενη θερμοκρασία απαιτείται να θεωρηθεί.
 - Για εσωτερικά μέλη των πυροδιαμερισμάτων οι θερμοκρασίες αέρα υπολογίζονται σύμφωνα με το παράρτημα Β του ENV 1991-2.2.
 - Για εξωτερικά μέλη εκτεθειμένα σε φωτιά από τα ανοίγματα της πρόσοψης χρησιμοποιείται το παράρτημα Γ του ENV 1991-2.2.

- Στις περιπτώσεις όπου τα εσωτερικά μέλη, σχεδιάζονται σύμφωνα με τους κανόνες που χρησιμοποιούνται, ένας χρόνος ισοδύναμης έκθεσης χρησιμοποιείται σύμφωνα με το παράρτημα Ε του ENV 1991-2.2

2.2.7 Παραμετρικές καμπύλες θερμοκρασίας- χρόνου (παράρτημα Β του ENV 1991-2.2)

1. οι επόμενες καμπύλες θερμοκρασίας- χρόνου ισχύουν για πυροδιαμερίσματα μεγαλύτερα των 100 m², χωρίς ανοίγματα στην οροφή, για μέγιστο ύψος πυροδιαμερίσματος 4 m.
2. Εάν οι πυκνότητες των πυροθερμικών φορτίων ορίζονται χωρίς ειδική θεώρηση στην συμπεριφορά καύσης, τότε αυτή η προσέγγιση περιορίζεται στα πυροδιαμερίσματα με κυρίως κυτταρινικού τύπου πυροθερμικά φορτία.
3. Η καμπύλη θερμοκρασίας- χρόνου κατά τη φάση θέρμανσης εκφράζεται ως:

$$\theta_g = 1325(1 - 0,32ue^{-0,2t} - 0,204e^{-1,7t} - 0,472e^{-19t})$$

όπου: θ_g = θερμοκρασία πυροδιαμερίσματος [°K]

$$t = t\Gamma \text{ με } t = \text{χρόνος και } \Gamma = [0/b]^2 / (0,04/1160)^2$$

$$b = \sqrt{pc\lambda}$$

$$1000 \leq d \leq 2000 \quad [j/m^2 \ 5^{1/2} \ K]$$

$$0 = \text{συντελεστής ανοίγματος } A_v \sqrt{h/A_t} \quad [m^{1/2}]$$

$$\text{Με τα ακόλουθα όρια } 0,02 \leq 0 \leq 0,20$$

$$A_v = \text{περιοχή κάθετων ανοιγμάτων} \quad [m^2]$$

$$h = \text{ύψος κάθετων ανοιγμάτων} \quad [m]$$

$$A_t = \text{ολική περικλειομένη επιφάνεια (τοίχοι, ταβάνι, δάπεδο, ανοίγματα)} \quad [m^2]$$

$$P = \text{πυκνότητα οριακού περικλειόμενου χώρου} \quad [Kg/m^3]$$

$$C = \text{ειδική θερμότητα του οριακού περικλειόμενου χώρου} \quad [j/KgK]$$

$$\lambda = \text{θερμοαγωγιμότητα του οριακά περικλειόμενου χώρου} \quad [w/mK]$$

4. Για τον υπολογισμό των περικλειόμενων χώρων με διαφορετικά στρώματα υλικού $b = \sqrt{pc\lambda}$, έχει ως εξής:

$$b = \sqrt{(\sum j_i C_i \lambda_i)} / \sqrt{(\sum (S_i C_i \lambda_i) / b_i^2)}$$

Όπου

$$S_i = \text{πάχος στρώματος } i$$

$$C_i = \text{ειδική θερμότητα πάχους } i$$

λ_i = θερμοαγωγιμότητα του στρώματος i

$$b_i = \sqrt{\rho_i c_i \lambda_i}$$

5. Για τον υπολογισμό των διαφορετικών υλικών στους τοίχους, ταβάνια, δάπεδα $b = \sqrt{\rho c \lambda}$ έχουν ως εξής:

$$b = \sum_{bj} A_{ij} / \sum A_{ij}$$

όπου

A_{ij} = η περιοχή του περικλειόμενου χώρου συμπεριλαμβανομένων των ανοιγμάτων με θερμική ιδιότητα b_j

6. Η καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου στη φάση ψύξης δίνονται:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 625(t^* - t_d^*) \quad \text{για} \quad t_d^* \leq 0.5$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(3 - t_d^*)(t^* - t_d^*) \quad \text{για} \quad 0.5 < t_d^* < 2$$

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250(t^* - t_d^*) \quad \text{για} \quad t_d^* > 2$$

όπου

θ_{\max} = μέγιστη θερμοκρασία στη φάση θέρμανσης [$^{\circ}\text{K}$] για ($t^* = t_d^*$)

$$t_d^* = (0,13 \cdot 10^{-3} 2t_d^* \Gamma) / 0 \quad [\text{h}]$$

q_{td} = τιμή σχεδιασμού για συνθήκες φωτιάς της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου σχετικής επιφάνειας A_t του περικλειόμενου χώρου, όπου $q_{td} = q_{fd} A_s / A_t$ [m_j / m^2]

κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές $50 \leq q_{td} \leq 1000$ [m_j / m^2]

q_{fd} = τιμή σχεδιασμού για συνθήκες φωτιάς του πυροθερμικού φορτίου σχετικής επιφάνειας A_f του δαπέδου [m_j / m^2]

7. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται e_{res} και ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης a_i είναι σύμφωνα με §4.2.1 και 4.2.2 του άρθρου 4 ENV 1991-2.2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Η εκτίμηση των θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν μπορεί να γίνει με συνδυασμό δεδομένων της τοπικής πυρκαγιάς – στην περίμετρο και το εσωτερικό του κτιρίου. Η συμπεριφορά των υλικών ανάλογα με τη θέση και τον βαθμό έκθεσης τους συνήθως προσφέρει αξιόπιστες πληροφορίες για την εκτίμηση της μέγιστης θερμοκρασίας αέρος κοντά στην επιφάνεια ($T_{\text{αερ}}$) ή στις παρειές των δομικών στοιχείων ($T_{\text{παρ}}$).

Οι πληροφορίες που παίρνουμε σχετίζονται κυρίως με : Αποφλοιώσεις, αποκολλήσεις και εκτινάξεις επιφανειακών στοιβάδων σκυροδέματος και συμπαγών λίθων/πλίνθων, χρωματικές αλλαγές σε σκυρόδεμα και επιχρίσματα, μεταβολές στην δομή και στον όγκο και αλλά χαρακτηριστικά των υλικών (πχ στους 750 °C επέρχεται ασβεστοποίηση των ασβεστολιθικών αδρανών), αλλοιώσεις και τήξεις υλικών (πχ τήξη αλουμινίου στους 650 °C περίπου) κλπ .

Η εκτίμηση της θερμοκρασίας που εμφανίζεται στα διάφορα τμήματα του κτιρίου είναι πρωταρχικής σημασίας για την μεταγενέστερη έρευνα της απομένουσας αντοχής των δομικών στοιχείων. Όταν το σκυρόδεμα καίγεται ανάλογα με την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία αποκτά διαφορετικά χρώματα. Οι πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι όταν οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν στους 300 – 600 °C το χρώμα του μπετόν γίνεται κόκκινο ή ροζ. Όταν η θερμοκρασία φτάνει στους 600- 900 °C το χρώμα γίνεται γκρι. Αυτά τα αποτελέσματα των χρωμάτων αποτελούν μια πρώτη ένδειξη και για την εναπομένουσα αντοχή έτσι για π.χ. σε θερμοκρασία 600- 800 °C το σκυρόδεμα χάνει το 50% - 80% της αντοχής του.

Εν γένει, μεταξύ των μέγιστων εξωτερικών θερμοκρασιών αέρα και παρειάς δομικών στοιχείων παρατηρείται μια ευνοϊκή υστέρηση $\Delta T_{\text{υστ}}$ όπως φαίνεται στην ακόλουθη σχέση:

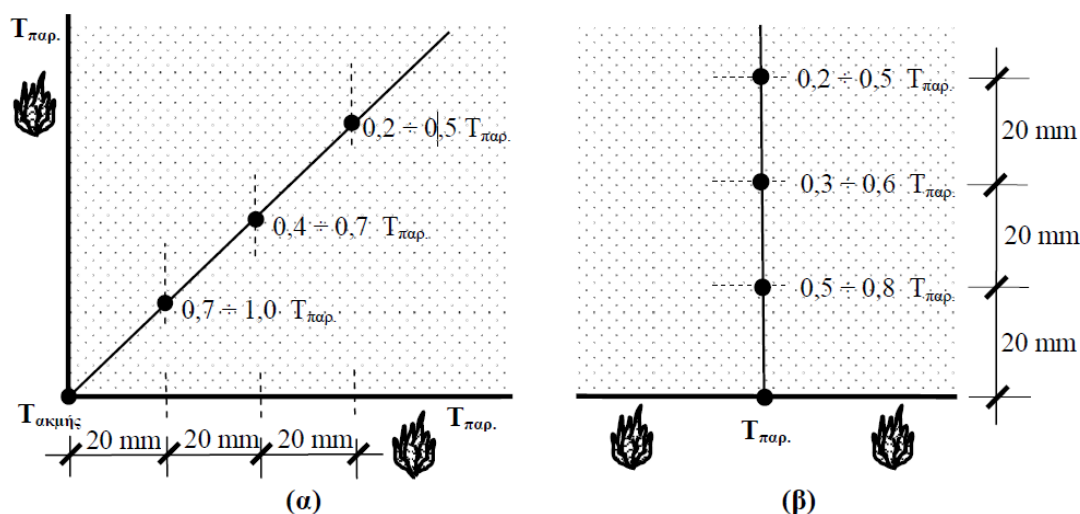
$$T_{\text{παρ}} \approx T_{\text{αερ}} - \Delta T_{\text{υστ}}$$

Στην περίπτωση που οι φλόγες έγλειφαν (για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο της μιας ώρας) την παρειά του δομικού στοιχείου, η θερμοκρασιακή αυτή υστέρηση μπορεί να ληφθεί αδρομερώς ίση με 50 °C (± 0 °C). Ενώ, στην αντίθετη περίπτωση μπορεί συντηρητικά να ληφθεί ίση με 100 °C.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων (πάχος και διατομή, έκθεση, πυκνότητα, αγωγιμότητα, ειδική θερμότητα κ.λπ.), μπορεί με βάση την θερμοκρασία παρειάς να εκτιμηθεί η ανάπτυξη των θερμοκρασιών στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων. Ευτυχώς, στο εσωτερικό των μη μεταλλικών στοιχείων, οι θερμοκρασίες απομειώνονται

μάλλον γρήγορα, ακλουθώντας πρακτικώς καμπύλες 3^{ου} ή 2^{ου} βαθμού συναρτήσεως του βάθους από την εκτεθειμένη παρειά. Σχετικώς, όπως αναλύεται στον Οδηγό αρκεί να εκτιμηθεί η θερμοκρασία που αναπτύχθηκε στις εξωτερικές(κρίσιμες) λωρίδες/στοιβάδες των δομικών στοιχείων είτε με την βοήθεια των διαγραμμάτων που ακολουθούν(βλ. Σχήμα 3.1), είτε και με απλούστερες προσεγγίσεις.

Επισημαίνεται ότι στον οδηγό παρατίθενται, επίσης, στοιχεία σχετικά με την κατανομή των θερμοκρασιών στο εσωτερικό στοιχείων Ο.Σ., τις «κρίσιμες» θερμοκρασίες ολόσωμων δομικών υλικών και στοιχείων, καθώς και τον χρόνο που απαιτείται για την ανάπτυξη τους.



Σχήμα 3.1α) Σχέση μεταξύ $T_{\alpha\kappa\mu\eta\varsigma}$ και $T_{\pi\alpha\rho.}$, για γραμμικό δομικό στοιχείο με ακμή (π.χ. στύλοι και δοκοί από Ο.Σ. υπό καθολική έκθεση), και β) Τρόπος μεταβολής της $T_{\pi\alpha\rho.}$ με την απόσταση, για επιφανειακό δομικό στοιχείο (π.χ. πλάκες και τοιχεία Ο.Σ. υπό μονόπλευρη έκθεση).

3.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ)

Η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στα υλικά δόμησης επηρεάζει τόσο τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους, όσο και τις φυσικοχημικές ιδιότητες τους (αλλαγή κρυσταλλικής δομής, πορώδες κ.λ.π.) Εξετάζεται η συμπεριφορά των βασικότερων δομικών υλικών στη χώρα μας (σκυρόδεμα, χάλυβας, τοιχοποιία, ξύλο), τόσο κατά την διάρκεια έκθεσής τους σε υψηλές θερμοκρασίες όσο και μετά την επαναφορά τους σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Για κάθε δομικό υλικό δίνονται αναλυτικά στοιχεία και αντίστοιχα διαγράμματα, προς χρήση και κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό τα οποία αφορούν αφενός τις θερμικές του ιδιότητες (π.χ. ειδική θερμότητα, θερμική διαστολή κ.λ.π.), και αφετέρου τις μηχανικές του ιδιότητες (π.χ. θλιπτική και ελκυστική αντοχή, όρια διαρροής και θραύσεως, μέτρο ελαστικότητας, συνάφεια σκυροδέματος – χάλυβα κ.λ.π.)

Κατά την έκθεση του ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ σε υψηλές θερμοκρασίες διαπιστώνεται σημαντική υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του, οι οποίες ακόμη και μετά την επάνοδο σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος δεν επανέρχονται στις αρχικές τους τιμές, ή τις ανακτούν κατά μικρό μόνο ποσοστό. Επί πλέον, παρουσιάζεται και το φαινόμενο της αποφλοιώσης, το οποίο αν εκδηλωθεί πρόωρα οδηγεί σε πρόσθετη και πιο έντονη προσβολή του σκυροδέματος αλλά και των σιδηροπλισμών.

Αντίστοιχα, κατά την έκθεση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζεται δυσμενώς κυρίως το όριο διαρροής, η ελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση θραύσεως τους. Ενώ, πιθανή είναι και η εμφάνιση φαινομένων όπως ο ερπυσμός, η χαλάρωση, και η μεταβολή της μικροδομής τους. Ανάλογα αφενός με τον χρόνο και την θερμοκρασία έκθεσης, και αφετέρου με την σύσταση και την μέθοδο παραγωγής τους καθορίζεται εάν μετά την επάνοδο σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος οι μεταβολές αυτές των χαλύβων παραμένουν ή αίρονται μερικώς ή ολικώς.

Όπως προαναφέρθηκε, δομικά υλικά με απεριόριστη αντοχή στις θερμοκρασίες των συνήθων πυρκαγιών δεν υπάρχουν. Η καταστροφή τους είναι ζήτημα χρόνου έκθεσης.

Αλλά και η συμπεριφορά των υλικών (από άποψη ανάφλεξης, διατήρησης της μορφής και των μηχανικών ιδιοτήτων σε πυρκαγιά), εξαρτάται από τις διαστάσεις και τον τρόπο στερέωσης του στοιχείου του οποίου αποτελούν μέρος. Έτσι δε μπορούμε να μιλάμε για αντοχή υλικών σε πυρκαγιά αλλά μόνο για αντοχή δομικών στοιχείων. Παρόλα αυτά η αντοχή των δομικών στοιχείων συναρτάτε άμεσα με τις ιδιότητες των υλικών από τα οποία αποτελούνται σε υψηλές θερμοκρασίες.

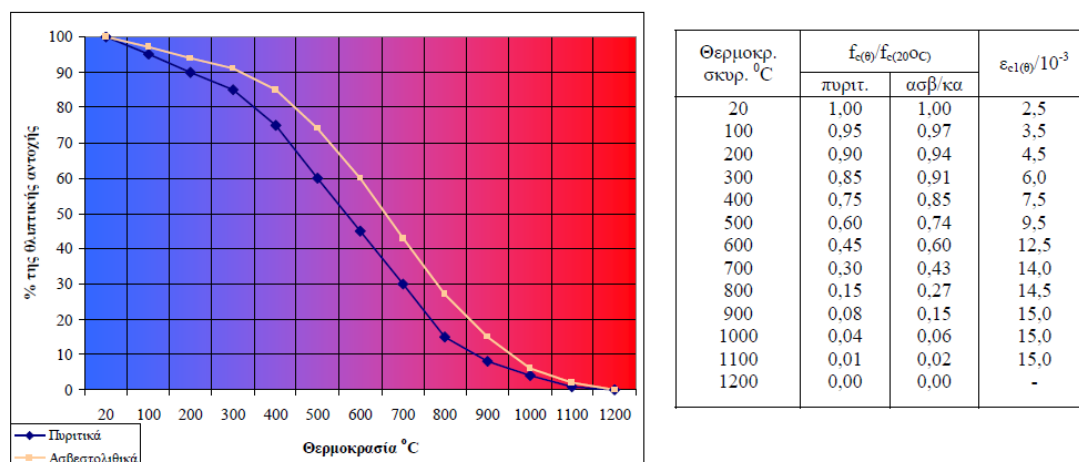
Σύμφωνα με τον ισχύοντα ευρωπαϊκό κανονισμό EN-1305 ο οποίος βάδισε στα πρότυπα του γερμανικού DIN-4102 κατατάσσονται τα υλικά σε πέντε κατηγορίες κατά σειρά δυσφλεξιμότητας (A1,A2,B1,B2,B2).

Οι παράμετροι που ακολουθούν για το σκυρόδεμα και το χάλυβα είναι αποτελέσματα πειραματικών διεργασιών οι οποίες διεξήχθησαν είτε κατά τη διάρκεια της έκθεσης των δοκιμίων σε υψηλές θερμοκρασίες «είτε μετά την απόψυξη». Η διαφοροποίηση αυτή συμβαίνει γιατί παρατηρείται μερική ανάκτηση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, οι οποίες είχαν μειωθεί κατά την διάρκεια της φωτιάς. Το σκυρόδεμα δεν ανακτά όμως σημαντικό βαθμό των μηχανικών ιδιοτήτων σε αντίθεση με το χάλυβα. Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν διευκρινίζεται εάν οι μετρήσεις έγιναν ή όχι κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. (σχήμα 3.2-5)

3.2.1 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα από άποψη συμπεριφοράς παρέχει τη καλύτερη αντίσταση σε πυρκαγιά από τα συνήθη δομικά υλικά (κατηγορία A1 κατά EN-1305) για τους εξής λόγους:

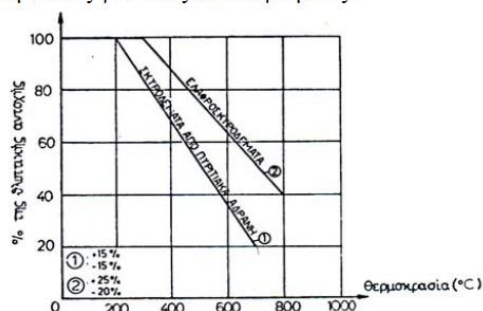
- Τα δομικά στοιχεία που κατασκευάζονται από μπετό είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερης μάζας από αντίστοιχα χαλύβδινα ή ξύλινα, έτσι καθυστερεί η ανύψωση (αύξηση) της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του στοιχείου.
- Το σκυρόδεμα, ακόμη και σε ξηρό περιβάλλον περιέχει νερό που βοηθά την πυραντοχή του και σε αυτό οφείλεται το ότι στους 600 °C αποσυντίθεται ο τσιμεντοπολτός των εξωτερικών στρώσεων, αλλά ταυτόχρονα (το νερό) είναι υπεύθυνο για μια από τις σημαντικότερες βλάβες που προξενούνται στις κατασκευές κατά την διάρκεια μιας πυρκαγιάς, αυτή της εκρηκτικής απόσχισης (spalling).
- Σημαντικό ρόλο στην αντοχή του σκυροδέματος σε φωτιά παίζει το είδος των αδρανών που περιέχονται σε αυτό. Τα ασβεστολιθικά αδρανή (τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στη Ελλάδα) είναι πολύ ανθεκτικά καθώς χάνουν την αντοχή τους στους 900°C, οπότε αρχίζει η ασβεστοποίηση με έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (διαδικασία που απορροφά επίσης σημαντικά ποσοστά θερμότητας) σε αντίθεση με αυτά που έχουν πυριτικά αδρανή και η ασβεστοποίηση ξεκινά πολύ νωρίτερα όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα που κατασκευάστηκε από τις δεδομένες τιμές του EC2 (σχήμα 3.1)



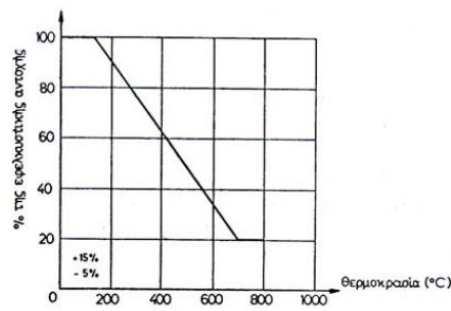
Σχήμα 3.1. Διάγραμμα θερμοκρασίας – αντοχής τύπων σκυροδεμάτων κατά EC2

Σχήμα 3.1

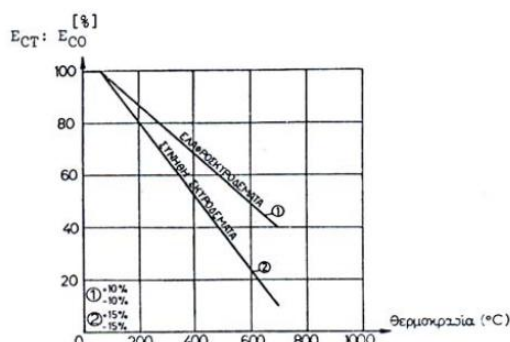
Οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις προτείνονται από το CEB ως πρακτικές καμπύλες για τους υπολογισμούς.



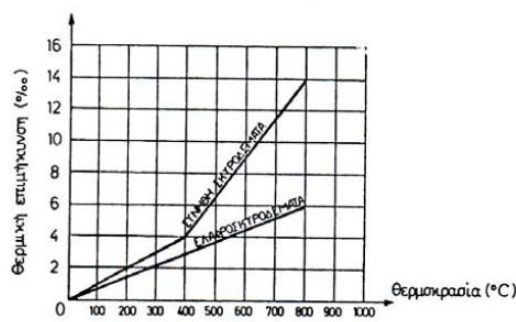
Σχ. 3.2 Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος



Σχ. 3.3 Εφελκυστική αντοχή σκυροδεμάτων από πυριτιτικά αδρανή



Σχ. 3.4 Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος



Σχ. 3.5 Θερμική επιμήκυνση σκυροδέματος

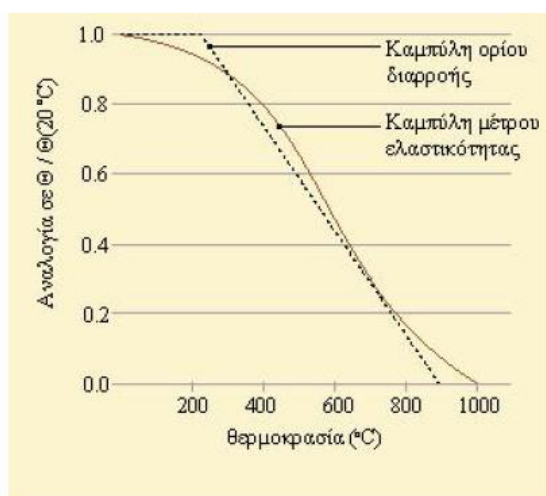
3.2.2 Χάλυβας

Ο χάλυβας είναι ένα άκαυστο υλικό το οποίο όμως δεν αντέχει για πολλή ώρα στις θερμοκρασίες εκείνες που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια συνήθων πυρκαγιών. Εργαστηριακές δοκιμές του συνήθους μαλακού χάλυβα δείχνουν ότι η αντοχή σε εφελκυσμό αυξάνει αρχικά σε θέρμανση μέχρι τους 250°C για να επανέλθει στην αρχική στους 400°C , από όπου πέφτει ξανά και στους 550°C τελικά φτάνει στην επιτρεπόμενη τάση σύμφωνα με τους συντελεστές ασφαλείας. Οι χάλυβες οι οποίοι έχουν αποκτήσει υψηλή αντοχή με ψυχρά έλαση παρουσιάζουν ταχύτερη πτώση γιατί με την ανόπτηση που επέρχεται χάνεται η πρόσθετη αντοχή, έτσι η κρίσιμη θερμοκρασία τους είναι 400°C - 450°C . Ο οπλισμός του μπετόν έχει φυσικά τις ιδιότητες του χάλυβα, αλλά για να έχει και τα πλεονεκτήματα του μπετόν θα πρέπει να πραγματοποιείται η κατάλληλη κάλυψή του, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. (σχήμα 4.4 έως 4.7)

Ως υψηλές θερμοκρασίες για τις εφαρμογές των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, θεωρούνται θερμοκρασίες άνω των 200°C , περίπου.

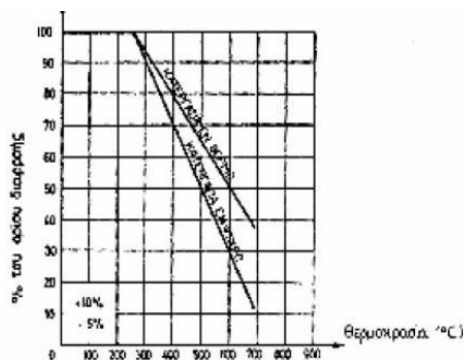
Η έκθεση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες, αν συντρέχουν και ορισμένοι άλλοι παράγοντες (ενδεικτικά αναφέρονται ο χρόνος έκθεσης το οξειδωτικό περιβάλλον στην επιφάνεια του χάλυβα και ο

ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας) είναι δυνατόν να έχει ως αποτέλεσμα σημαντική διαφοροποίηση (υποβάθμιση) των μηχανικών ιδιοτήτων. Για όλες τις κατηγορίες συνήθων χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, η θέρμανση σε θερμοκρασίες μέχρι 500°C , για χρόνους μέχρι και 2 ώρες, δεν δημιουργεί ουσιαστική μεταβολή στις αρχικές μηχανικές ιδιότητες μετά την ήρεμη στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Για μεγαλύτερους όμως χρόνους έκθεσης η και για μεγαλύτερες θερμοκρασίες θα υπάρξουν σημαντικές μειώσεις των μηχανικών χαρακτηριστικών. Η εν θερμό αντοχή των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος μειώνεται όσο η θερμοκρασία αυξάνεται όπως μειώνονται το μέτρο ελαστικότητας (σχήμα 3.6) και η συνάφεια με το σκυρόδεμα.

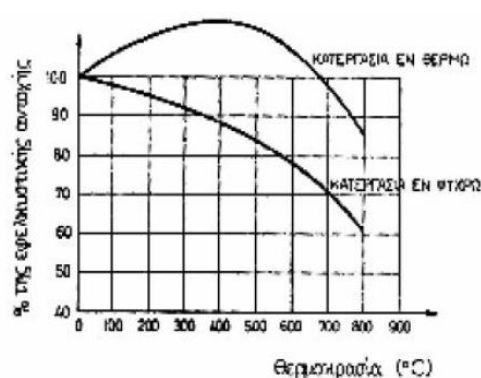


Σχ. 3.6 Μεταβολή μέτρου ελαστικότητας και ορίου διαρροής σε χάλυβες θερμής έλασης

Οι χάλυβες οι οποίοι έχουν αποκτήσει υψηλή αντοχή με ψυχρά έλαση παρουσιάζουν ταχύτερη πτώση γιατί με την ανόπτηση που επέρχεται χάνεται η πρόσθετη αντοχή και η κρίσιμη θερμοκρασία τους είναι 400°C - 450°C . Παρότι η μέθοδος αυτή κατεργασίας δε χρησιμοποιείται πλέον, παραθέτουμε διάγραμμα της συμπεριφοράς τους σε υψηλές θερμοκρασίες (Σχήμα 3.7, Σχήμα 3.8) αφού αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί σε υφιστάμενες κατασκευές και η γνώση των ιδιοτήτων τους είναι αναγκαία κυρίως σε θέματα ενισχύσεων.



Σχ. 3.7 Μεταβολή ορίου διαρροής χάλυβων σε υψηλές θερμοκρασίες



Σχ. 3.8 Εφελκυστική αντοχή χάλυβων σε υψηλές θερμοκρασίες μετά την απόψυξη

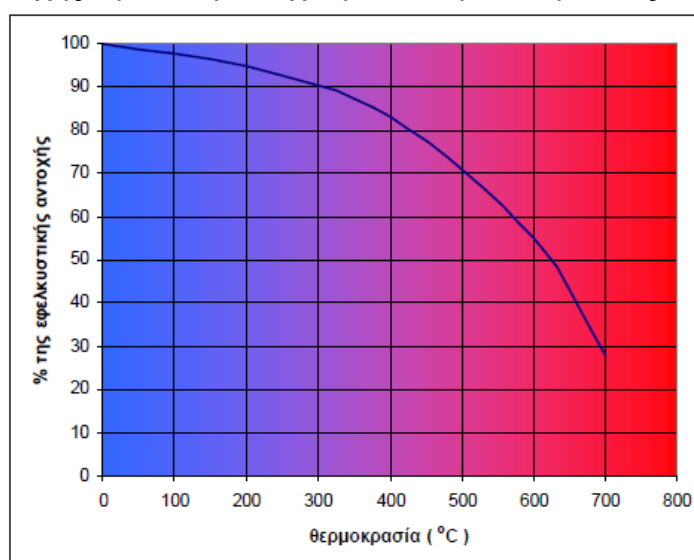
Βέβαια, κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς το σκυρόδεμα είναι αυτό που παρουσιάζει τις περισσότερες βλάβες, αφού εγκιβωτίζει το χάλυβα θερμομωνόνοντάς τον και έτσι ο τελευταίος δε παρουσιάζει μεγάλες απώλειες στις μηχανικές του ιδιότητες. Όταν όμως, ο χάλυβας έρχεται σε επαφή με τις υψηλές θερμοκρασίες (λόγω κακής επικάλυψης ή εκρηκτικής απόσχισης του σκυροδέματος) γίνεται εξίσου ευάλωτος με το σκυρόδεμα.

3.2.3 Τοιχοποιία

Πέρα από ορισμένες πληροφορίες που αφορούν την θερμική συμπεριφορά των λιθοσωμάτων (π.χ. ασβεστόλιθος, σπτόπλινθο), καθώς και την θεώρηση ότι το τσιμέντο-κονίαμα συμπεριφέρεται πρακτικώς όπως το σκυρόδεμα, δε διατίθενται πολλά στοιχεία για την συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε πυρκαγιά. Ο συνδυασμός των πληροφοριών για τα δύο επιμέρους υλικά των τοίχων θα μπορούσε, όπως εξηγείται στον Οδηγό, να οδηγήσει σε κάποια θεωρητική πρόβλεψη για την συμπεριφορά της τοιχοποιίας ως συνόλου, ή έστω σε μια εκτίμηση «μειώσεις του ενεργού πάχους» της με αντιστοιχεί μείωση της αντοχής της, ανάλογα με την διεύθυνση θερμοκρασιών.

3.2.4 Χάλυβας προέντασης

Η συμπεριφορά των προεντεταμένων χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες μιας πυρκαγιάς είναι πολύ κρίσιμότερη από αυτή των απλών οπλισμών (Σχήμα 3.9). Το φάσμα των κρίσιμων θερμοκρασιών είναι εδώ χαμηλότερο μεταξύ 370 °C – 420 °C. Επειδή το φορτίο λειτουργίας του προεντεταμένου χάλυβα είναι 70% της αντοχής εφελκυσμού έχουμε ένα όριο ασφαλείας των 500 °C.



Σχήμα 3.9 Εφελκυστική αντοχή χαλύβων προέντασης σε υψηλές θερμοκρασίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Η πυρκαγιά προκαλεί μια σειρά τυπικών «γεωμετρικών» βλαβών, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στον Οδηγό, και μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

- Πρόωρες αποκολλήσεις και καταπτώσεις επιχρισμάτων και οροφокονιαμάτων, λόγω πλημμελούς πρόσφυσης και μεγάλου μήκους.
- Απομειώσεις διατομών των φερόντων στοιχείων λόγω απολεπίσεων, αποφλοιώσεων και αποκολλήσεων των εξωτερικών στιβάδων, καθώς και αποσύνθεση της μάζας του σκυροδέματος ή του κονιάματος.
- Χαρακτηριστικές (και αισθητές) παραμένουσες παραμορφώσεις, τόσο για τους οριζόντιους φορείς (π.χ. βέλη πλακών και δοκών), όσο και για κατακόρυφα στοιχεία (π.χ. αποκλίσεις στύλων και τοίχων). Μεγάλο μέρος των παρουσιαζόμενων παραμορφώσεων παραμένει ως μόνιμο (εμπειρικός, έως 50%).
- Λόγω έντονων παραμορφώσεων (σε συνδυασμό με την απομείωση των διατομών και των αντοχών), παρατηρούνται σημαντικές καμπτικές και διατμητικές βλάβες. Οι πιο τυπικές διατμητικές βλάβες είναι οι λοξές γραμμές σε μεσαίες εδράσεις συχνών δοκών από Ο.Σ. (λόγω ανακατανομής της έντασης), καθώς και τα θερμικά «λακτίσματα», δηλαδή οι έντονες λοξές γραμμές σε ισχυρά δύσκαμπτα κατακόρυφα στοιχεία.



α



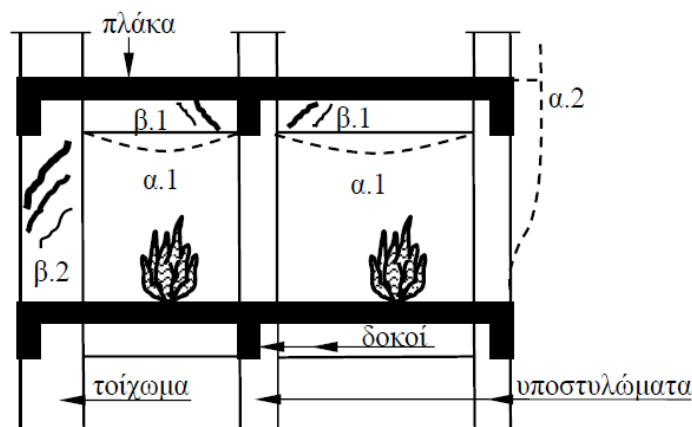
β

Σχήμα Ενδεικτικές φωτογραφίες από τις πυρκαγιές του Αυγούστου του 2007:

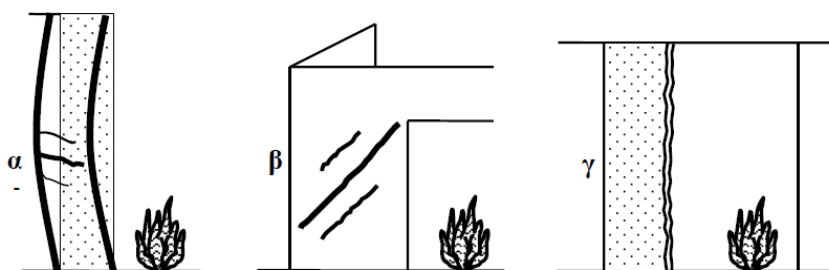
- α) Βαριές και εκτεταμένες εκτινάξεις σε πλάκα Ο.Σ., με πλήθος εκτεθειμένων ράβδων οπλισμού,
β) Κτίριο από ωμοπλινθοδομή στο οποίο εύκολα διακρίνεται η χαρακτηριστική βλάβη γωνίας.

Σχήμα 4.1

Έντονες πυρκαγιές μεγάλης διάρκειας μπορούν να οδηγήσουν σε βαριές βλάβες δομικών στοιχείων, τοπικές ή καταρρεύσεις, ορόφου ή και κτιρίου.



Σχήμα 4.2 Χαρακτηριστική παθολογική εικόνα κτιρίου από Ο.Σ., υπό εσωτερική φωτιά:
 α.1) «Κοίλιασμα» πλακών/δοκών και έντονη ρηγματώση (καμπτική βλάβη),
 β.1) Σοβαρές ρηγματώσεις συνεχών δοκών στις ενδιάμεσες στηρίξεις (διαμητική βλάβη),
 α.2) «Φούσκωμα» στύλων και μάλλον απλή ρηγματώση (καμπτική βλάβη),
 β.2) Θερμικό «λάκτισμα» ισχυρού και δύσκαμπτου τοιχώματος (διαμητική βλάβη).



Σχήμα 4.3 Χαρακτηριστική παθολογική εικόνα κτιρίου από τοιχοποιία, υπό εσωτερική φωτιά:
 α) Κύρτωση («ελεύθερων») τοίχων και καμπτική ρηγματώση (στους οριζόντιους αρμούς),
 β) Θερμικό «λάκτισμα» καλοχτισμένων πεσσών στις γωνίες, με πολλαπλές ρωγμές ή κατάρρευση γωνίας (συχνά εμφανίζεται όταν υπάρχει πλάκα/ δοκός Ο.Σ. στην στέγη τους),
 γ) Αποκόλληση/ αποσύνδεση κακοχτισμένων εγκάρσιων τοίχων, με διαμπερείς κατακόρυφες ρωγμές.

4.1.1 Οι βλάβες που υφίστανται ο χάλυβας και το σκυρόδεμα υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών ως δομικά στοιχεία Ο.Σ. κατασκευής

Η συμπεριφορά των υλικών (από άποψη ανάφλεξης, διατήρησης της μορφής και των μηχανικών ιδιοτήτων σε πυρκαγιά), εξαρτάται από τις διαστάσεις και τον τρόπο στερεώσεως του στοιχείου του οποίου αποτελούν μέρος. Έτσι δεν μπορούμε να μιλάμε μόνο για Αντοχή υλικών σε πυρκαγιά, αλλά και για αντοχή δομικών στοιχείων. Οι σημαντικότερες ζημιές του σκυροδέματος λόγω πυρκαγιάς είναι οι εξωθήσεις και η χαλάρωση της δομής του. Λόγω των εξωθήσεων απελευθερώνονται οι οπλισμοί, με αποτέλεσμα να θερμαίνονται ταχύτερα και να αστοχούν. Σε πολλές κανονικά εξελισσόμενες πυρκαγιές κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι ζημιές περιορίζονται από το γεγονός ότι στα πρώτα 3 έως 5 cm σκυροδέματος που είναι απευθείας εκτεθειμένα στη φωτιά, χάνουν μεν την αντοχή τους, αλλά συγχρόνως δρουν σαν προστατευτική στρώση, και έτσι ο φέρων οργανισμός χάνει ένα μέρος μόνο της φορτικανότητάς του. Ο χάλυβας στην αρχή επιμηκύνεται λόγω της

θερμάνσεως και εκτινάσσει την επικάλυψη του σκυροδέματος ενώ όσο εξακολουθεί να αυξάνεται θερμοκρασία το όριο διαρροής του υποβιβάζεται κατά πολύ. Η φωτιά προκαλεί σοβαρά προβλήματα στις κατασκευές μέχρι την κατάρρευση αυτών. Οι ζημιές και κίνδυνος κατάρρευσης οφείλονται στα εξής αίτια:

- 1) η αντοχή του χαλυβά μειώνεται αισθητά και παράλληλα ο χάλυβας μηκώνεται.
- 2) το μπετό υπόκειται λόγω εμποδιζόμενης θερμικής διαστολής σε τάσεις εξαναγκασμού και θραύεται
- 3) η θλιβόμενη ζώνη καμπτώμενων φορέων αστοχεί λόγω μήκυνσης του χάλυβα.
- 4) το μπετόν εκρήγνυται λόγω ογκομετρικής μεταβολής των συστατικών του από χαλαζία.
- 5) Στο μπετόν αναπτύσσονται ανομοιόμορφες θερμικές τάσεις.

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

4.1.2 Υποστυλώματα

Μια από τις συνηθισμένες βλάβες είναι η απόσχιση – αποφλοιώση του μπετόν των υποστυλωμάτων, φαινόμενο που εμφανίζεται εντονότερα στις ακμές και προκαλείται από την διαστολή του χάλυβα οπλισμού. Ο οπλισμός είναι εκτεθειμένος στις φλόγες, συνέπεια αυτού είναι η έκθεση του χάλυβα σε υψηλότερες ακόμα θερμοκρασίες αφού έχει χαθεί ο προστατευτικός μανδύας σκυροδέματος γύρω από αυτούς και τότε καθίσταται ευκολότερο να επέλθει η διαρροή του κάτω το οποίο για συνήθεις φορτίσεις συμβαίνει στους 600 °C περίπου. Πάντως ακόμα και αν αποφλοιωθούν οι επιφάνειες, αν οι διαστάσεις του στύλου είναι μεγάλες ο στύλος δε καταρρέει.

Έχει εκτιμηθεί ότι:

- ❖ Υποστυλώματα με διατομή πάνω από 40x40 cm αντέχουν πλήρως σε πυρκαγιά μιάμιση ώρα με το φορτίο του στατικού υπολογισμού.
- ❖ Υποστυλώματα διατομής 25x25 cm αντέχουν πλήρως σε πυρκαγιά 1 ώρας.
- ❖ Πρόβλημα υπάρχει για υποστυλώματα διαστάσεων 20x20 cm, που κατά την πυρκαγιά δεν καταστρέφονται από υπέρβαση αντοχής σε θλίψη αλλά από λυγισμό.

Συμπερασματικά, η επέμβαση μετά τη πυρκαγιά χρειάζεται κατά κανόνα μόνο σε Υποστυλώματα κάτω των 25 cm. Ο κυριότερος κίνδυνος είναι η αποφλοιώση του μπετόν ιδίως στις γωνίες, οπότε οπλισμός είναι εκτεθειμένος στις φλόγες και αν θερμανθεί πάνω από 600°C φθάνει, για τις συνήθεις

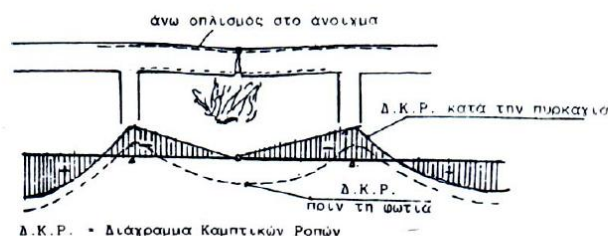
φορτίσεις το όριο διαρροής του. Η αντοχή των υποστυλωμάτων οφείλεται κυρίως στο μπετόν, που αργεί να θερμανθεί στο εσωτερικό του, έτσι ακόμα και αν αποφλοιωθούν οι επιφάνειες, αν οι διαστάσεις είναι μεγάλες, ο στύλος δε καταρρέει .

4.1.3 Συμπεριφορά δοκών

Σημαντικό ρόλο στην αντοχή σε πυρκαγιά παίζουν το πλάτος διατομής της δοκού, το βάθος του οπλισμού από την επιφάνεια και η ύπαρξη πυκνού επιφανειακού οπλισμού (συνδετήρων). Ουσιώδη σημασία έχει το σύστημα στατική λειτουργίας της δοκού: αμφιέριστοι δοκοί ή πλαίσια ενός ανοίγματος είναι περισσότερο ευπαθή, ενώ συνεχείς δοκοί και πολύστηλα πλαίσια είναι ασφαλέστερα, γιατί από την θερμότητα προσβάλλεται ο κάτω οπλισμός (ανοιγμάτων), ενώ στις στηρίξεις ο οπλισμός είναι κοντά στο δάπεδο (του υπερκείμενου ορόφου), όπου κυκλοφορεί ο εισερχόμενος αέρας και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες.

Στο σχήμα 4.8 η θέρμανση του οπλισμού δημιούργησε πλαστική άρθρωση στο μέσο του ανοίγματος της δοκού. Η ύπαρξη άνω οπλισμού επιτρέπει στα δύο κομμάτια (στα δύο τμήματα στα οποία κόπηκε η δοκός λόγω πλαστικής όρθωσης) να λειτουργήσουν σαν πρόβολοι. Έτσι εάν οπλισμός των ανοιγμάτων φτάσει στο όριο διαρροής θα γίνει ανακατανομή των ροπών με αύξηση των στηρίξεων, τις οποίες ο εκεί ψυχρότερος οπλισμός είναι ικανός να αναλάβει. Για το λόγο αυτό ένα καλό μετρώ αύξησης της ικανότητας των συνεχών δοκών είναι η συνέχιση μέρους των ράβδων των στηρίξεων στο άνοιγμα.

Ακόμα και στην περίπτωση ολοκληρωτικής θραύσης (δημιουργία πλαστικής άρθρωσης που επέρχεται όταν ένα $M_{max} = M_{pl}$) της δοκού στο μέσο του ανοίγματος, σύμφωνα με την πλαστική θεωρία των κατασκευών, είναι δυνατή η αλλαγή του στατικού συστήματος και έτσι τα δύο μισά της πρώην συνεχούς δοκού θα δουλέψουν χωριστά ως πρόβολοι, όπως δείχνει παρακάτω το σχήμα .



Σχήμα 4.8 Η θέρμανση του οπλισμού δημιούργησε πλαστική άρθρωση στο μέσο του ανοίγματος της δοκού. Η ύπαρξη άνω οπλισμού επιτρέπει στα δύο κομμάτια να λειτουργήσουν σαν πρόβολοι.

4.1.4 Συμπεριφορά πλακών

Συνήθεις βλάβες στις πλάκες εμφανίζονται στο κάτω πέλμα των άνω πλακών διότι οι θερμότερες αέριες μάζες συγκεντρώνονται στο πάνω μέρος των ορόφων και επειδή η άνω επικάλυψη των οπλισμών είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την κάτω.

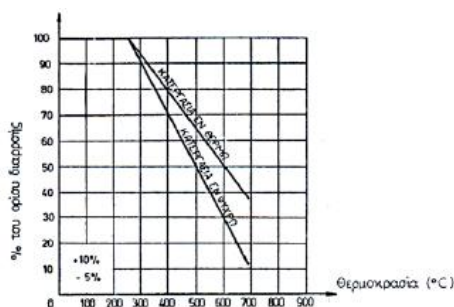
Έρευνες έδειξαν ότι κατά την φάση εισβολής της θερμότητας (περίπου 30 λεπτά) η θερμοκρασία της άνω παρειάς που μετρήθηκε ήταν 200 °C έως 300 °C χαμηλότερη από αυτή της κάτω παρειάς .

Οι βλάβες αυτές αφορούν μεγάλα βέλη κάμψης, ρωγμές και πιθανόν και τον κίνδυνο κατάρρευσης.

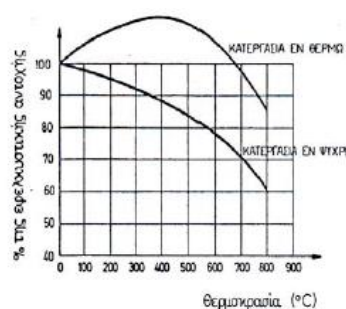
Αύξηση της αντοχής πλακών συνεχών ανοιγμάτων , επιτυγχάνεται αν τοποθετήσουμε και στα ανοίγματα οπλισμό στο πάνω μέρος κατ' επέκταση μέρος του οπλισμού στηρίξεων, όπως αναφέρθηκε για τις δοκούς (ανακατανομή ροπών).

4.2 ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ , ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

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

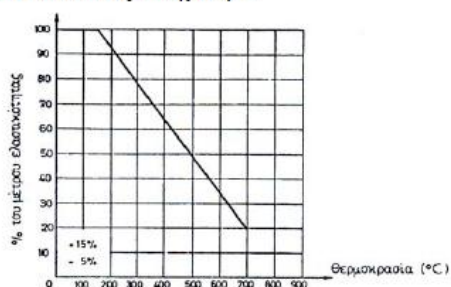


Σχ.4.4 Μεταβολή ορίου διαρροής χαλύβων οπλισμού “κατά την διάρκεια” της πυρκαγιάς

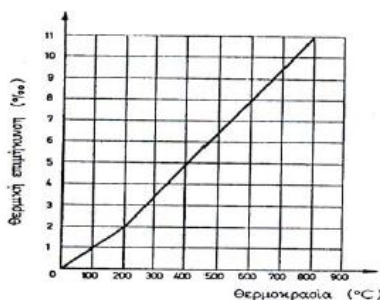


Σχ.4.5 Εφελκυστική αντοχή χαλύβων οπλισμού “μετά την απόψυξη”

Στο Σχ.4.6 & 4.7 παρουσιάζεται η μείωση του ορίου διαρροής των ράβδων οπλισμού συναρτήσει της θερμοκρασίας. Η εφελκυστική αντοχή εξαρτάται από την ιστορία φορτίσεως και από το είδος του χάλυβα.



Σχ.4.6 Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα “κατά την διάρκεια” της πυρκαγιάς



Σχ.4.7 Θερμική επιμήκυνση χαλύβων οπλισμού (αφόρτιστα δοκίμια)

4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ – ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η έκθεση του οπλισμένου σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζει εκτός από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών και τη συνάφεια σκυροδέματος και οπλισμού.

Η επιτυχής συνεργασία των δυο υλικών εξασφαλίζεται μέσω της μιας συνδυασμένης δράσης μηχανισμών που παρεμποδίζουν τη σχετική ολίσθηση μεταξύ των ράβδων οπλισμού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος. Η δράση αυτή αποδίδεται με τον όρο συνάφεια και προσομοιάζεται με τη δημιουργία διατμητικών τάσεων στη διεπιφάνεια χάλυβα – σκυροδέματος, των τάσεων συνάφειας.

Η συνάφεια αποτελεί πρωταρχικό χαρακτηριστικό του οπλισμένου σκυροδέματος και εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων όπως είναι :

1. Η ποιότητα σκυροδέματος (θλιπτική – εφελκυστική αντοχή).
2. Το είδος και το μέγεθος των αδρανών μέσα στο σκυρόδεμα
3. Το είδος της επιπόνησης που ασκείται στο σκυρόδεμα.
4. Η επιφάνεια των ράβδων οπλισμού.
5. Η επικάλυψη και η θέση των ράβδων σε σχέση με τη φορά αγκυροδέτησης.
6. Η παρουσία εγκάρσιου οπλισμού.
7. Η θερμοκρασία , η οποία ειδικά επηρεάζει άμεσα τη συνάφεια λόγω της διαφοροποίησης των συντελεστών θερμικής διαστολής σκυροδέματος – χάλυβα.

4.4 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Παρακάτω παραθέτουμε τρεις πίνακες(πίνακας 2, πίνακας 3, πίνακας 4 του Π. Δ.71 / 88₍₁₄₎) με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς της παθητικής πυροπροστασίας της Ελλάδας , με επιτρεπόμενες διαστάσεις και επικαλύψεις υποστυλωμάτων, δοκών και πλακών για διάφορα επίπεδα θερμοκρασιών, ώστε να επιτευχθεί ο απαιτούμενος χρόνος πυραντίστασης. *(Πινάκες που ακολουθούν.)*

Υποστυλώματα

Έκθεση σε πυρκαγιά	πλάτος υποστυλώματος, επικάλυψη (σε χιλ.)	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min	240 min
Σε όλη την περίμετρο	b	150	200	250	300	400	450
	c	20	25	30	35	35	35
Έκθεση του 50% της περιμέτρου	b	125	160	200	200	300	350
	c	20	25	25	25	30	35
Μία πλευρά εκτεθειμένη	b	100	120	140	160	200	240
	c	20	25	25	25	25	25

Πίνακας 2. Ελάχιστα επιτρεπόμενα όρια υποστυλωμάτων^[14].

Δοκοί

Είδος δοκού	Ελάχιστη διάσταση για δείκτες πυραντίστασης (χιλ.)						
		30	60	90	120	180	240
Αμφιέριστες							
α) Οπλισμένες	b	80	120	150	200	240	280
	c	20	30	40	50	70	80
β) Προεντεταμένες	b	100	120	150	200	240	280
	c						

Επίδραση πυρκαγιάς σε κατασκευές από Ο.Σ. – Μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης

	c	25	40	55	70	80	90
Συνεχείς							
α) Οπλισμένες	b	80	80	120	150	200	240
	c	20	20	35	50	60	70
β) Προεντεταμένες	b	80	100	120	150	200	240
	c	20	30	40	55	70	80

Πίνακας 3. Ελάχιστα επιτρεπόμενα όρια δοκών^[14].

Πλάκες

Είδος πλάκας	Ελάχιστες διαστάσεις για δείκτες πυραντίστασης (χιλ.)						
		30	60	90	120	180	240
Αμφιέριστες							
α) Οπλισμένες	d	75	95	110	125	150	170
	c	15	20	25	35	45	55
β) Προεντεταμένες	d	75	95	110	125	150	170
	c	20	25	30	40	55	65
Συνεχείς							
α) Οπλισμένες	d	75	95	110	125	150	170
	c	15	20	20	25	35	45
β) Προεντεταμένες	d	75	95	110	125	150	170
	c	20	20	25	35	45	55

Πίνακας 4. Ελάχιστα επιτρεπόμενα όρια πλακών^[14].**4.5. ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ**

Οι βλάβες που παρουσιάζονται στα δομικά στοιχεία λόγω της έκθεσης τους σε υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να εξηγηθούν μέσω της αλλαγής των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των υλικών που τα αποτελούν. Παρακάτω αναφέρονται συχνές μορφές βλαβών του οπλισμένου σκυροδέματος και οι αιτίες αυτών.

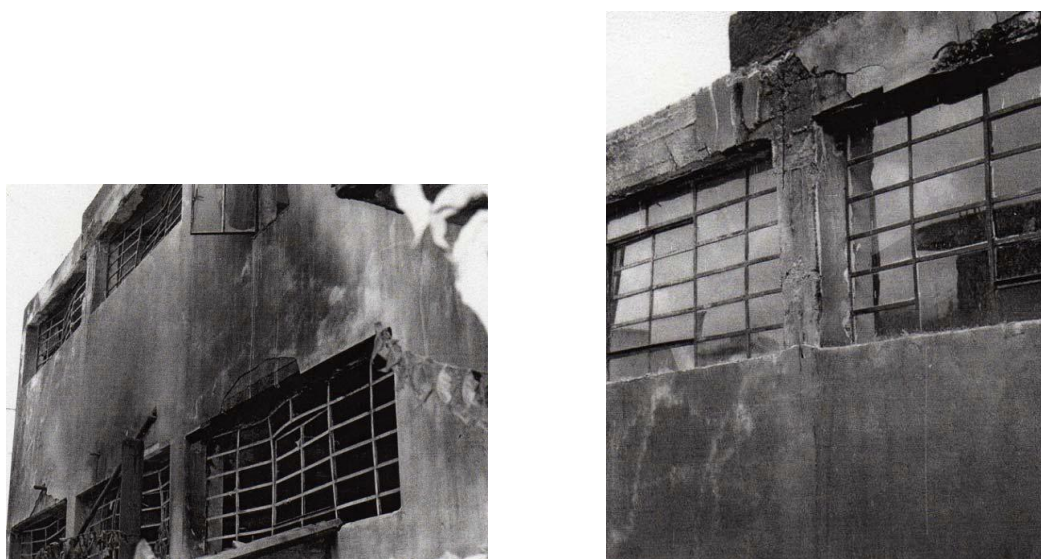
- Το σκυρόδεμα υπόκειται λόγω εμποδιζόμενης θερμικής διαστολής σε τάσεις εξαναγκασμού και Θραύεται .
- Ο χάλυβας χάνει την αντοχή του λόγω της θερμότητας και μηκύνεται υπέρμετρα, πράγμα που επίσης, οδηγεί σε αστοχία της θλιβόμενης ζώνης των καμπτόμενων φορέων και σε απόσχιση της επικάλυψης του σκυροδέματος ή αποκόλληση των χαλύβων από αυτό (απώλεια συνάφειας).
- Τα πυριτικά αδρανή (συνήθως χαλαζίτης από κοιτάσματα φυσικού αμμοχάλικου), που κυρίως χρησιμοποιούνται στην κεντρική Ευρώπη , παρουσιάζουν διόγκωση και σπάζουν όταν θερμανθούν στους 530 °C και οδηγούν στην απόσχιση του σκυροδέματος . Το φαινόμενο αυτό αρχίζει να εμφανίζεται μετά από έκθεση τουλάχιστον μισής ώρας .
- Η δημιουργία ατμού, ανάμεσα στην πυρόβλητη επιφάνεια και στο ψυχρό εσωτερικό της μάζας του μπετόν, όταν αυτός ο ατμός παράγεται σε μεγάλη ποσότητα, ώστε να μην προλαβαίνει να διαφύγει από τους υπάρχοντες πόρους, αναπτύσσεται πίεση, που διαλύει το μπετόν σε μορφή έκρηξης, μέσα στο πρώτο τέταρτο της ώρας. Το φαινόμενο ονομάζεται «εκρηκτική απόσχιση». Ειδικές έρευνες έδειξαν, ότι για να συμβεί εκρηκτική απόσχιση , πρέπει η ‘ελεύθερη υγρασία’ του σκυροδέματος , δηλαδή εκείνη που εξατμίζεται αν αυτό θερμανθεί στους 105°C, να είναι πάνω από 5%. Υγρασία πάνω Από 5% υπάρχει όταν το μπετόν είναι πρόσφατης κατασκευής (λιγότερο από τρεις μήνες) ή το δομικό στοιχείο ανήκει σε χώρο όπου παράγεται υγρασία (μαγειρεία, βαφεία κ. α) ή έχει μία όψη προς ψυχρό χώρο ή την ύπαιθρο, οπότε συμπυκνώνεται σ’ αυτό η υγρασία .
- Πιθανή επικάλυψη χλωρίδων λόγω καύσης στοιχείων PVC και τήξη της εξιλασμένης πολυστερίνης, η οποία χρησιμοποιείται ως μονωτικό κυρίως σε καλωδιώσεις. Ουσιαστικά πρόκειται για λεπτότατες στρώσεις υδροχλωρικού οξέος που δημιουργούν οξειδώσεις σε δομικά υλικά της κατασκευής.

Με οπτική επιθεώρηση της κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος που εκτέθηκε σε πυρκαγιά διακρίνουμε καθαρά τα παρακάτω ήδη βλαβών (εικόνα 1).

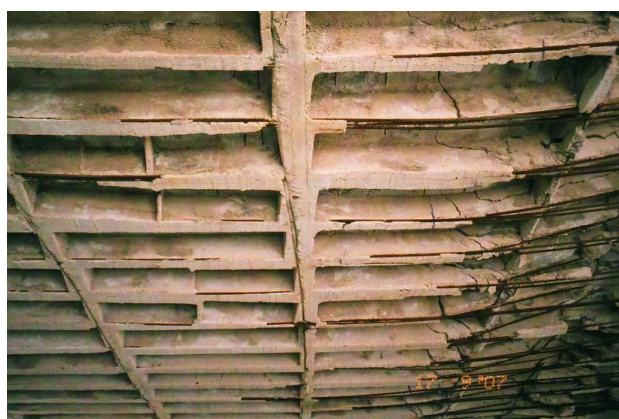
- Επιφανειακές ρηγματώσεις διαφόρων βαθμών.
- Αποκοπή γωνιών δομικών στοιχείων.
- Απογύμνωση οπλισμών λόγω απόσχισης σκυροδέματος.
- Αποσύνθεση (ασβεστοποίηση) του σκυροδέματος (κυρίως σε πλάκες).
- Σημαντικό βέλος κάμψης προβόλων, κλιμάκων και πιθανά πλακών.
- Έντονη αλλαγή χρωματισμών του σκυροδέματος (για το σκυρόδεμα που αποτελείται Κυρίως από πυριτικά αδρανή μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τις μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς).
- Πιθανή θραύση ,ίσως και κατάρρευση δομικών στοιχείων.



Εικόνα Βλάβες δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος



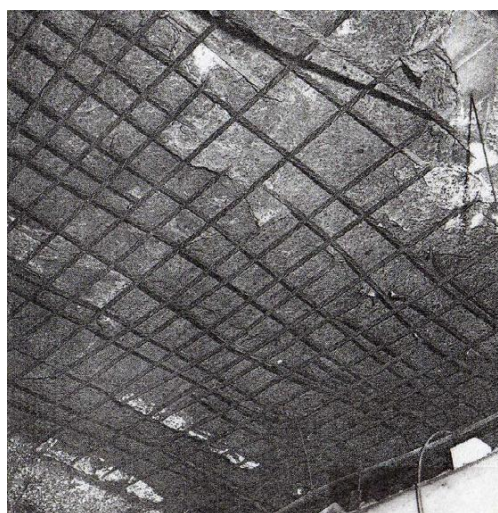
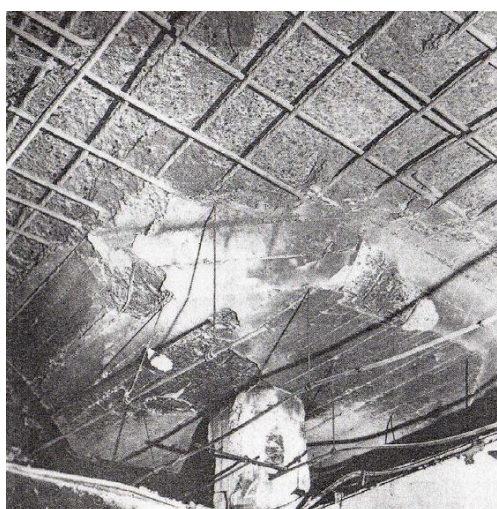
Βιομηχανία / αποθήκη χρωμάτων, απ Ο.Σ., μετά από έντονη πυρκαγιά: Εκτινάξεις υαλοστασίων, παραμορφώσεις υαλοστασίων, αποκολλήσεις επιχρισμάτων, ρηγματώσεις στοιχείων Ο.Σ. και πλινθοπληρώσεων, αποσύνδεση σκελετού και τοιχοπληρώσεων, σοβαρές βλάβες.



Καμμένη, μεγάλη δοκιδωτή πλάκα αποθήκης, πολύ βαριές βλάβες, βέλη (έως 250 mm) και ρωγμές (έως 25 mm), έντονες εκτινάξεις σκυροδέματος, έντονος λυγισμός ράβδων οπλισμού, φαιή/κιτρινωπή απόχρωση σε μεγάλη έκταση.



Δοκίδες/ νευρώσεις χωρίς συνδετήρες, πιο γρήγορη αστοχία των πιο λεπτών απ' αυτές.



Βαριές και εκτεταμένες βλάβες μυκητοειδούς συστήματος, έντονες εκτινάξεις σκυροδέματος και εκτεθειμένοι οπλισμοί.



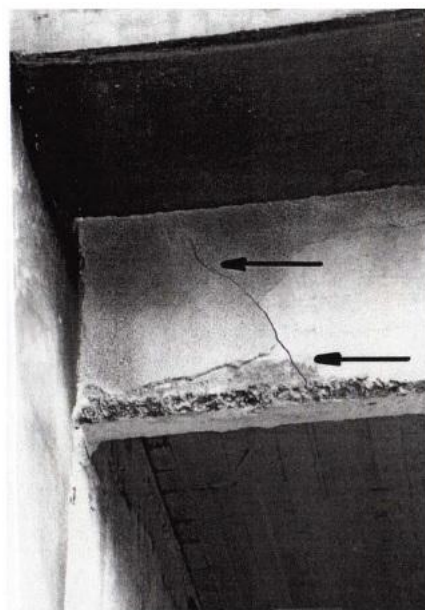
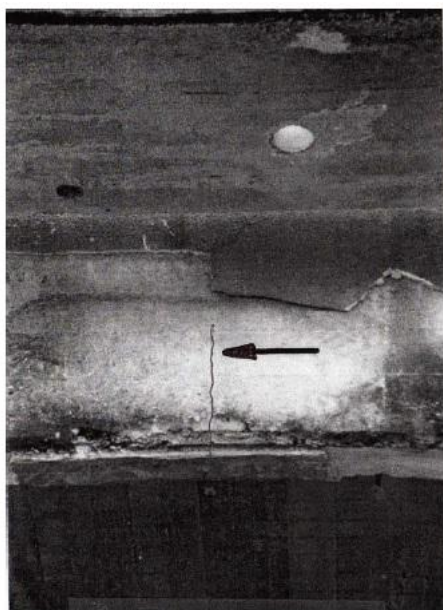
Πλάκα Ο.Σ., χαρακτηριστικές πολλαπλές ρωγμές (καί «άτακτες», καί πάνω στον οπλισμό).



Χαρακτηριστικές πολλαπλές ρωγμές δοκών (καμπτικές και διατμητικές).



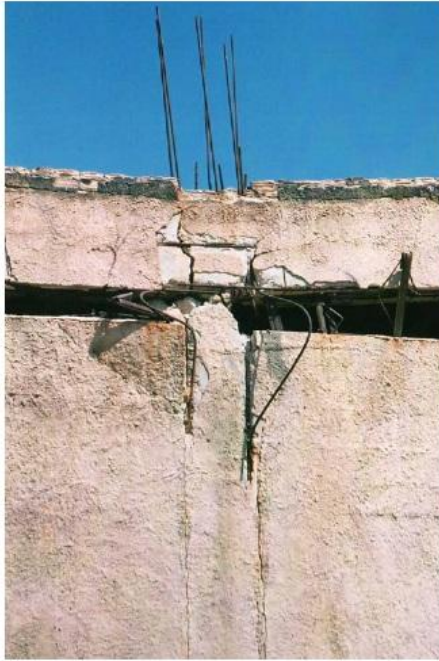
Διαμπερηής ρωγμή πλάκας/προβόλου στην πρόσψη κτιρίου.



Απολεπίσεις επιχρισμάτων, έντονες καμπτικές και διατμητικές ρωγμές δοκών (στο άνοιγμα και στο στήριγμα).



Θραύση υποστυλωμάτων με ανεπαρκείς συνδετήρες, χαρακτηριστικές ρωγμές προβόλων και δοκών.



Θραύση κοντών υποστυλωμάτων, και κατάρρευση.



Βλάβες γωνιακού κόμβου, έξω – μέσα.



Κτίριο από Ο.Σ.. Αποσύνδεση και μετακίνηση της τοιχοπλήρωσης, καπνός από την εσωτερική φωτιά μέσα από την ρωγμή, ενώ παρατηρείται και ελαφριά ρηγματώση του γωνιακού κόμβου.



Αποφλοίωση τοίχων πλήρωσης, αποσύνθεση κονιάματος, ρηγματώση.



Η ξύλινη μαρκίζα κάηκε πλήρως. Οι υαλοπίνακες έσπασαν και εκτινάχτηκαν, ενώ τα αλουμινένια πλαίσια και παραθυρόφυλλα έλιωσαν. Η μαρμαροποδιά κάμφθηκε προς τα άνω.

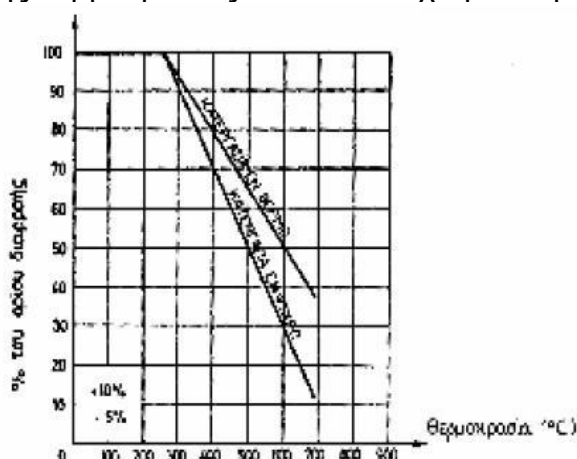
❖ 4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

➤ 4.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑ Α (Κ.Γ.ΤΡΕΖΟΣ , Δ.Θ.ΣΑΓΙΑΣ ΕΜΠ 2006

Για τη πραγματοποίηση του πρώτου πειράματος που διεξήχθη στο ΕΜΠ χρησιμοποιήθηκαν 48 δοκίμια οπλισμένου σκυροδέματος διαστάσεων $20 \times 20 \times 25\text{cm}$ τα οποία έφεραν διαμπερή ράβδο χάλυβα $\Phi 10$ ή $\Phi 16$, θερμάνθηκαν σε θερμοκρασίες που κυμαίνονταν από $200\text{ }^\circ\text{C}$ – $800\text{ }^\circ\text{C}$ σε κλίβανους και στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε δοκιμασία εξόλκευσης της ράβδου (pull-out test). Θερμάνθηκαν συνολικά 40 δοκίμια ενώ τα υπόλοιπα 8 δοκίμια, δεν υποβλήθηκαν σε θέρμανση και χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες στα οποία η αντοχή συνάφειας βρέθηκε ίση με $t_{\max,0} = 18,14\text{ MPa}$.

Για το σκυρόδεμα του χρησιμοποιήθηκε μετρήθηκαν οι τιμές $f_{ct} = 3,62\text{ MPa}$ (εφελκυστική αντοχή) και $f_{cc} = 34,59\text{ MPa}$ (θλιπτική αντοχή).

Όσον αφορά την επιρροή της θερμοκρασίας στη συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα παρατηρήθηκε μείωση των τάσεων συνάφειας με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας που αναπτύχθηκε στη περιοχή συνάφειας (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4.

Μεταβολή ορίου διαρροής χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες

Μάλιστα, η συσχέτιση αυτή φάνηκε να προσεγγίζεται ικανοποιητικά με γραμμική μεταβολή των τάσεων συναρτήσει της θερμοκρασίας. Η διαφοροποίηση που παρατηρείται στο σχήμα μεταξύ των δοκιμών με ράβδους $\Phi 10$ και $\Phi 16$ εικάστηκε από τους ερευνητές ότι οφείλεται σε σφάλμα κατά την εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας είτε σε διαφοροποίηση του μηχανισμού αστοχίας.

Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ήδη στους $500\text{ }^\circ\text{C}$ χάνεται η μισή αντοχή συνάφειας.

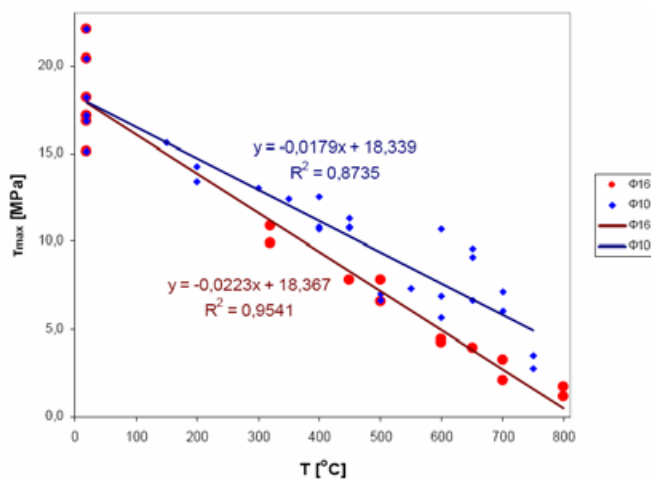
➤ 4.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑ Β (1994)

Στο παλαιότερο πείραμα (δημοσιευμένο στο 11ο συνέδριο του ΤΕΕ, 1994) χρησιμοποιήθηκαν τρεις ποιότητες αντοχής σκυροδέματος (22,5 , 30 και 35 MPa). Τρεις διαφορετικοί διάμετροι ράβδων οπλισμού ($\Phi 8$, $\Phi 10$, $\Phi 12$) με

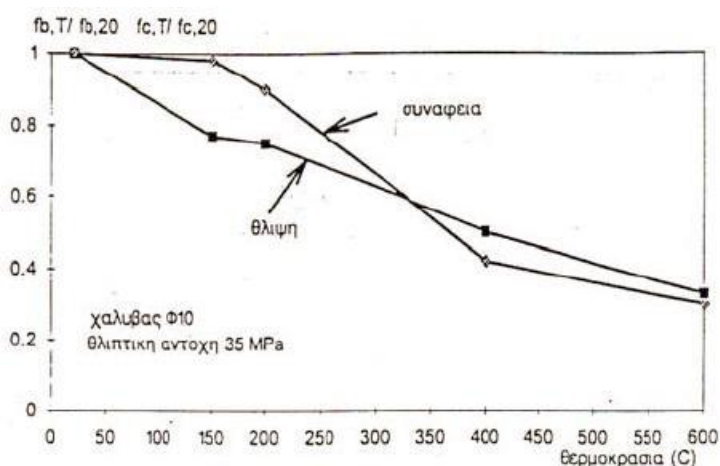
επικάλυψη 20mm μεταξύ κέντρου ράβδου οπλισμού και επιφάνειας δοκιμίων και πέντε επίπεδα θερμοκρασιών περιβάλλοντος (20 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C).

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι ερευνητές του πειράματος είναι ότι στα σκυροδέματα της υψηλότερης αντοχής ο ρυθμός πτώσης της συνάφειας είναι μικρότερος. Επίσης, μέχρι τους 150 °C δεν υπάρχει μείωση της απομένουσας συνάφειας για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος και η απομένουσα συνάφεια μειώνεται στο μισό στους 400 °C.

Παρακάτω, χάριν συγκρίσεως των αποτελεσμάτων των δυο πειραματικών διαδικασιών, παρατίθενται τα διαγράμματα της αντοχής συνάφειας συναρτήσει της θερμοκρασίας (Σχήμα 4.9 , Σχήμα 4.10) για σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 35 MPa, όπως δημοσιεύτηκαν από τους ερευνητές.



Σχήμα 4.9. $t_{max} - T$ πειράματος A



Σχήμα 4.10 $t_{max} - T$ πειράματος B

➤ 4.1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δυο παραπάνω πειραμάτων, βρίσκουμε αποκλίσεις όσον αφορά τη θερμοκρασία στην οποία η συνάφεια οπλισμού σκυροδέματος μειώνεται στο μισό. Κατά το πρόσφατο πείραμα των Τρέζου και Βάγια, αυτό γίνεται περίπου στους 500 °C ενώ στο παλαιότερο αυτό συμβαίνει κοντά στους 400 °C. Κάτι τέτοιο φαίνεται καθαρά παρατηρώντας και

τα διαγράμματα που παρατέθηκαν παραπάνω και θεωρούμε πως κατά ένα μεγάλο βαθμό η διαφορά αυτή οφείλεται στις διαφορετικές παραμέτρους που ελήφθησαν υπ' όψη από τους ερευνητές (διαφορετική επικάλυψη κ.τ.λ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες μέθοδοι που εφαρμόζονται από τους μηχανικούς προκειμένου να γίνει αποτίμηση της απομένουσας αντοχής των δομικών στοιχείων μιας κατασκευής μετά την έκθεση της σε πυρκαγιά.

5.1 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

- Οπτική θεώρηση. Είναι ικανή να δώσει μια πρώτη χονδροειδή εκτίμηση για τη κατάσταση της κατασκευής και εξαρτάται από την εμπειρία του μηχανικού.
- Δοκιμή κρουσίμετρου. Αν και δεν ενδείκνυται για σκυροδέματα που έχουν εκτεθεί σε πυρκαγιά μπορεί να δώσει μια πρώτη εικόνα, κατά το μακροσκοπικό έλεγχο για την εναπομένουσα αντοχή του σκυροδέματος.
- Μέθοδος υπερήχων. Είναι δυνατή η χρήση ειδικών συσκευών υπερήχων οι οποίες παράγουν υψηλών συχνοτήτων ηχητικά κύματα. Τα κύματα διαπερνούν το εξεταζόμενο μέλος και η ταχύτητά τους μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η καταστροφή στο μέλος αυτό. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια.

5.2 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

- Πυρηνοληψία (καρότα). Η πλέον συνηθισμένη δοκιμή εναπομένουσας αντοχής μετά από πυρκαγιά είναι η λήψη πυρήνων (καρότων) με τη χρήση ειδικού μηχανήματος. Τα καρότα οδηγούνται σε εργαστήρια όπου θλίβονται και θλιπτική τους αντοχή ανάγεται σε αντοχή κύβου 20 × 20 × 20. Να σημειωθεί, ότι τα σημεία πυρηνοληψίας δε θα πρέπει να είναι σε κρίσιμες διατομές γιατί έτσι αποφεύγεται η περεταίρω επιβάρυνση του φορέα.
- Δοκιμή οπλισμού. Οπλισμοί οι οποίοι απογυμνώθηκαν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς ή ήσαν γυμνοί (αναμονές) είναι κατάλληλοι για τη λήψη δειγμάτων με σκοπό την εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων του βλαμμένου χάλυβα.
- Έμπειξη – εξόλκευση ήλων. Κατά τη προσεγγιστική αυτή μέθοδο γίνεται έμπειξη ειδικών ήλων HILTI με ειδικό πιστόλι. Η δοκιμή αυτή μπορεί να μας δώσει μια προσεγγιστική τιμή της αντοχής του σκυροδέματος.

5.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ - ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Επισκευή είναι οι ενέργειες οι οποίες επαναφέρουν το κτίριο στην αρχική του κατάσταση, στην αρχική του ικανότητα να φέρει με ασφάλεια τα φορτία.

Οι μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης που προτείνονται σε κτίρια βλαμμένα από πυρκαγιά δίνονται επιγραμματικά παρακάτω .

- Έγχυτο σκυρόδεμα
- Εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Συγκόλληση με εποξειδικές κόλλες
- Επικόλληση ελασμάτων
- Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών στους παλαιούς
- Τσιμεντενέσεις – ρητινενέσεις
- Προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων
- Κονιάματα τσιμέντου και συνθετικών υλικών
- Ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή (FRP)

Ειδικά, σε κτίρια που είναι επίφοβα σε εκδήλωση ισχυρής πυρκαγιάς, προτείνονται οι παρακάτω μέθοδοι σχεδιασμού και ενίσχυσης για αυξημένη πυρασφάλεια.

- Χρήση ελαφροσκυροδεμάτων και σκυροδεμάτων υψηλότερης αντοχής. Μελέτες και πειράματα έχουν δείξει πως οι τύποι αυτοί σκυροδεμάτων είναι ανθεκτικότεροι σε πυρκαγιά έναντι των συνήθως χρησιμοποιούμενων.
- Πυροπροστατευτικά χρώματα. Εφαρμόζονται κυρίως σε αναφλέξιμα υλικά για την επιβράδυνση μετάδοσης της φωτιάς.
- Πυροπροστατευτικά επιχρίσματα. Αδρανές υλικό σε αυτά είναι συνήθως ο βερμικουλίτης ή περλίτης. Κατά κανόνα εφαρμόζονται πάνω σε μεταλλικό φορέα που στερεώνεται με μηχανικά μέσα σε επιφάνειες ο. σ.
- Εκτοξευόμενες ανόργανες ίνες. Χρησιμοποιείται μίγμα ινών λιθοβάμβακα και τσιμέντου ή γύψου σαν συνδετικού υλικού.
- Χρήση ρευστοποιητών. Η χρήση τους αντικαθιστά μέρος του νερού κατά τη παρασκευή του σκυροδέματος πράγμα που μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της εκρηκτικής απόσχισης.
- Χρήση νέας τεχνολογίας πολυμερών (Asota AFC). Τα πολυμερή αυτά, τα οποία κατασκευάζονται σε σωληνοειδή μορφή, μέσω τις ιδιότητάς τους να λιώνουν στους 250 °C, τοποθετούνται κατάλληλα και επιτρέπουν τη εξαγωγή των υδρατμών του σκυροδέματος στο περιβάλλον, ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της εκρηκτικής απόσχισης.

Στο επόμενο κεφάλαιο παραθέτουμε δύο παράδειγματα αποκατάστασης κτιρίων μετά από πυρκαγιά προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η διαδικασία αποκατάστασης και η χρήση κάποιων από τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν.

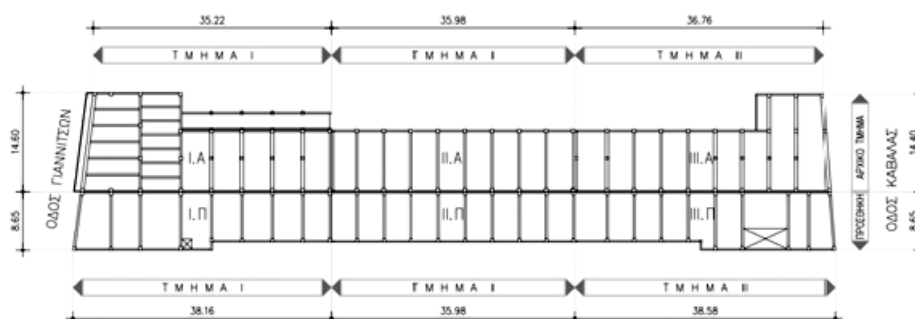
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6.Α. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ 75, ΑΘΗΝΑ

Με την μελέτη της πυρκαγιάς, που έπληξε το κτηριακό συγκρότημα από οπλισμένο σκυρόδεμα επί της οδού Γιαννιτσών 75, θα αξιολογήσουμε τις επιπτώσεις της στο κτήριο. Βάσει αυτής θα καθοριστούν οι τρόποι αποκατάστασης των ζημιών και, τέλος, κατόπιν σχετικής μελέτης, στην εκτίμηση του κόστους αυτής της αποκατάστασης του προ του συμβάντος επιπέδου ασφαλείας και λειτουργικότητας. Αξιοποιούνται τα καθιερωμένα κριτήρια συμμόρφωσης, που αναφέρονται στην ασφάλεια και τη λειτουργικότητα και τα συμπληρωματικά προς αυτά κριτήρια της οικονομίας, της αισθητικής και της ανθεκτικότητας στον χρόνο.

6.Α.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ

Το συγκρότημα συνολικού εμβαδού 7.080m^2 , διαθέτει υπόγειο (2.520m^2), υπερωσμένο ισόγειο (2.040m^2) διαθέτον, στα προς τις οδούς Γιαννιτσών και Καβάλας έχοντα όψεις τμήματα, μεσοπατώματα (550m^2) και στεγασμένο όροφο (1.970m^2). Το Αρχικό κτήριο και η μεταγενέστερή του οριζόντια Προσθήκη κατασκευάστηκαν το δεύτερο μισό της δεκαετίας του '60 και σήμερα έχουν ηλικία μεταξύ 45 και 50 ετών. Χωρίζονται διαμήκως με τον κατασκευαστικό αρμό και εγκαρσίως με δύο επί πλέον αρμούς συστολοδιαστολής δια των οποίων το κτηριακό συγκρότημα χωρίζεται σε 6 (έξι) στατικώς ανεξάρτητα τμήματα (Σχ.6.1). Οι αρμοί δεν είναι πρώτης ποιότητας με διπλούς στύλους και δοκούς εκατέρωθεν του αρμού, αλλά οι στύλοι και οι δοκοί του ενός από τα δύο χωριζόμενα τμήματα στηρίζουν αντιστοίχως τις δοκούς και τις πλάκες του άλλου, που εδράζονται σε βραχείς προβόλους (φορούσια) εξερχομένους από τους στύλους και τις δοκούς της άλλης πλευράς.



Σχ. 6.1 Κάτοψη του κτηριακού συγκροτήματος

Ο φέρων οργανισμός εκάστου εκ των έξι (6) στατικώς ανεξαρτήτων τμημάτων του κτηριακού συγκροτήματος συντίθεται από δίστηλα πλαίσια συνδεδόμενα

εγκαρσίως με συνεχείς δοκούς ασθενούς, συγκριτικώς, διατομής. Μπορεί να αναφερθεί ότι, η μελέτη χαρακτηρίστηκε πολύ καλή για την εποχή που εκπονήθηκε και η κατασκευή, επιμελημένη. Ο προβλεπόμενος από τη μελέτη δεύτερος όροφος δεν έχει κατασκευασθεί.

6.A.1.1. Περιγραφή της πυρκαγιάς

Η πυρκαγιά εκδηλώθηκε στις 04.12.2013 και ώρα 15:00 π.μ., σε τμήμα του κτηρίου (ισόγειο 1.060m² και μεσοπατώματα 500m²), που είχε εκμισθωθεί σε Κινέζικη εταιρεία που το χρησιμοποιούσε ως αποθήκη αλλά και για την εμπορία ειδών δώρων και διακοσμητικών. Οι πυροσβεστικές δυνάμεις κατέφθασαν με 20 οχήματα και 40 πυροσβέστες. Οι φλόγες επεκτάθηκαν ταχύτατα λόγω της φύσεως των αποθηκευμένων υλικών, όπως υφάσματα, πλαστικά κ.α. Η κατάσβεση ήταν δύσκολη και η κύρια προσπάθεια των πυροσβεστών ήταν να αποσοβηθεί τυχόν επέκταση της φωτιάς στα όμορα κτήρια (Εικ.1). Η φωτιά διήρκεσε 3 ώρες περίπου και σ' αυτό το διάστημα κατανάλωσε το σύνολο σχεδόν των αποθηκευμένων εμπορευμάτων. Επλήγησαν το ισόγειο του κτηρίου και τα μπροστινά και πίσω μεσοπατώματα συνολικής κάτοψης 3.000 m². Ο υπερκείμενος όροφος και το υποκείμενο υπόγειο ήταν άδεια και δεν εθίγησαν. Στη θιγείσα περιοχή οι βλάβες προέκυψαν ανομοιόμορφες, προφανώς αναλόγως της πυκνότητας και του είδους των καμένων αποθηκευμένων εμπορευμάτων.



Εικ. 1 Φωτογραφικό στιγμιότυπο από τη στιγμή εκδήλωσης της πυρκαγιάς
(Πηγή: Εφημερίδα Μακεδονία, 05/12/2013)

6.A.1.2. Ενέργειες μετά το συμβάν – Συλλέγοντα στοιχεία

Για την αξιολόγηση της κατάστασης του φέροντος οργανισμού και τον καθορισμό των μέτρων αποκατάστασης του πληγέντος κτηρίου, οι

πραγματογνώμονες (Ι. Τέγος & Κ. Ψάρρας) επισκέφθηκαν το χώρο αμέσως μετά το συμβάν και συνέταξαν σχετική έκθεση κατ' εντολή των ιδιοκτητών. Η μελέτη αποκατάστασης εκπονήθηκε από την εταιρεία ΜΕΤΕ ΣΥΣΜ Α.Ε. (Η. Παπαδόπουλος).

Οι παραπάνω ενέργειες που πρόκειται να πραγματοποιηθούν περιελάμβαναν τα εξής:

Τη συλλογή όλων των στοιχείων από διάφορες πηγές αναφορικός με την εκδήλωση, την εξέλιξη και την περιγραφή της πυρκαγιάς.

- ❖ Την υπόδειξη τυχόν μέτρων ασφαλείας.
- ❖ Την εκτίμηση των αναπτυσθεισών θερμοκρασιών.
- ❖ Την εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών μετά την επαναφορά τους στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- ❖ Την απογραφή των προκληθεισών από την πυρκαγιά βλαβών.
- ❖ Τις διαπιστώσεις περί του υπάρχοντος βαθμού ζημιών και ταξινόμηση αυτών.
- ❖ Τον έλεγχο συμφωνίας μελέτης και κατασκευής.
- ❖ Την εκπόνηση της μελέτης αποκατάστασης.
- ❖ Την τεχνική περιγραφή υλικών και εργασιών και
- ❖ Την προμέτρηση των εργασιών και τον προϋπολογισμό του κόστους της αποκατάστασης.

Με βάση τα παραπάνω, την επιστημονική και μελετητική εμπειρία και την βαθμό προσωπική κρίση, είναι δυνατόν να προκύψουν τα μέτρα αποκατάστασης, τα οποία πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις που επιβάλλονται από τα συναφή κριτήρια συμμόρφωσης και σχετίζονται με την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα, την οικονομία, την αισθητική και την ανθεκτικότητα.

6.A.2. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

6.A.2.1 Εκτίμηση αναπτυσθεισών θερμοκρασιών

Το θερμικό “φορτίο” το οποίο δέχθηκε το κτηριακό συγκρότημα είχε σοβαρές επιπτώσεις και επηρέασε αρνητικά τον φέροντα οργανισμό. Σημειώνεται ότι οι παρατεταμένες θερμικές δράσεις υψηλής έντασης προκάλεσαν σε αρκετά δομικά μέλη οιονεί ανήκεστες βλάβες, γεγονός που, εφόσον είναι δυνατόν, επιβάλλει την εκτομή των και την ανακατασκευή των.

Ένα από τα πρώτα και κύρια βήματα κατά τη διαδικασία της αποτίμησης των συνεπειών της πυρκαγιάς στο κτήριο αποτελεί η εκτίμηση των μεγίστων θερμοκρασιών που ανεπτύχθησαν στα διάφορα τμήματα του κτηρίου, καθώς και η εκτίμηση της διάρκειας της πυρκαγιάς. Υπάρχουν αξιόπιστες ενδείξεις

για τη μέγιστη θερμοκρασία αέρος στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων. Η γνωστότερη εξ αυτών είναι οι χρωματικές αλλαγές που εκδηλώνονται στο σκυρόδεμα και έχουν διάφορες αποχρώσεις, αναλόγως του ύψους της αναπτυσθείσας θερμοκρασίας T . Ισχύουν για ασβεστολιθικά αδρανή (Neville 1996):

- ❖ Για $T < 300$ ο C το σκυρόδεμα διατηρεί το χρώμα του κάτω από την επικαθίσασα καπνιά.
- ❖ Για $300 < T < 600$ ο C το σκυρόδεμα λαμβάνει απόχρωση ροζ και σκεπάζεται με περισσότερη καπνιά.
- ❖ Για $600 < T < 900$ ο C το σκυρόδεμα λευκαίνει και σκεπάζεται με περισσότερη καπνιά.
- ❖ Για $T > 900$ ο C το σκυρόδεμα γίνεται φαιοκίτρινο.

Στην εξεταζόμενη περίπτωση, επειδή ο χώρος είναι αποθήκη, υπήρχε μεγαλύτερη του συνήθους ποσότητα και από απόψεως είδους υπήρχαν υλικά με μεγάλη θερμαντική ικανότητα, οπότε η πυρκαγιά διήρκεσε επί πολύ χρόνο και είχε μεγάλη ένταση. Με βάση τα συλλεγόμενα στοιχεία, οι θερμοκρασίες, που αναπτύχθηκαν ήταν της τάξης των 900ο C.

6.A.2.2 Αποτίμηση κατάστασης υλικών

Η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στο χάλυβα και το σκυρόδεμα επηρεάζει δυσμενώς τόσο τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, όπως η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας, όσο και τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες, καθώς επιφέρει αλλαγή της κρυσταλλικής τους δομής και προκαλεί εσωτερικές ρηγματώσεις. Συνέπεια τούτων είναι μειώσεις στη φέρουσα ικανότητα των δομικών στοιχείων και γενικότερα των χωρικών συστημάτων, που αποτελούν τους φέροντες οργανισμούς, στους οποίους εκδηλώνονται μεγάλες παραμορφώσεις και ακραίες ανακατανομές εντάσεων. Πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ δύο καταστάσεων κατά τις οποίες οι αντοχές των υλικών διαφοροποιούνται σημαντικά. Η πρώτη αφορά στη διάρκεια της έκθεσής των στις υψηλές θερμοκρασίες, όπου οι αντοχές μειώνονται δραματικά και απειλείται η τοπική ή η ολική κατάρρευση, ενώ η δεύτερη των μετά την απόψυξη κατάσταση και την επαναφορά τους στις συνθήκες του περιβάλλοντος, οπότε και πρέπει να αντιμετωπισθούν τα προβλήματα της αποτίμησης και της επισκευής του δομήματος.

Η πειραματική, κυρίως, έρευνα αναφορικός με τη συμπεριφορά των υλικών και των δομικών στοιχείων έναντι των υψηλών θερμοκρασιών, έχει δώσει μέχρι σήμερα σημαντικά αξιοποιήσιμα αποτελέσματα. Ωστόσο οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με το φαινόμενο, περιπλέκουν το ήδη πολύπλοκο πρόβλημα και τον χειρισμό των συνεπειών της πυρκαγιάς.

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι, ως γνωστόν, οι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος βασίζονται στη συνεργασία του σκυροδέματος και του ενσωματωμένου σιδηρού οπλισμού. Η επιθυμητή συνεργασία των δύο υλικών υπό ομαλές συνθήκες εξασφαλίζεται μέσω μιας συνδυασμένης δράσης μηχανισμών που παρεμποδίζουν την σχετική ολίσθηση μεταξύ των ράβδων οπλισμού και του περιβάλλοντος αυτής σκυροδέματος. Η δράση αυτή αποδίδεται με τον όρο συνάφεια (πρόσφυση) και προσομοιώνεται με τη δημιουργία διαμήκων διατμητικών τάσεων ασκουμένων στη διεπιφάνεια ράβδων χάλυβα και σκυροδέματος, ήτοι των τάσεων συνάφειας. Η συνάφεια αποτελεί τον “εκ των ων ουκ άνευ” παράγοντα για την λειτουργία των μηχανισμών παραλαβής των διαφόρων ειδών καταπονήσεων, που προέρχονται από τα φορτία βαρύτητας, τους καταναγκασμούς και τον σεισμό. Μειωμένη δυνατότητα ανάπτυξης τάσεων συνάφειας συνεπάγεται υποβιβασμό της φέρουσας ικανότητας των δομικών μελών, που συναποτελούν τον φέροντα οργανισμό ενός δομήματος. Μία τέτοια μείωση είναι γνωστόν ότι μπορεί να προκληθεί ύστερα από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως σε μια κατάσταση πυρκαγιάς. Στη σχετική βιβλιογραφία αναφέρεται ότι ήδη στους 500ο C η συνάφεια μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος υποβαθμίζεται στο 50%, ενώ στους 750ο C πρακτικώς δεν υφίσταται (Τρέζος και Σαγιάς 2006). Αυτά ισχύουν για τους χάλυβες που έχουν νευρώσεις, που είναι αυξημένης συνάφειας. Για τους λείους χάλυβες η κατάσταση είναι πολλαπλασίως δυσμενέστερη.

❖ Αποτίμηση κατάστασης σκυροδέματος

Αναφορικώς με το σκυρόδεμα διενεργήθηκε οπτικός έλεγχος, που περιέλαβε: α) τον εντοπισμό των πλέον θερμικός επηρεασμένων περιοχών, β) την έκταση των αποφλοιώσεων, ρηγματώσεων και των εν γένει αποδιοργανώσεων, γ) την ύπαρξη τυχόν παραμενουσών παραμορφώσεων και μετατοπίσεων και δ) την κατάσταση των υπαρχόντων αρμών διαστολής.

Για λόγους πληρότητας ζητήθηκε εργαστηριακή έρευνα με βάση τις οδηγίες του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ). Ελήφθησαν συνολικώς 18 δοκίμια πυρήνων, ήτοι 3 από κάθε ένα από τα στατικώς ανεξάρτητα τμήματα του Συγκροτήματος (ΟΑΣΠ 2013). Επιπροσθέτως έγινε σημαντικός αριθμός κρουσιμετρήσεων οι οποίες βαθμονομήθηκαν βάσει των αποτελεσμάτων των πυρήνων. Αναφορικώς με τις μεθόδους εκτίμησης της αντοχής του σκυροδέματος μετά την πυρκαγιά και την εξακρίβωση του βάθους των επιφανειακών αλλοιωμένων και απαξιωμένων μηχανικώς στιβάδων του υλικού θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος της πυρηνοληψίας δεν παρουσιάζει την εγκυρότητα που διαθέτει στις συνήθεις περιπτώσεις. Καταλλήλως, ωστόσο, προσαρμοζόμενη, και υπό προϋποθέσεις, είναι δυνατόν να δώσει αποτελέσματα για το βάθος της απαξιωμένης εξωτερικής στιβάδας σκυροδέματος. Επίσης, το κρουσίμετρο μπορεί να είναι χρήσιμο

μόνο σε περιοχές με ήπιες βλάβες πυρκαγιάς και, πρακτικώς, μηδενικού πάχους ενανθράκωσης. Η κρουσιμέτρηση σε επιφάνειες που έχουν υποστεί πυρκαγιά δεν δίνει αξιόπιστες τιμές αντοχής του σκυροδέματος και τις υπερεκτιμά κατά πολύ. Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι δι' αυτού μετρείται η επιφανειακή σκληρότητα του σκυροδέματος, η οποία “βελτιώνεται” με την ενανθράκωση και την πυρκαγιά. Για τους ίδιους λόγους δεν ενδείκνυται και η εφαρμογή της λεγόμενης Ελληνικής Μεθόδου, η οποία συνίσταται στην εκτόξευση και κατόπιν εξόλκευση ήλων. Η μόνη μέθοδος που δεν εμφανίζει τα ανωτέρω μειονεκτήματα είναι εκείνη του υπερηχοσκοπίου, η οποία, ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητάς της, του είδους και της θέσεως των βλαβών κρίνεται ως πρακτικώς ανεφάρμοστος ως μέσο διάγνωσης και εντοπισμού των απαξιωθεισών περιοχών δομικών μελών και, κυρίως, των παρουσιαζόντων το μείζον ενδιαφέρον, στύλων των πλαισίων του κτηριακού συγκροτήματος. Ως εκ τούτου το βάθος της ασβεστοποίησης εκτιμήθηκε αδρομερώς, βάσει των πυρηνοληψιών από 5 έως 10 cm στις περιοχές που η πυρκαγιά είχε τη μέγιστή της ένταση.

❖ Αποτίμηση κατάστασης χαλύβων

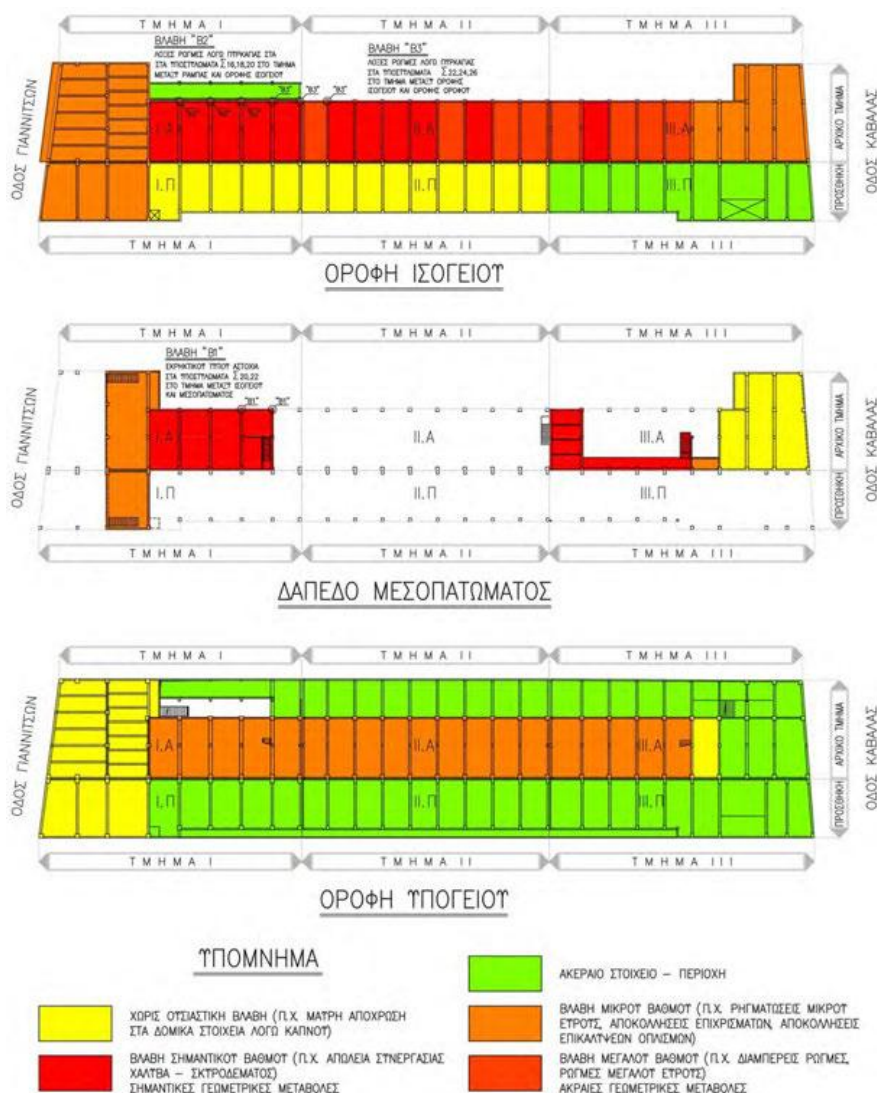
Όπως και στην περίπτωση του σκυροδέματος οι γενόμενοι για τον χάλυβα έλεγχοι ακολούθησαν της υποδείξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ελήφθησαν τμήματα ράβδων από υποστυλώματα, από σημεία προσιτά ως προς το ύψος. Συνολικώς ελήφθησαν 6 τεμάχια ράβδων οπλισμού, ένα από κάθε στατικώς ανεξάρτητο τμήμα του Συγκροτήματος. Το είδος των χαλύβων που εξετάστηκαν ήταν για μεν το Αρχικό Τμήμα λείες ράβδοι, για δε την Οριζόντια Προσθήκη χάλυβες με νευρώσεις. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώνει και τις αναγραφόμενες στους Στατικούς Υπολογισμούς και τα κατασκευαστικά σχέδια της Μελέτης. Ωστόσο, όσον αφορά τους χάλυβες με νευρώσεις διεπιστώθη ότι τα τρία ληφθέντα δοκίμια από στύλους της Προσθήκης ανήκουν στην κατηγορία St IIIa και όχι στην St IIIb της Μελέτης. Τούτο είναι δυνατόν να αποδοθεί στις συνθήκες προμήθειας του προϊόντος από τον κατασκευαστή του έργου, ο οποίος παρά τη σαφή απαίτηση της Μελέτης ήταν δυνατόν, λόγω της αναφερθείσης ισοτιμίας των αντοχών, να προμηθευθεί υλικά είτε της μιας, είτε της άλλης κατηγορίας. Το γεγονός αυτό μολονότι φαινομενικώς δεν επηρεάζει την ασφάλεια του αποτελέσματος, εντούτοις επηρεάζει δραματικά την πυρασφάλεια, καθόσον οι χάλυβες της κατηγορίας St IIIb που προδιαγράφει η Μελέτη σε περίπτωση πυρκαγιάς υψηλής εντάσεως χάνουν περίπου το 50% της αντοχής των (Μαυροειδής et al 2006). Η διαπίστωση ενέχει μεγάλη σημασία για την ασφάλεια των τμημάτων Ι.Π και ΙΙ.Π εις τα οποία αναπτύχθηκαν υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, καθόσον εις αυτά, δεν αποκλείεται, να έχει τηρηθεί η υπόδειξη της Μελέτης περί του είδους του χάλυβα.

6.A.2.3 Κατανομή βλαβών στον Φ.Ο.

Διενεργήθηκε λεπτομερής απογραφή των βλαβών που προέκυψαν από την πυρκαγιά στον Φέροντα Οργανισμό (Φ.Ο.) του Συγκροτήματος, καθώς και στον Οργανισμό Πλήρωσης. Στα σχέδια τριών κατόψεων (Σχ.6.2) χαρακτηρίζονται με κατάλληλα χρώματα βάσει της κρισιμότητας των βλαβών, οι περιοχές του Συγκροτήματος που επλήγησαν άλλες πολύ, άλλες λίγο από τις υψηλές θερμοκρασίες. Τα σχέδια αφορούν το Ισόγειο (οροφή), τα Μεσοπατώματα και το Υπόγειο (οροφή). Με χρώμα κόκκινο εμφανίζονται οι περιοχές με ανήκεστο βλάβη, με χρώμα πορτοκαλί οι περιοχές με μικρότερες μεν βλάβες ως προς τις προηγούμενες, αλλά που χρήζουν αποκατάστασης, με κίτρινο οι περιοχές που χρήζουν ηπιότερης αποκατάστασης και, τέλος, με πράσινο οι περιοχές, οι οποίες έμειναν αλώβητες.

Το λεόντειο μερίδιο στις βλάβες έχει το Ισόγειο του Αρχικού Τμήματος και ειδικότερα η πλάκα της οροφής του καθώς και τμήματα των πλακών των μεσοπατωμάτων (τμήμα I και III Αρχικού). Κατόπιν έρχονται η πλάκα πατώματος του Ισογείου (Οροφής Υπογείου) στο τμήμα II και σε μέρος των τμημάτων I και III του Αρχικού, καθώς και τμήμα του προς την οδό Γιαννιτών Μεσοπατώματος. **ΕΠΕΣ** Ελληνική Επιστημονική Εταιρία Ερευνών Σκυροδέματος (ΕΠΕΣ) – ΤΕΕ / Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος «Κατασκευές από Σκυρόδεμα» Θεσσαλονίκη, 10-12 Νοεμβρίου 2016

Ήπιες βλάβες εμφανίζονται σε τμήματα της οροφής Υπογείου προς την οδό Γιαννιτών (Αρχικό και Προσθήκη), σε τμήμα του προς την οδό Καβάλας Μεσοπατώματος και στις πλάκες οροφής Ισογείου του Τμήματος II και μέρους του Τμήματος I της Προσθήκης του Συγκροτήματος. Επίσης, αλώβητες θεωρούνται στην παρούσα οι πλάκες της οροφής Ισογείου του Τμήματος III της Προσθήκης, το σύνολο της πλάκας οροφής του Ορόφου καθώς και η Θεμελίωση .



Σχ. 6.2 Κατανομή βλαβών στο φέροντα οργανισμό

6.A.2.4 Μορφολογία βλαβών

Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς εκτός από την απαξίωση των μηχανικών ιδιοτήτων, συμβαίνουν στο χωρικό σύστημα, όπου εντάσσονται τα στοιχεία αυτά, ανακατανομές εντατικών καταπονήσεων, εκδηλώνονται βλάβες και ενίοτε εμφανίζονται, σε ακραίες περιπτώσεις, μερικές ή ολικές καταρρεύσεις. Οι κύριες και τυπικές βλάβες επί της γεωμετρίας των δομικών στοιχείων που εμφανίστηκαν συνοψίζονται ως ακολούθως:

- α) Πρώρες αποκολλήσεις και καταπτώσεις επιχρισμάτων.
- β) Απομειώσεις διατομών των δομικών στοιχείων λόγω απολεπίσεων, αποφλοιώσεων και αποκολλήσεων των εξωτερικών στιβάδων στις πλάκες και δοκούς.
- γ) Χαρακτηριστικές και έντονες παραμένουσες παραμορφώσεις σε πλάκες, δοκούς και υποστυλώματα (Εικ. 2).

δ) Εκρηκτικού τύπου αστοχία δύσκαμπτων στύλων εξ αιτίας θερμικού “λακτίσματος” προερχομένου από έντονη διαστολή υπερκείμενης πλάκας – δίσκου (Εικ. 3).

Ειδικότερα, στην περιοχή του Τμήματος III.A (Εικ. 2γ) μετρήθηκαν στις πλάκες εγκ παραμορφώσεις πλακών +10 cm και -20 cm (ανύψωση). Η δεύτερη πιθανόν να π από την απότομη ψύξη του κάτω πέλματος κατά την κατάσβεση της πυρκαγιάς. Επίσης στην ίδια περιοχή παρατηρήθηκαν και έντονες οριζόντιες παραμορφώσεις ζυγώματα των πλαισίων της οροφής του Ισογείου.



Εικ. 2α Τμήμα I.A - Μεσοπάτωμα



Εικ. 2δ Τμήμα I.Π - Μεσοπάτωμα



Εικ. 2β Τμήμα II.A



Εικ. 2γ Τμήμα III.A



A)
Εικ. 3 Θερμικό “λάκτισμα” στύλων α) Σ20, και μεσοπατώματος



β) Σ22 στο τμήμα μεταξύ ισογείου

♦ Βλάβες σε πλάκες

Οι βλάβες από τα θερμικά φορτία στις πλάκες ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

(i) Οι βλάβες εκδηλώθηκαν εις αμφοτέρα τα πέγματα των πλακών και συνδυάζονται είτε με την εμφάνιση διαμπερών ρωγμών, είτε με αλλοίωση της γεωμετρίας η οποία σημαίνει εμφανή παρέκκλιση από την επιπεδότητα, είτε, τέλος, στην απώλεια πρόσφυσης (συνάφειας) μεταξύ των ράβδων οπλισμού και του σκυροδέματος. Στην περίπτωση αυτή λόγω της καίριας τρώσεως των μηχανισμών παραλαβής των εντατικών καταπονήσεων η βλάβη θεωρείται ανήκεστος μη επιδεχόμενη επέμβαση, οπότε απομένει, ως μόνη λύση, η τοπική εκτομή και η ανακατασκευή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτομή ενός ή περισσοτέρων φατνωμάτων πλακών αποτελεί πρόβλημα τοπικής σημασίας, που δεν δημιουργεί γενικότερες επιπτώσεις στον φέροντα οργανισμό. Στην κατηγορία αυτή των βλαβών εντάσσεται μεγάλος αριθμός φατνωμάτων των πλακών της Οροφής Ισογείου και μικρός αριθμός των Μεσοπατωμάτων.

(ii) Στη δεύτερη κατηγορία εντάσσονται οι περιπτώσεις, όπου έχει πληγεί κυρίως το κάτω πέγμα, ενώ το αντίστοιχο άνω πέγμα είτε έχει πληγεί ελαφρότερο, είτε είναι πρακτικώς αλώβητον, οι βλάβες θεωρούνται αποκαταστάσιμες και η αποκατάσταση, θα είναι δυνατόν, να επιχειρηθεί μέσω της ενίσχυσης εφαρμοζομένης στο κάτω πέγμα. Η περίπτωση αυτή αφορά κυρίως πλάκες της οροφής Ισογείου και των Μεσοπατωμάτων. Η περίπτωση διαιρείται σε δύο υποπεριπτώσεις, όπως των σημαντικών και των ήπιων βλαβών, εκάστην των οποίων δέον να αντιμετωπίζεται αναλόγως.

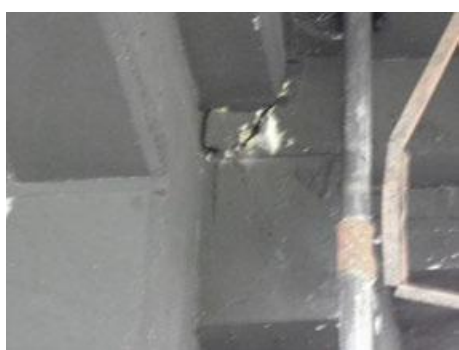
(iii) Ως τρίτη κατηγορία αναφέρεται η περίπτωση βλαβών στο άνω πέγμα, οπότε λόγω της, για πολλούς λόγους, ακαταλληλότητας αυτού του πέγματος να δεχθεί ενισχυτική επέμβαση θα είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί στο λιγότερο βλαβέν κάτω πέγμα βάσει της κανονιστικώς επιτρεπομένης αρχής της ανακατανομής των καμπτικών καταπονήσεων, με τη θεώρηση ότι τη μειωμένη φέρουσα ικανότητα των στηρίξεων καλύπτει η αυξημένη αντίστοιχη φέρουσα ικανότητα των ανοιγμάτων. Και στην περίπτωση αυτή ενδείκνυται η διάκριση σε σοβαρές και ήπιες περιπτώσεις φατνωμάτων πλακών των Μεσοπατωμάτων και του Υπογείου

♦ Βλάβες σε δοκούς

Οι πλάκες των ορόφων ως δομικά μέλη εξυπηρετούν απλώς τη μεταβίβαση φορτίων στις δοκούς, είτε βαρύτητος, είτε καταναγκασμού και σεισμού, όταν αυτές λειτουργούν ως δίσκοι. Ως εκ τούτου τυχόν πρόσκαιρη αφαίρεσή των, στην περίπτωση που επιβάλλεται η ανακατασκευή των, τούτο δε δημιουργεί πρόβλημα ευστάθειας των πλαισίων του χωρικού συστήματος. Συνεπώς αποτελούν οιονεί τον μη κρίσιμο κρίκο στην αλυσίδα παραλαβής και μεταβιβάσεως φορτίων από την ανωδομή στη θεμελίωση και στο έδαφος. Αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με τις δοκούς και τους στύλους, τους δύο

επόμενους κρίκους της νοητής αλυσίδας. Διότι τυχόν εκτομή μιάς δοκού ή ενός στύλου προκαλεί δυσεπίλυτα και δαπανηρώς αντιμετωπιζόμενα κατασκευαστικά προβλήματα. Συνεπώς για τις δοκούς δεν είναι δυνατόν να υπάρξει η περίπτωση (i) της αναφερθείσης εις την περίπτωση των πλακών εκτομής και αντικατάστασης, ως τρόπος αντιμετώπισης των ισχυρώς προσβληθεισών περιπτώσεων. Ωστόσο, ισχύουν οι δύο άλλες προαναφερθείσες (ii) και (iii) περιπτώσεις ταξινόμησης των πλακών, οι οποίες προσαρμόζονται καταλλήλως για τις αντίστοιχες περιπτώσεις και θέσεις, που έχουν εντοπισθεί. Επειδή κατόπιν των ανωτέρω επισημάνσεων, γεννάται το πρόβλημα της αντιμετώπισης στην ίδια περιοχή της εδράσεως των ανηκουσών στην κατηγορία (i) ανακατασκευαστέων πλακών, αυτό είναι δυνατόν να αντιμετωπισθεί μέσω της διεύρυνσης του πλάτους των ισχυρώς προσβληθεισών δοκών.

Ειδική περίπτωση αποτελεί η συντριβή των άκρων δύο δοκών εδραζομένων σε “φορούσια” στύλων στη θέση των αρμών (Εικ. 4), όπου η αστοχία τους οφείλεται στην υπερδιαστολή των εκατέρωθεν πλακών και στην εκ τούτου ανεπάρκεια του εύρους του για άλλους λόγους προβλεφθέντος από τη Μελέτη εύρους αρμού.



α)

β)

Εικ. 4 Συντριβή άκρου δοκού εδραζόμενης σε “φορούσια”

α) Ισόγειο Τμ. ΙΙ.Π,

β) Οροφος Τμ. ΙΙ.Π

♦ Βλάβες σε υποστυλώματα

Όσον αφορά, τέλος, τους στύλους, σημειώνεται ότι οι βλάβες εμφανίστηκαν μόνον στο Αρχικό τμήμα του Συγκροτήματος και όχι στην Προσθήκη. Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:

Η πρώτη αναφέρεται, πλην μιας περιπτώσεως, στο Τμήμα I και αφορά: (i) Στους δύο στύλους που έχουν υποστεί εκρηκτικού τύπου αστοχία (Εικ. 3). (ii) Στους τρεις στύλους που εμφανίζουν λοξές, λόγω πυρκαγιάς, ρωγμές στο τμήμα τους μεταξύ της ράμπας και της οροφής Ισογείου και, (iii) Στους τρεις στύλους που εμφανίζουν επίσης λοξές ρωγμές στο τμήμα τους μεταξύ οροφής Ισογείου και οροφής ορόφου. Από αυτούς ο ένας ανήκει στο Τμήμα II. Αυτοί

πρέπει να αντιμετωπισθούν ως ειδικές περιπτώσεις και να αποκατασταθούν μέσω πλήρους μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.

Η δεύτερη αφορά στους περιμετρικούς στύλους που δεν εμφανίζουν μεν ορατές βλάβες, ωστόσο θα πρέπει να παραλάβουν τα φορτία από τις διευρύνσεις των κατά πλάτος ενισχυμένων δοκών, οι οποίες έχουν υποστεί αποδυνάμωση από το υψηλό θερμικό φορτίο και οι εκατέρωθεν αυτών πλάκες θα ανακατασκευασθούν. Στην περίπτωση αυτή κρίνεται απαραίτητη η διεύρυνση της διατομής των στύλων μέσω κατάλληλου κατά περίπτωση μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Η επιλογή αυτή είναι δυνατόν να συνδυασθεί και με την αφαίρεση και αντικατάσταση του ασβεστοποιημένου τμήματος της διατομής του σκυροδέματος, το οποίο εκτιμάται ότι ευρίσκεται στην εξωτερική στιβάδα σε, κατ' εκτίμηση πάχος $0,05 \div 0,10$ m.

Η τρίτη αφορά εσωτερικούς στύλους στις “κόκκινες” περιοχές των Μεσοπατωμάτων (Εικ. 2α).

Δεν αποτελεί υπερβολή να λεχθεί εν κατακλείδι ότι οι βλάβες ήταν πολύ βαριές και η ακεραιότητα του κτηρίου εσώθη πιθανόν χάρη στις εφεδρείες αντοχής που διέθετε το κτήριο τις ώρες της πυρκαγιάς. Οι εφεδρείες προέρχονταν από την απουσία των μεταβλητών φορτίων, κατά τη Μελέτη 5 KN / m² καθώς και από τον μη κατασκευασθέντα και προβλεπόμενο από τη Μελέτη 2ο όροφο.

♦ **Κατάσταση οργανισμού πλήρωσης**

Ο υπάρχων στο Συγκρότημα Οργανισμός Πλήρωσης αποτελείται από τοίχους τσιμεντοπλίνθων, οι οποίοι είναι καλώς δομημένοι και ασφαλώς επηρεάζουν τη σεισμική απόκριση του δομήματος. Δεν υπήρξαν, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, ορατές βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης.

Υπάρχουν και κάποιες περιπτώσεις, που η παρουσία του ισχυρού οργανισμού πλήρωσης, ο οποίος δομημένος, με μειωμένο ύψος, ακινητοποίησε το κατώτερο τμήμα προς τον πόδα του στύλου με αποτέλεσμα η οφειλόμενη στην υπερδιαστολή της υπερκείμενης πλάκας μετακίνησης της κεφαλής του στύλου, να μην μπορέσει να απορροφηθεί ως καταναγκασμός και ο λειτουργών με περιορισμένο ενεργό ύψος στύλος να αστοχήσει με τον χειρότερο για στύλους τύπου αστοχίας, τον εκρηκτικό τύπο που συνδέεται με την επαλληλία επενέργειας τέμνουσας και ορθής θλιπτικής δύναμης.

6.A.3. ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

6.A.3.1 Κριτήρια Συμμόρφωσης

Αναφορικά με τα μέτρα αποκατάστασης, τα οποία προτείνεται να ληφθούν, το μείζονος σημασίας κριτήριο συμμόρφωσης είναι να ανακτήσει το κτήριο τη φέρουσα ικανότητα που είχε προ της πυρκαγιάς, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις απαιτήσεις ασφάλειας, οικονομίας, λειτουργικότητας, αισθητικής, ανθεκτικότητας στο χρόνο και κατασκευασιμότητας.

6.A.3.1.1 Αποκατάσταση πλακών και δοκών

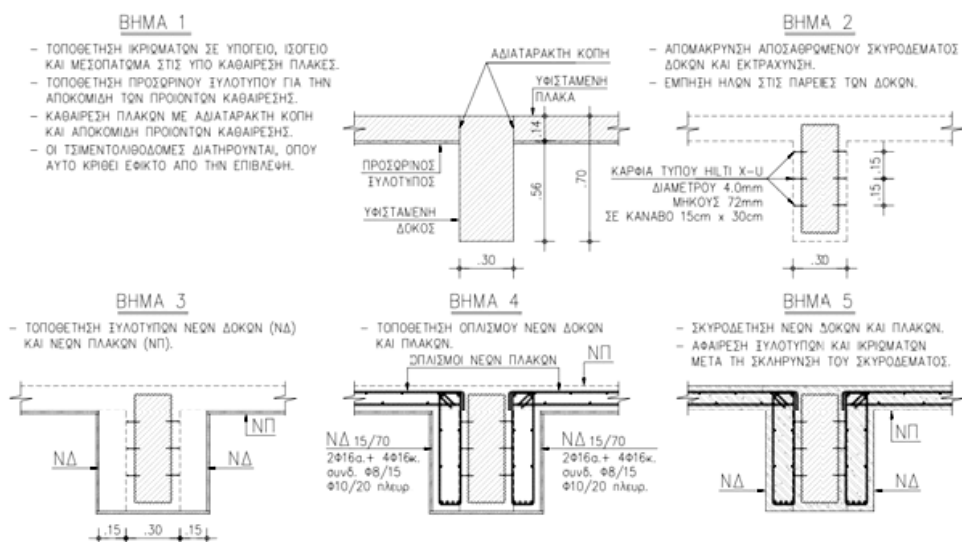
Με βάση την περιγραφείσα κατάσταση των πλακών και των δοκών των πληγείσων από την πυρκαγιά περιοχών του κτηριακού συγκροτήματος, ορίζονται κατά περίπτωση 3 επίπεδα επεμβάσεων αποκατάστασης αναλόγως του βαθμού απώλειας της αντοχής που έχει εκτιμηθεί, καθώς και του βαθμού της παραμένουσας παραμόρφωσης μετά την πυρκαγιά:

Για τις περιοχές που χρωματίζονται με κόκκινο χρώμα οι μεν πλάκες προτείνεται να ανακατασκευασθούν λόγω των εντόνων παραμορφώσεων και των μεγάλων απωλειών στη φέρουσα ικανότητα αυτών, οι οποίες δεν είναι ούτε τεχνικώς εφικτόν να ενισχυθούν, αλλά και ούτε οικονομικώς συμφέρει. Η ανακατασκευή θα πρέπει να γίνει ανά φάτνωμα, αφού προηγουμένως αφαιρεθεί το μεταξύ των τεσσάρων δοκών τμήμα της πλάκας κατά προτίμηση με αδιατάρακτη κοπή. Η προτεινόμενη διαδικασία αποκατάστασης παρουσιάζεται ενδεικτικά στα παρακάτω Σχήματα 6. 3 και 4.

Στις περιοχές των δοκών – ζυγωμάτων των πλαισίων προτείνεται η εκατέρωθεν διεύρυνση του πλάτους κατά 0.15 m ανά παρειά (Σχ. 3). Η συνεργασία των δύο συμπληρωματικών κατά το πλάτος νέων τμημάτων της εναπομεινάσης αποδυναμωθείσης από την πυρκαγιά διατομής θα εξασφαλισθεί αφενός με εκτράχυνση καθαρισμό και διαβροχή των παρειών της και αφετέρου με την εκτόξευση και έμπτηξη ειδικών ήλων τύπου HILTI X-U διαμέτρου 4,0 mm ή και ανωτέρας, εις βάθος άνω των 30 mm σε κάναβο 150 x 300 mm (3 ήλοι ανά τρέχον m).

Οι δύο εκατέρωθεν διαπλατύνσεις εκάστης δοκού θα φέρουν οπλισμούς για μεν τη διαμήκη διεύθυνση από δύο ζεύγη Φ16 στο κάτω πέλμα εφ' όλου του μήκους των, καθώς και οπλισμό montage από 2Φ16, για δε την εγκάρσια συνδετήρες Φ8/15. Οι πλάκες υπολογίζονται ως τετραέρειστες απλά εδραζόμενες με πάχος ίδιο με εκείνο της καθαιρεθείσας, ενώ το μεταβλητό τους φορτίο και εκείνα της επίστρωσης και του οροφκοονιάματος θα είναι τα ίδια με της αρχικής μελέτης. Το σκυρόδεμα και οι οπλισμοί θα είναι C25/30 και B500C αντιστοίχως.

Παρά τα ληφθέντα μέτρα συνεργασίας μεταξύ συμπληρωματικής και τρωθείσας διατομής κρίνεται αναγκαία η έδραση των δύο διαπλάτυνσεων της διατομής σε αξιόπιστη διεύρυνση της διατομής του στύλου, γεγονός που συνεπάγεται την πρόβλεψη είδους μανδύα για τον αποδέκτη των φορτίων της δοκού στύλο (Σχ. 6.4).



Σχ. 6.3 Λεπτομέρεια κατασκευής νέων δοκών και πλάκων

(ii) Για τις περιοχές που χρωματίζονται με πορτοκαλί χρώμα, αλλά και τις πλάκες οροφής του υπογείου που ευρίσκονται κάτω από τις κόκκινες του ισογείου η αποκατάσταση επιδιώκεται δια της ενισχύσεως του κάτω πέλματος της οικείας πλάκας ή δοκού. Ως ποσοστόν απώλειας της αντοχής σε αυτές τις περιοχές θεωρείται ρεαλιστικόν το 1/3, ήτοι τα 33%, της συνολικής φέρουσας ικανότητας του φατνώματος, γεγονός που σημαίνει ότι το μέγεθος της καμπτικής ενίσχυσης, εάν θεωρηθεί ως απαξιωθείσα πρακτικώς η συνεισφορά των οπλισμών του κάτω πέλματος και πρακτικώς περιορισμένη εκείνη του άνω πέλματος, απαιτείται αξιόπιστη όπλιση του κάτω πέλματος αναπληρούσα εις εφελκυστική φέρουσα ικανότητα ίση με την απολεσθείσα. Ως προσφορότερη για τα υπάρχοντα δεδομένα αποκατάσταση της εφελκυστικής φέρουσας ικανότητας του κάτω πέλματος κρίνεται η επικόλληση λωρίδων από FRPs με φέρουσα ικανότητα ίση προς εκείνη των απαξιωθέντων κάτω οπλισμών του ανοίγματος της πλάκας. Σημειώνεται ότι η περίπτωση αυτή αφορά στις οροφές Ισογείου, Υπογείου και Μεσοπατωμάτων και προέκυψε με την παραδοχή στατικής συνεχούς συστήματος.

(iii) Για τις περιοχές που χρωματίζονται με κίτρινο απαιτούνται ηπιότερες προβλέψεις, καθώς εις αυτές θεωρείται ότι η απώλεια έφθασε στο 20% της συνολικής φέρουσας ικανότητας του οικείου φατνώματος. Η παραδοχή αυτή συνεπάγεται ενίσχυση στο άνοιγμα $100 \cdot (1/24 + 1/40) \cdot 24 = 160\%$ ήτοι προσαύξηση της εφελκυστικής ικανότητας του κάτω πέλματος κατά 60%.

Βασική παραδοχή των ανωτέρω αποτελεί, η σχετική μήκυνση των FRPs δεν επιτρέπεται να υπερβεί την τιμή 0,001 στην κατάσταση λειτουργίας, διότι σε αντίθετη περίπτωση οι υπάρχοντες οπλισμοί θα υπερβούν την επιτρεπόμενη για την κατάσταση τάση των και η συνακόλουθη ευρεία ρηγμάτωση θα καταστρέψει τα επικολλούμενα FRPs. Η περίπτωση αυτή αφορά πλην των χαρακτηρισθεισών ως κίτρινων πλακών οροφής Ισογείου και Μεσοπατωμάτων και τις πλάκες οροφής Υπογείου, οι οποίες ευρίσκονται κάτωθεν των υπερκειμένων πλακών πορτοκαλί χρώματος.

Τέλος, οι πλάκες πρασίνου χρώματος δεν έχουν πρόβλημα απωλειών και ως εκ τούτου δεν χρήζουν αποκατάστασης. Ομοίως και οι πλάκες της οροφής του Ορόφου, καθώς και η θεμελίωση.

Για τις δοκούς προτείνεται ό,τι και για τις πλάκες, ήτοι η ταξινόμηση σε βαριές και ήπιες περιπτώσεις και ανάλογη αντιμετώπιση, πλην της ιδιαίτερης περίπτωσης του πλαισίου της προς την οδό Γιαννιτών όψεως του Αρχικού Τμήματος. Για το ζύγωμα του εν λόγω πλαισίου, στο οποίο εδράζονται δύο “φυτευτά” υποστυλώματα, προβλέπονται στη Μελέτη οπλισμοί από χάλυβες κατηγορίας StIIIb εν ψυχρώ κατηργασμένους. Οι ευαίσθητοι αυτοί χάλυβες χάνουν το 50% της αντοχής των για θερμοκρασίες και κάτω των 600°C. Στην Εικ.1 αποτυπώνεται η δράση της φωτιάς της οποίας οι φλόγες περιβάλουν πανταχόθεν την κρίσιμη αυτή δοκό. Σημειωτέον ότι η δοκός φέρει το ήμισυ των φορτίων για τα οποία έχει οπλισθεί, καθόσον δεν έχει προστεθεί ο προβλεπόμενος από τη μελέτη 2ος όροφος. Το γεγονός αυτό, καθώς και η απουσία κινητών φορτίων, πιθανόν να συνετέλεσε στη διατήρηση της ακεραιότητας της δοκού κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Συνεπώς εγείρονται ερωτηματικά για τη σημερινή ασφάλεια της δοκού και, κυρίως, για τη δυνατότητα ανεγέρσεως του 2ου ορόφου εις το μέλλον.

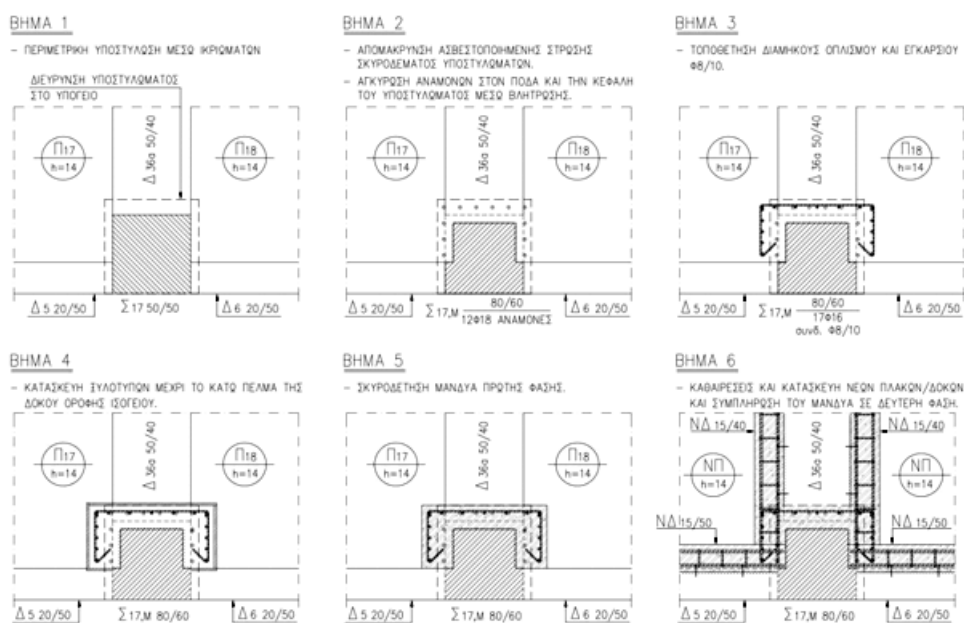
6.A.3.2 Αποκατάσταση υποστυλωμάτων

Όπως και στην περίπτωση των πλακών και των δοκών επιλέγεται μία κλιμάκωση ως προς το είδος των επεμβάσεων. Διακρίνονται 3 είδη επεμβάσεων:

(i) Η βαρέως τύπου επέμβαση που αφορά τους δύο στύλους που έχουν υποστεί εκρηκτικού τύπου διατμητική αστοχία με αποτέλεσμα να έχουν απολέσει ολοσχερώς αμφότερες, την καμπτική και τη διατμητική τους φέρουσα ικανότητα, καθώς και τους άλλους πέντε που εμφανίζουν εμφανή λοξή ρηγμάτωση. Στην περίπτωση αυτή ενδείκνυται η κατασκευή ολοκληρωμένου συμβατικού μανδύα μεταξύ των πλακών οροφής Ισογείου και οροφής Υπογείου, αφού προηγηθεί η αφαίρεση τυχόν χαλαρών και ασβεστοποιημένων τμημάτων της διατομής των στύλων και το “γέμισμα” των ρωγμών με κονίαμα μεγάλης ρευστότητας και υψηλής επιτελεστικότητας. Πάχος μανδύα 100 mm κατ’ ελάχιστον και οπλισμοί 20Φ16 διαμήκεις και

Φ8/100 από διπλές αλληλεπικαλυπτόμενες φουρκέτες εναλλασσόμενης κατά το ύψος διεύθυνσης. Αγκύρωση “αναμονών” Φ18 στο εξέχον τμήμα της διατομής του στύλου 60 x 60 του υπογείου και κατάλληλη αγκύρωση των συνεχιζόμενων προς τα πάνω οπλισμών στη στάθμη οροφής Ισογείου. Ο μανδύας για λόγους συμβιβασμού των κριτηρίων ασφάλειας και οικονομίας δεν συνεχίζεται στο Υπόγειο. Ωστόσο για τους τρεις εκ των επτά στύλων που αστόχησαν ο μανδύας πρέπει να επεκταθεί και στον Όροφο. Υλικά: Σκυρόδεμα C25/30 με μέγιστο κόκκο αδρανών 16 mm (γαρμπιλομπετόν) και χάλυβας B500C.

(ii) Για τους στύλους των “κόκκινων” περιοχών του διαγράμματος κατανομής των βλαβών, όπου και η απότμηση των πλακών της οροφής Ισογείου, ο προηγούμενος μανδύας κατασκευάζεται “ανοικτός” μορφής πετάλου Π (Σχ.6.4) με οπλισμούς διαμήκεις Φ16 και εγκάρσιους φουρκέτες Φ8/10. Ισχύουν οι λεπτομέρειες του “κλειστού” τύπου μανδύα μετά την αφαίρεση από την πυρόπληκτη διατομή, του προς το εσωτερικό του κτηρίου ασβεστοποιημένου τμήματός της, του οποίου το πάχος εκτιμάται από 50 έως 100 mm.



Σχ. 6.4 Λεπτομέρεια κατασκευής ανοικτού μανδύα υποστυλωμάτων

(iii) Τέλος, για τους εσωτερικούς στύλους των “κόκκινων” περιοχών των μεσοπατωμάτων προτείνονται “κλειστοί” λεπτοί μανδύες πάχους 35 mm.

6.A.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσφυγή για την ενίσχυση στα υλικά νέας γενιάς FRPs παρά το υψηλό τους κόστος κρίθηκε αναγκαία διότι οποιαδήποτε συμβατική μέθοδος ενίσχυσης συνοδεύεται τουλάχιστον από προβλήματα εφαρμογής και

αισθητικής. Η λύση άλλωστε έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε αντίστοιχες περιπτώσεις (Vayas et al 2014).

Σε αρχικό στάδιο είχε εξετάσει ως εναλλακτική λύση η καθαίρεση και ανακατασκευή των τμημάτων I.A, II.A και III.A καθώς και μέρος του τμήματος I.Π προς την οδό Γιαννιτών, από την οροφή υπογείου και πάνω. Η κοστολόγηση των δύο λύσεων, ήτοι της λύσης της καθαίρεσης και της ανακατασκευής αφενός, και της λύσεως επισκευής που τελικώς επιροτάθη αφετέρου, και κατόπιν η σύγκριση μεταξύ των οδήγησε οριακώς στην προτίμηση της συμβατικής λύσης αποκατάστασης. Μία λύση ανακατασκευής παρά την φαινομενική της ποιοτική υπεροχή, συνοδεύεται από πλειάδα προβλημάτων αναγκαίων επιλογών από τα οποία αναφέρονται ενδεικτικώς τα εξής:

α) Δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της αρχικής μελέτης του Έργου, καθόσον ούτε οι λείοι χάλυβες εκείνης της εποχής εφαρμόζονται πλέον, ούτε η αντικατάστασή των με ισοδύναμους σύγχρονους είναι τεχνικώς αποδεκτή. Από την άλλη μεριά, τυχόν ισόποση αντικατάστασή τους, μολονότι δημιουργεί συνθήκες υπερασφάλειας στις πλάκες, προκαλεί δυσμενείς συσχετισμούς αντοχών μεταξύ στύλων και δοκών με αποτέλεσμα την επιδείνωση του ικανότερου κριτηρίου στους κόμβους του χωρικού συστήματος.

β) Εάν ληφθούν υπόψη τα προηγούμενα και επιχειρηθεί ανασχεδιασμός με τα σημερινά κανονιστικά δεδομένα, τότε θα εμφανισθούν προβλήματα ανεπάρκειας στο υπόγειο και πιθανόν στη θεμελίωση.

6.B. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΒΛΑΜΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΗΝ BANGALORE CITY ΤΗΣ ΙΝΔΙΑΣ

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

Το κτίριο αποτελούνταν από υπόγειο και δυο ανώτερους ορόφους. Ο φέρων οργανισμός είχε κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα και οι διαχωριστικοί τοίχοι από οπτοπλινθοδομή. Οι εμπρηστές ξεκίνησαν την φωτιά με πετρέλαιο στο μεσαίο χώρο του ισόγειου (show room), όπου βρίσκονταν πολλά υφάσματα και τα οποία αποτέλεσαν μια ιδιαίτερα εύφλεκτη ύλη, με

αποτέλεσμα η φωτιά να εξαπλωθεί πολύ γρήγορα. Το κτίριο φλέγονταν για πάνω από 8 ώρες μέχρι να έρθει η πυροσβεστική.

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

6.B.1. ΕΡΕΥΝΕΣ ΠΟΥ ΔΙΕΞΗΧΘΗΣΑΝ

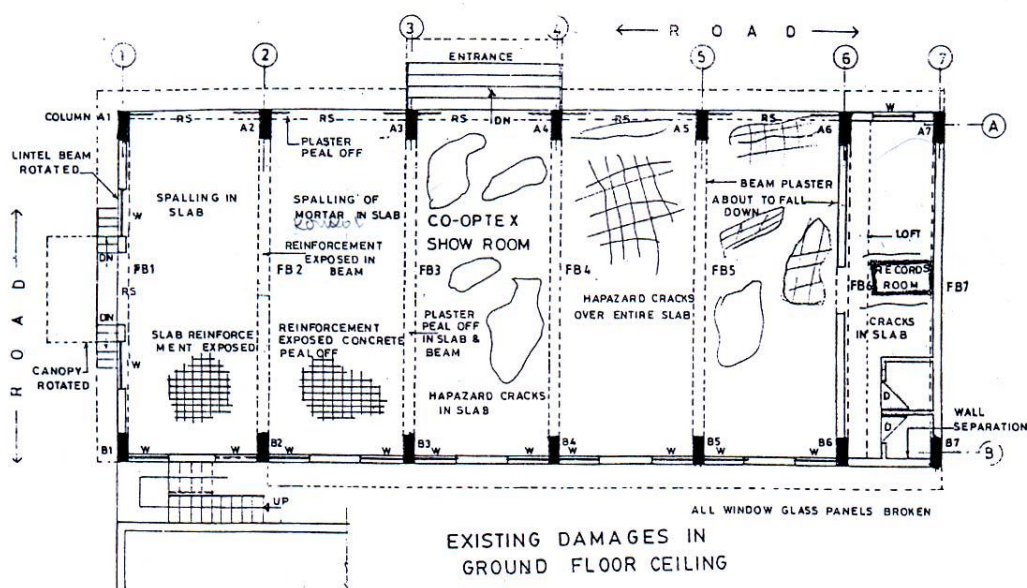
Έγιναν σε 3 φάσεις: 1) Φυσική εξέταση του βλαμμένου κτιρίου, 2) Μη καταστροφικοί έλεγχοι, 3) Δοκιμές φόρτισης σε τυπικές δοκούς και πλάκες.

6.B.1.1 Παρατηρήσεις φυσικής εξέτασης

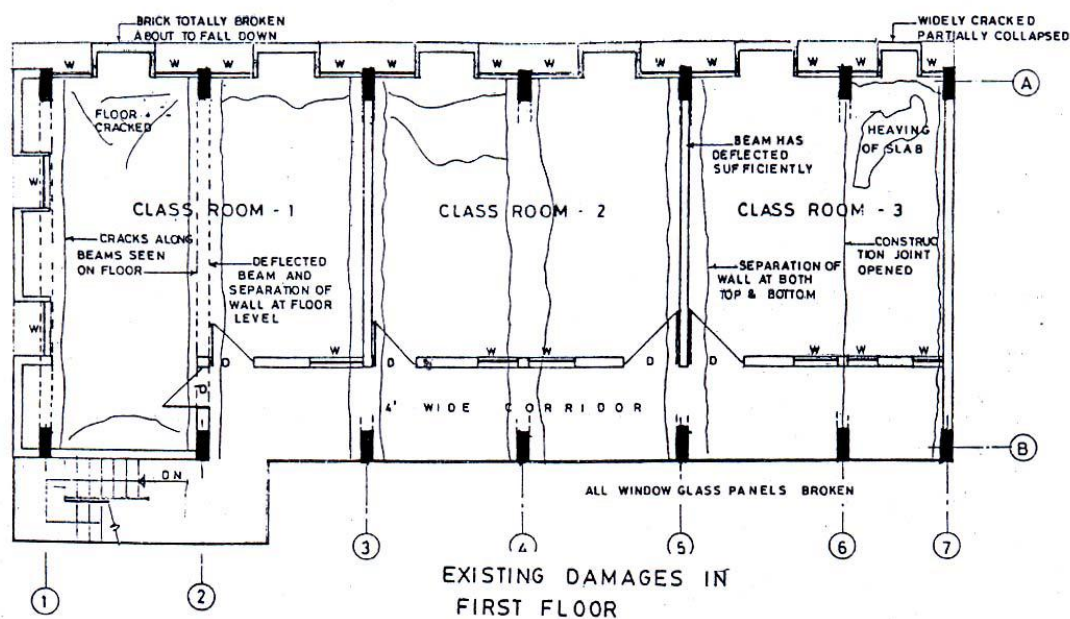
Ζημιές στο ισόγειο

Τοίχοι:

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



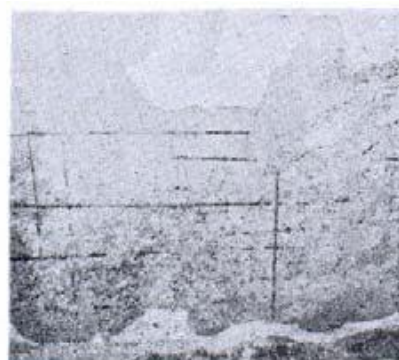
Σχ.Β.1 Σχηματική παρουσίαση των ζημιών στην πλάκα οροφής ισογείου.



Σχ.Β.2 Σχηματική παρουσίαση των ζημιών στο πάτωμα του 1ου ορόφου.



a) General View



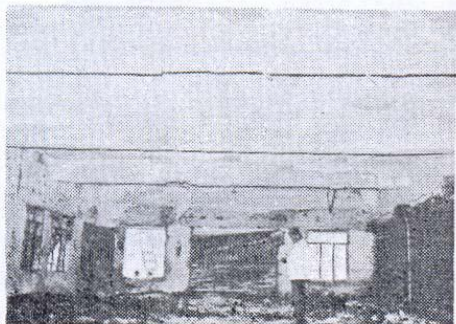
b) Reinforcement Exposed

Σχ.Β.3 (α),(β) Ζημιές στην πλάκα οροφής ισογείου

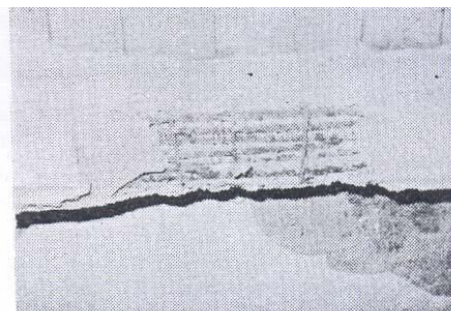
Δοκοί οροφής ισογείου:

Σχηματική παρουσίαση των ζημιών στις δοκούς της οροφής ισογείου φαίνεται στο Σχ.Β.1. Η πλειοψηφία των δοκών επηρεάστηκε από τις υψηλές θερμοκρασίες όπως φαίνεται στο Σχ.Β.4. Η δοκός που επηρεάστηκε περισσότερο ήταν η FB2 (Σχ.Β.1 και Σχ.Β.4). Σ' αυτή τη δοκό παρατηρήθηκαν πολλές κατακόρυφες ρωγμές και στο μεσαίο άνοιγμά της το σκυρόδεμα είχε αποφλοιωθεί σε ένα μήκος περίπου 500-750 mm αφήνοντας τελείως εκτεθειμένο τον οπλισμό. Στα εναπομείναντα μέρη της δοκού μόνο το επίχρισμα είχε φύγει. Η αποκόλληση του επίχρισματος ήταν πολύ συνηθισμένο φαινόμενο σ' όλες τις άλλες δοκούς. Το πάχος του σοβά είχε ξεχωρίσει από τη βάση του σκυροδέματος και ήταν έτοιμο να πέσει. Στη δοκό

FB5 ο σοβάς αποφλοιώθηκε μερικώς και στο εναπομένον μήκος πάρα πολλές κατακόρυφες ρωγμές φαίνονταν. Αυτές οι ρωγμές μπορεί να οφείλονταν σε εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύχθηκαν στη δοκό κατά τη διάρκεια της φωτιάς.



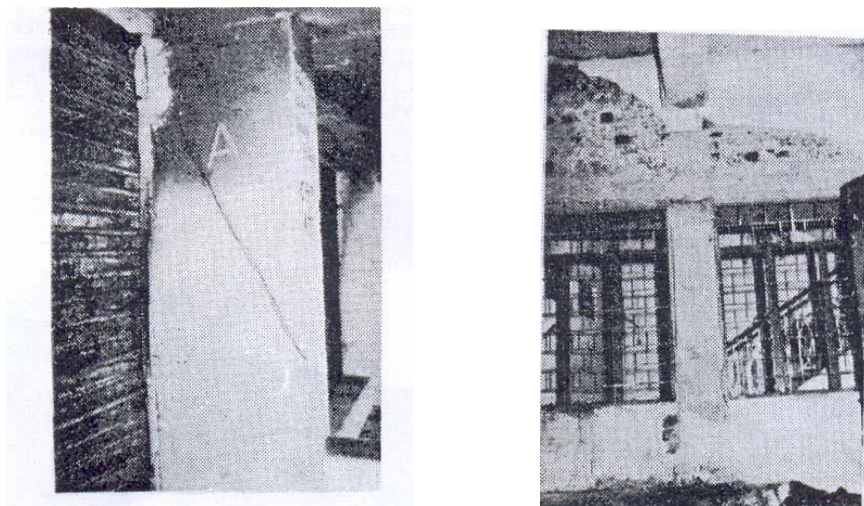
a) General View



b) Severely Damaged Beam BF2

Σχ.Β.4(α),(β) Ζημιές στις δοκούς οροφής ισογείου.

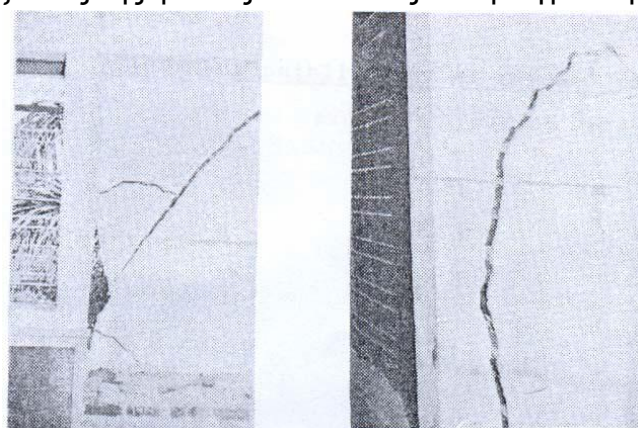
Μαρκίζα (canopy) στα νότια: Η μαρκίζα είχε στρίψει αισθητά και ήταν στα όρια της κατάρρευσης. Κατά την διάρκεια της έρευνας, υποστηρίχθηκε αμέσως και προσωρινά. Η μαρκίζα στηρίζονταν ελάχιστα στο άνοιγμα της δοκού που βρίσκεται μεταξύ των υποστυλωμάτων A1 και B1 (Σχ.Β.1). Κατά τη διάρκεια της φωτιάς, η ζώνη A1, A3, B3, B1 (Σχ.Β.1) ήταν η περισσότερο πληγείσα περιοχή επειδή εκεί ήταν συγκεντρωμένη η μεγαλύτερη ποσότητα υφασμάτων. Η φωτιά που διήρκεσε για περισσότερο από 8 ώρες θέρμανε τη δοκό που στήριζε τη μαρκίζα. Η θερμοκρασία που αναπτύχθηκε σε αυτή τη περιοχή μπορεί να ξεπέρασε τους 3000C και ήταν η αιτία που ο σπλισμός των στηρίξεων διέρρευσε, επιτρέποντας στροφή. Η δοκός παράλληλα στη μαρκίζα είχε λυγίσει και στρίψει σημαντικά με αποτέλεσμα να αποτελεί άμεσο κίνδυνο και απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή. Υποστυλώματα: Τα υποστυλώματα είχαν πληγεί σημαντικά. Τυπικές ζημιές αυτών στα διαφορετικά επίπεδα των πατωμάτων φαίνονται στο Σχ.22. Τα υποστυλώματα A3, A4 και A7 είχαν ρηγματωθεί. Οι ρωγμές είχαν κλίση 450 ξεκινώντας από τη στέψη της μαρκίζας και συνεχίζονταν προς τα κάτω (Σχ.Β.5). Στα άλλα υποστυλώματα υπήρχαν τριχοειδής ρωγμές “Πυρκαγιά-Επισκευές-Ενισχύσεις Κατασκευών” που δεν φαίνονταν δια γυμνού οφθαλμού. Στο εσωτερικό του κτιρίου, σχεδόν σε όλα τα υποστυλώματα, ο σοβάς είχε αποκολληθεί, αλλά το σκυρόδεμα ήταν άθικτο. Ο σπλισμός δεν απογυμνώθηκε σε κανένα υποστυλώμα είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Στο κόμβο δοκού – υποστυλώματος του υποστυλώματος A3, η επικάλυψη του σκυροδέματος αποκολλήθηκε, αφήνοντας ελάχιστα εκτεθειμένο τον σπλισμό. Εξαιτίας αυτού φάνηκε και το σκυρόδεμα στον πυρήνα του κόμβου.



Σχ.Β.5 Τυπική καταπόνηση σε υποστυλώματα.

Ζημιές στον πρώτο όροφο

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



Σχ.Β.6 Βλαμμένοι τοίχοι 1ου ορόφου.

6.B.1.2 Παρατηρήσεις μη καταστροφικών ελέγχων

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

6.B.1.3 παρατηρήσεις δοκιμών φόρτισης σε τυπικές δοκούς και πλάκες

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

6.B.2 ΕΠΙΣΚΕΥΗ

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

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

Επισκευή υποστυλωμάτων με εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα (Fig. 10α)

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

- 1) Αποφόρτιση υποστυλώματος με την κατάλληλη υποστήριξη των δοκών που διέτρεχαν αυτό, σε όλα τα επίπεδα των πατωμάτων.
- 2) Καθαίρεση αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και καθαρισμός και τράχυνση της επιφάνειας με αμμορριπή, σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην μεταβάλλεται απότομα το πάχος του σκυροδέματος.
- 3) Ενσωμάτωση διατμητικών συνδέσμων διαμέτρου 12 mm ανά 1000mm σε τρύπες που ανοίχτηκαν διαμέτρου 16 mm.
- 4) Το κενό γύρω από τους διατμητικούς συνδέσμους καλύφθηκε με μη συρρικνούμενο κονίαμα.
- 5) Τοποθέτηση πρόσθετου απαιτούμενου οπλισμού γύρω από τα υποστυλώματα.
- 6) Εισαγωγή δίδυμων U γύρω από τον νέο οπλισμό και συγκόλληση αυτών ώστε να μορφώσουν έναν ορθογώνιο σύνδεσμο.

7) Αφού σχηματίστηκε ο ξυλότυπος, έγινε έγχυση σκυροδέματος M20 με καλή εργασιμότητα.

8) Στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος τρυπήθηκε η πλάκα, δημιουργώντας έτσι γύρω από τον κόμβο τετράγωνα πλευράς 150 mm, και έγινε έγχυση σκυροδέματος από το πάνω μέρος της πλάκας, μέσα στον ξυλότυπο, εξασφαλίζοντας έτσι καλή σκυροδέτηση.

9) Το εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα αφέθηκε να «ξεκουραστεί» για ελάχιστη περίοδο 14 ημερών.

10) Ο ξυλότυπος των υποστυλωμάτων απομακρύνθηκε μόλις 24 ώρες μετά τη σκυροδέτηση.

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

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

1) Υποστήριξη πλακών-δοκών όπου ήταν απαραίτητο. “Πυρκαγιά-Επισκευές-Ενισχύσεις Κατασκευών”

2) Καθαίρεση αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και καθαρισμός και τράχυνση της επιφάνειας με αμμοριπή, σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην μεταβάλλεται απότομα το πάχος του σκυροδέματος.

3) Το κενό γύρω από τους διατμητικούς συνδέσμους καλύφθηκε με μη συρρικνούμενο κονίαμα.

4) Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 40 mm γύρω από τον εκτεθειμένο οπλισμό των δοκών και 25 mm πάχος για τη πλάκα οροφής. Η πίεση που χρησιμοποιήθηκε για την εκτόξευση ήταν γύρω στα 0.6 N/mm².

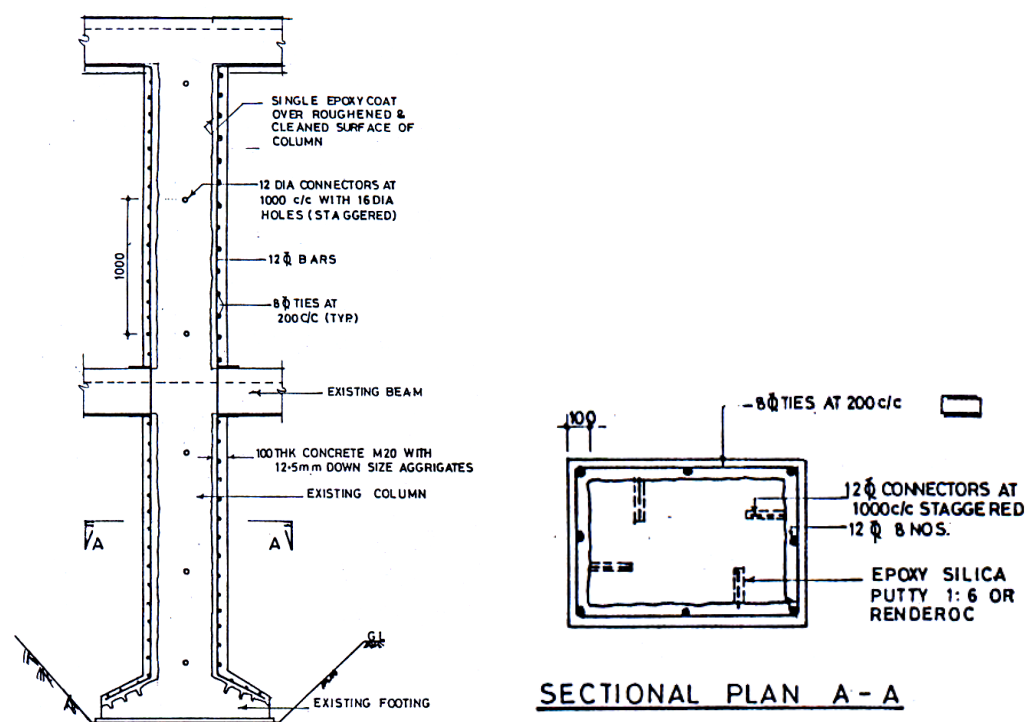
5) Το εκτοξευμένο πια σκυρόδεμα αφέθηκε να «ξεκουραστεί» για ελάχιστη περίοδο 7 ημερών.

Επισκευή της εστραμμένης μαρκίζας

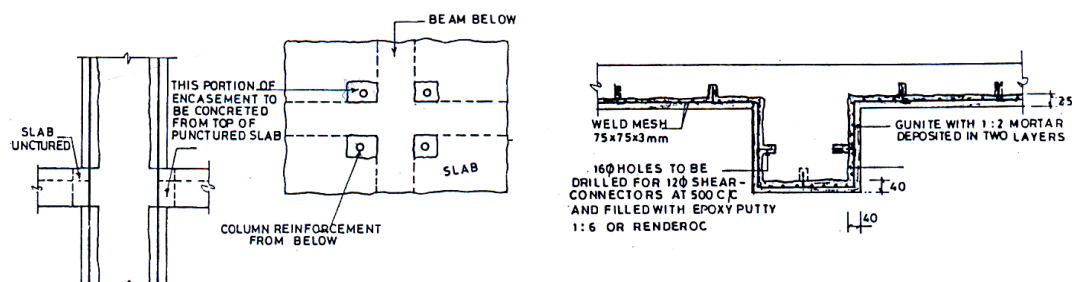
Η μαρκίζα στο νότιο μέρος του κτιρίου, είχε στραφεί εξαιτίας της στροφής της δοκού που την στήριζε. Παρόλα αυτά ήταν άθικτη και δεν είχε υποστεί καταπόνηση. Γι' αυτόν τον λόγο απλά ανασηκώθηκε και στηρίχθηκε στο ελεύθερο άκρο της με δύο καινούρια υποστυλώματα διαστάσεων 230mm x 230mm.

Επισκευή των τοίχων πλήρωσης

Όπου οι τοίχοι είχαν ρηγματωθεί και το επίχρισμα είχε αποκολληθεί, ακολουθήθηκε το εξής σχέδιο επισκευής: Όλα τα κατεστραμμένα υλικά απομακρύνθηκαν και η επιφάνεια καθαρίστηκε με συρματοβουρτσες. Έγινε ανθεκτικό σφράγισμα των ρωγμών. Μπήκε νέο επίχρισμα και αφέθηκε να «ξεκουραστεί» για ελάχιστη περίοδο 14 ημερών. Το κτίριο πια ήταν ασφαλές και έτοιμο για χρήση. Σχ.Β.7 (α),(β) Προτεινόμενο σχέδιο αποκατάστασης.



Σχ.Β.7(α) Λεπτομέρειες εγκιβωτισμού με σκυροδέτηση καταπονημένου στύλου.



Σχ.Β.7(β) Αποκατάσταση δοκού και πλάκας.

6.B.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

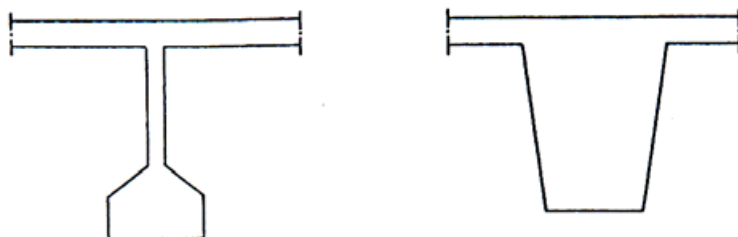
Ως ενίσχυση ορίζεται η προσπάθεια περαιτέρω αύξησης της αντοχής του κτιρίου έναντι κάποιας καταπόνησης (π.χ. σεισμός, φωτιά, καθιζήσεις κ.λ.π.). Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρει η ενίσχυση της κατασκευής σε πυρκαγιά. Ο μηχανικός στη φάση σχεδιασμού της κατασκευής, λαμβάνει υπόψη μια σειρά από ισχύουσες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

α) Δοκοί

Σχήμα και διαστάσεις διατομών δοκών

Λόγω του ότι η θερμοκρασία αυξάνεται ταχύτερα στο εσωτερικό λεπτών και μικρών διατομών από Ο. Σ., τα λεπτότερα δομικά στοιχεία είναι λιγότερο

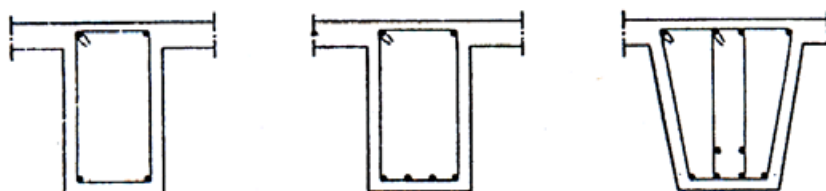
ανθεκτικά έναντι πυρκαγιάς από τα παχύτερα διατομή δοκού περισσότερο διατομή δοκού λιγότερο τρωτή σε πυρκαγιά τρωτή σε πυρκαγιά



Σχ.Β.8 Σύγκριση μορφής διατομών από την άποψη της τρωτότητας έναντι πυρκαγιάς.

Θέση των οπλισμών σε διατομές δοκών

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



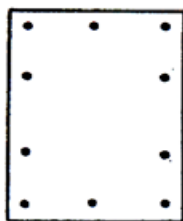
ελάχιστη ανθεκτικότητα μέση ανθεκτικότητα μέγιστη ανθεκτικότητα
σε πυρκαγιά σε πυρκαγιά

Σχ.Β.9 Σύγκριση τρόπου οπλίσεως από την άποψη της τρωτότητας έναντι πυρκαγιάς.

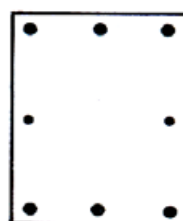
β) Πλάκες- Αμφιέριστες πλάκες :Εάν η πλάκα είναι προεντεταμένη με τένοντες χωρίς τσιμεντένεση, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις αγκυρώσεις.

γ) Υποστυλώματα

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



υποστύλωμα περισσότερο
τρωτό σε πυρκαγιά



υποστύλωμα λιγότερο
τρωτό σε πυρκαγιά

Σχ.Β.10 Σύγκριση τρόπων οπλίσεως υποστυλωμάτων από την άποψη της τρωτότητας έναντι πυρκαγιάς.

δ) Πρόβλεψη αρμών διαστολής

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7. ΓΕΝΙΚΑ (ΟΔΗΓΟΣ)

Στον Οδηγό αναλύεται ο μηχανισμός ανάπτυξης των συνηθέστερα παρατηρούμενων βλαβών λόγω πυρκαγιάς ξεχωριστά για τις περιπτώσεις κτιρίων από Ο.Σ., κτιρίων από τοιχοποιία, υβριδικών κτιρίων και πλινθοπληρώσεων. Πέρα από τις αναλυτικές πληροφορίες παρατίθεται πληθώρα φωτογραφιών από πυρκαγιές που συνέβησαν στην χώρα μας, καθώς και μια σειρά από βοηθητικά σκαριφήματα τα οποία παρουσιάζουν χαρακτηριστικές εικόνες παθολογίας (βλ. Σχήματα 3 έως 5).

Επί πλέον, για τις ανάγκες του Οδηγού επιχειρήθηκε η κατάταξη των βλαβών που εμφανίζονται στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία, σε 5 βαθμούς βλάβης (για στύλους από Ο.Σ.) και 5 στάθμες βλάβης (για τοίχους κτιρίων από τοιχοποιία).

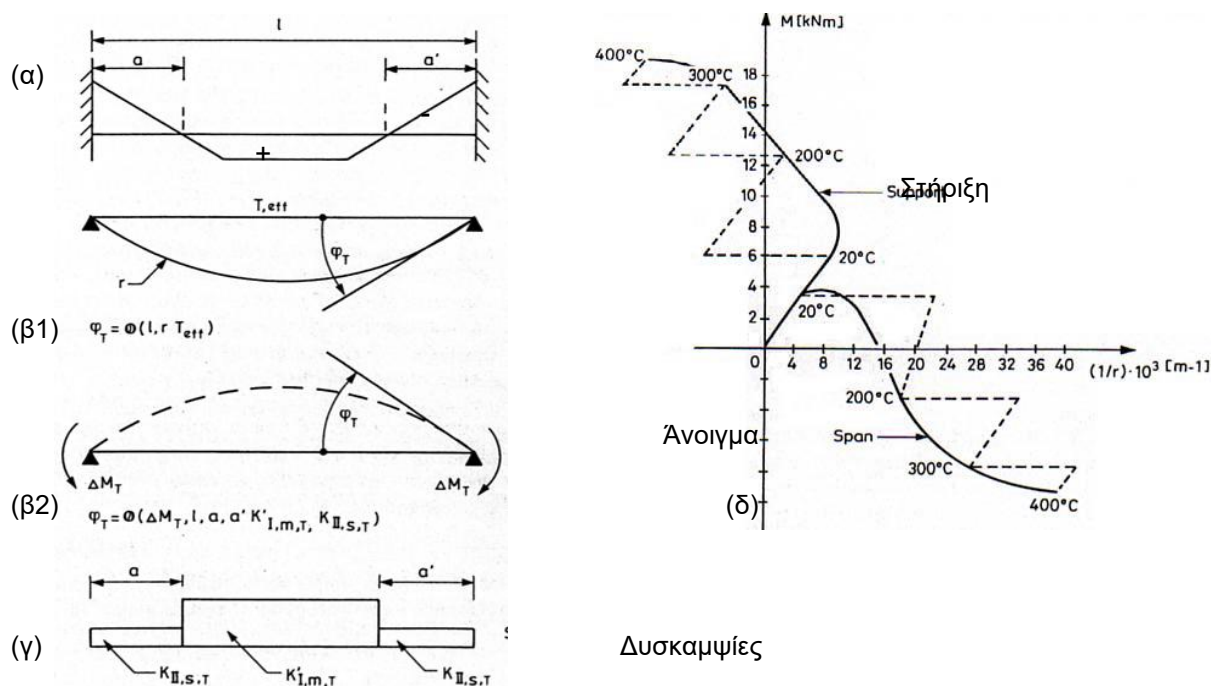
Αυτοί οι βαθμοί ή στάθμες βλάβης αντιστοιχούν γενικώς σε διαθέσιμα περιθώρια αντιστάσεων των καμένων δομικών στοιχείων, καθώς και σε απαιτούμενα μέτρα επισκευών/ ενισχύσεων αναλόγως της βαρύτητας της βλάβης. Συνεπώς, μπορούν να βοηθήσουν τον Μηχανικό στην λήψη αποφάσεων, τουλάχιστον ποιοτικώς.

7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στον Οδηγό εξετάζεται το ζήτημα της αριθμητικής προσομοίωσης, με στόχο την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό δομικών στοιχείων και/ή φορέων μετά από πυρκαγιά. Πρόκειται για ένα συζευγμένο μή γραμμικό και χρονικά μεταβαλλόμενο πρόβλημα επίλυσης του φορέα, υπό μόνιμες και χρονικά μεταβαλλόμενες εξωτερικές δράσεις και εσωτερικές παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων. Παρουσιάζονται, λοιπόν, οι προτεινόμενες μέθοδοι βήμα προς βήμα επίλυσης για διατομές στοιχείων, ισοστατικούς φορείς και υπερστατικούς φορείς, οι οποίες δύνανται να χρησιμοποιηθούν με επαρκή ακρίβεια στις περισσότερες περιπτώσεις. Σημειώνεται ότι οι αριθμητικές προβλέψεις της συμπεριφοράς κατά ή μετά την πυρκαγιά, γίνονται θεωρώντας μη συζευγμένα και ακολούθως συζευγμένα επίλυση του θερμικού/ μηχανικού προβλήματος. Βλ. Σχήμα 4.2 (Από κεφάλαιο 4, Χαρακτηριστική παθολογική εικόνα κτιρίου από Ο.Σ., υπό εσωτερική φωτιά)

Μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάζει η περίπτωση σύνθετων υπερστατικών φορέων, καθώς οι εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις που προκαλούνται εξαιτίας της πυρκαγιάς, οδηγούν σε ανακατανομή και μεταβολή της αρχικής

έντασης του φορέα, υπό τα ταυτοχρόνως δρώντα κατακόρυφα φορτία λειτουργίας. Στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΟΣ) του ΕΜΠ, κατά τις προηγούμενες δεκαετίες, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία των «θερμόινων» και της εσωτερικής αυτο-ισορροπούσας έντασης, καθώς και της σταδιακής βήμα προς βήμα ανάλυσης των ισοστατικών και υπερστατικών φορέων υπό πυρκαγιά. Για λόγους πληρέστερης κατανόησης της μεθοδολογίας και της σταδιακής διαδικασίας ανακατανομής της εντάσεως υπό πυρκαγιά, στον Οδηγό δίνονται στοιχεία από ορισμένα απλά παραδείγματα υπερστατικών φορέων (βλ. Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Το παράδειγμα μιας αμφίπακτης πλακολωρίδας/ δοκού:

(α) Αρχικό (20 °C) διάγραμμα ροπών κάμψης της δοκού (τα ακραία και το μεσαίο τμήμα έχουν διαφορετική αρχική δυσκαμψία αναλόγως τη ρηγμάτωσης),

(β1) Υπό την πυρκαγιά, η επιβαλλόμενη καμπυλότητα θα προκαλούσε ακραίες στροφές φ_T αν η δοκός ήταν ελεύθερη,

(β2) Υπό την πυρκαγιά, λόγω των πακτώσεων αναπτύσσονται ακραίες πρόσθετες ροπές ΔM_T , προς αντιστάθμιση των στροφών του συζυγούς ισοστατικού φορέα (αμφιέριστη δοκός), οι οποίες επιβαρύνουν τα στηρίγματα και ανακουφίζουν το άνοιγμα της δοκού,

(γ) Λόγω της ανακατανομής των ροπών κάμψης, η ανάλυση και άρση της υπερστατικότητας γίνεται για φορέα με μεταβλητή κατά μήκος δυσκαμψία, η οποία – επί πλέον – μεταβάλλεται εν χρόνο υπό την αυξανόμενη T (και την μεταβολή των χαρακτηριστικών των υλικών),

(δ) Με την διαδικασία που αναπτύχθηκε στο ΕΟΣ/ ΕΜΠ, για «βήματα» $\Delta T=50^\circ\text{C}$, συντάσσονται τα μεταβαλλόμενα διαγράμματα $M - (1/r)$ και εκτιμάται η ανακατανομή των ροπών κάμψης.

Για την αποτίμηση της θερμοκρασιακής διάχυσης στο χρόνο σε διατομές και δομικά στοιχεία, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μαθηματικές εκφράσεις, νομογραφήματα, ή ακόμη και αριθμητικές επιλύσεις με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Στον Οδηγό παρουσιάζεται επίσης ο υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας ενός απλού δίστυλου μονώροφου πλαισίου συναρτήσει της θερμοκρασίας. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στο Παράρτημα Γ παρουσιάζονται και οι δυνατότητες ανάλυσης με χρήση πλέον

εξειδικευμένων συζευγμένων επιλύσεων, με τη βοήθεια της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων, οι οποίες ωστόσο δεν προτείνονται για την αντιμετώπιση του θέματος στο πλαίσιο του συγκεκριμένου Πρακτικού Οδηγού.

7.2 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΩΝ

Σε γενικές γραμμές, οι μέθοδοι και τα υλικά επέμβασης μετά από πυρκαγιά είναι ίδια ή παρόμοια με αυτά που εφαρμόζονται και σε άλλες περιπτώσεις βλαβών (π.χ. λόγω σεισμού). Ως εκ τούτου, στον Οδηγό παρατίθεται μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων συνοδευόμενη από επεξηγηματικά σχήματα. Επισημαίνεται ότι, για λόγους άρσης της επικινδυνότητας μετά από μια έντονη πυρκαγιά, ενδέχεται πριν από οποιαδήποτε επέμβαση στις πληγείσες κατασκευές να είναι αναγκαία η εφαρμογή ορισμένων άμεσων μέτρων (υποστυλώσεις, αντιστηρίξεις, καθαιρέσεις).

Οι μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης διακρίνονται κατ' αρχήν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες ανάλογα με το είδος των στοιχείων στα οποία εφαρμόζονται (επιχρίσματα, στοιχεία κτιρίων από Ο.Σ., στοιχεία κτιρίων από τοιχοποιία και στοιχεία από ξύλο ή χάλυβα). Οι κατηγορίες αυτές με τη σειρά τους, χωρίζονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με τα επιμέρους είδη βλαβών τα οποία αφορούν.

Για την αντιμετώπιση των βλαβών οι οποίες εμφανίζονται στα επιχρίσματα (στοιχείων από Ο.Σ. ή τοιχοποιία), συνήθως επαρκεί είτε η απλή σφράγιση των ρωγμών, είτε η αντικατάσταση των επιχρισμάτων με φροντίδα για εξασφάλιση καλής πρόσφυσης. Σε ότι αφορά τα στοιχεία κτιρίων από Ο.Σ., διακρίνονται δύο βασικές υποκατηγορίες επεμβάσεων. Αφενός εκείνες που αφορούν τις τοιχοπληρώσεις και (ανάλογα με τη βαρύτητα της βλάβης) περιλαμβάνουν από την εφαρμογή συμβατικών τεχνικών όπως η απλή σφράγιση ή/και συρραφή ρωγμών, έως και την καθαίρεση/ ανακατασκευή τοίχων κ.λπ.. Και αφετέρου εκείνες που αφορούν τον σκελετό Ο.Σ. και (ανάλογα με τη βαρύτητα της βλάβης) περιλαμβάνουν από την εφαρμογή σχετικά απλών τεχνικών όπως η πλήρωση ρωγμών με εποξειδική κόλλα και η τοποθέτηση στρώσεων λεπτοσκυροδέματος, έως και την προσθήκη μανδύα Ο.Σ. κ.λπ.

Από την άλλη, σε ό,τι αφορά τα στοιχεία κτιρίων από τοιχοποιία, διακρίνονται τρεις βασικές υποκατηγορίες επεμβάσεων. Εκείνες που αφορούν καμένα βοηθητικά στοιχεία (υπέρθυρα, ξυλοδεσιές, διαζώματα), και συνίστανται κυρίως στην αντικατάσταση/ υποκατάστασή τους. Εκείνες που αφορούν τοίχους και (ανάλογα με τη βαρύτητα της βλάβης) περιλαμβάνουν από την εφαρμογή τεχνικών όπως οι τσιμεντενέσεις και η συρραφή ρωγμών με χαλύβδινα ελάσματα, έως και την τοποθέτηση ελαφρόμανδύων ή «ζωνών ραφής», ή ακόμη και την καθαίρεση/ ανακατασκευή των τοίχων κ.λπ.. Και,

τέλος, εκείνες που αφορούν στέγες και πατώματα και περιλαμβάνουν την ενίσχυση ξύλινων και χαλύβδινων στοιχείων που δεν κάηκαν, την κατασκευή νέων «κύριων» διαζωμάτων, καθώς και την πλήρη ανακατασκευή πυρομονωμένης στέγης.

Τέλος, οι επεμβάσεις σε δοκούς, διαζώματα και λοιπά στοιχεία από ξύλο ή χάλυβα, συνίστανται αφενός στην βελτίωση των εδράσεων/ αγκυρώσεων τους (μέσω καθαιρέσεως και αντικαταστάσεως των βλαμμένων στηρίξεων, ή μέσω ενισχύσεως των υγιών στηρίξεων με πρόσθετα στοιχεία), και αφετέρου στην προστασία τους με ειδικές πυράντοχες επιχρίσεις και βαφές.

7.3 ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΟΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (ΠΑΘΗΤΙΚΗΣ, ΔΟΜΗΤΙΚΗΣ) ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΙΚΡΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

Παράλληλα με τις δομητικές επεμβάσεις μετά από πυρκαγιά, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα και για την βελτίωση της πυραντίστασης των κτιρίων και την μείωση της πυροτρωτότητάς τους (τόσο έναντι εξωτερικής όσο και έναντι εσωτερικής πυρκαγιάς). Στον Οδηγό παρατίθενται λεπτομερώς τα συνιστώμενα μέτρα, τα οποία μάλιστα διαχωρίζονται ανάλογα με το αν αφορούν στοιχεία του φέροντος οργανισμού ή του οργανισμού πληρώσεως, κουφώματα, υαλοπίνακες, ή (ξύλινες) στέγες. Ενδεικτικά αναφέρονται οι προτεινόμενοι δείκτες πυραντίστασης ανάλογα με το είδος των δομικών στοιχείων/ πυροδιαμερισμάτων, τα απαιτούμενα πάχη τοίχων για επαρκή θερμοχωρητικότητα, και η διαμόρφωση πυρομονωμένων και αεριζόμενων στεγών.

7.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΟΜΗΜΑΤΩΝ

Κατά τη σχεδίαση ενός κτιρίου από τους μελετητές (αρχιτέκτονα, πολιτικό, μηχανολόγο, τοπογράφο μηχανικό) μεταξύ των άλλων αντιμετωπίζεται και το θέμα της πρόληψης και αντιμετώπισης της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς και μετάδοσής της. Τα μέτρα που λαμβάνονται διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τα παθητικά μέτρα πυρασφάλειας, που αφορούν στην πρόληψη μιας πυρκαγιάς και τα ενεργητικά μέτρα πυροπροστασίας, που αφορούν κυρίως στην καταστολή μιας πυρκαγιάς σε περίπτωση εμφάνισης της.

7.4.1 Παθητική πυροπροστασία

Τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας αποβλέπουν κυρίως στον έλεγχο της εξάπλωσης της πυρκαγιάς με σκοπό την έγκαιρη εκκένωση του κτιρίου σε πιθανή εκδήλωση της. Τα μέτρα της παθητικής πυροπροστασίας αποτελούν τη δομική πυροπροστασία του κτιρίου και αφορούν κυρίως στο σχεδιασμό και τη μελέτη των δομικών στοιχείων σε κατάσταση πυρκαγιάς σύμφωνα με το σχετικό κανονιστικό πλαίσιο.

Ειδικότερα στα μέτρα της παθητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται :

- Μέτρα για τη μη εξάπλωση μιας πυρκαγιάς εντός κτιρίου (δημιουργία 4ε ανεξάρτητων πυροδιαμερισμάτων, δηλαδή τμήματα κτιρίων ή ολόκληρο κτίριο, που περικλείεται ερμητικά από δομικά στοιχεία με προκαθορισμένο κατά περίπτωση δείκτη πυραντίστασης, χρήση πυράντοχων θυρών, κτλ.)
- Μέτρα για την αποφυγή εξάπλωσης της πυρκαγιάς εκτός κτιρίου. (Η πυρκαγιά μπορεί να μεταδοθεί από ένα κτίριο σε γειτονικό, που βρίσκεται σε επαφή διαμέσου του διαχωριστικού τοίχου, ή σε ένα άλλο κοντινό κτίριο με ακτινοβολία από τον αντίστοιχο εξωτερικό τοίχο ή και από τη στέγη ή και προς τη στέγη του γειτονικού κτιρίου) .
- Η επίτευξη επάρκειας των δομικών στοιχείων του κτιρίου στη πυρκαγιά για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη εκκένωση του (επίτευξη κατάλληλου δείκτη πυραντίστασης, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου.)
- Κατάλληλη σχεδίαση των οδεύσεων διαφυγής και των εξόδων κινδύνου (αφορά στο σχεδιασμό, στις διαστάσεις των οδεύσεως διαφυγής, θυρών, κτλ.)

7.4.2 Ενεργητική πυροπροστασία

Η ενεργητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στην αντιμετώπιση και καταστολή της πυρκαγιάς στην περίπτωση που αυτή έχει ήδη εκδηλωθεί. Τα προβλεπόμενα, από τον μελετητή, μέτρα αφορούν στον εξοπλισμό και στις προγραμματισμένες ενέργειες, που ενεργοποιούνται μόλις εμφανιστεί και κατά τη διάρκεια. Στα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται:

- Τοποθέτηση φορητών μέσων πυρόσβεσης (πυροσβεστήρες).
- Τοποθέτηση συστήματος πυρανίχνευσης.
- Τοποθέτηση χειροκίνητου συστήματος συναγερμού (κομβία συναγερμού).
- Τοποθέτηση μόνιμου υδροδοτικού δικτύου (πυροσβεστικές φωλιές).
- Τοποθέτηση συστήματος καταιονισμού.

7.5 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

7.5.1. Πυρανίχνευση

Σύστημα αναλογικό (GENT 3200) που η κάθε συσκευή ανίχνευσης θα παρέχει επίπεδα ενδείξεων σχετικά με τη λειτουργική της κατάσταση.

Τα αναλογικά δείγματα μεταδίδονται στον πίνακα ελέγχου σε ισόγειο σε ψηφιακή μορφή έτσι ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες παρεμβάσεις.

Το σύστημα πρέπει να παρέχει πλήρεις πληροφορίες για κάθε συσκευή όσον αφορά την κατάσταση της, σε περίπτωση ηρεμίας, ενεργοποίησης, κατάσταση λάθους, βραχυκυκλώματος ή ανοικτού κυκλώματος.

α) Κεντρικός πίνακας ελέγχου

Ο πίνακας ελέγχου έχει την δυνατότητα εκτέλεσης διαφόρων λειτουργιών ταυτόχρονα, είναι δε σύμφωνος με τους κανονισμούς BS5839 Part 4 (ενδεικτικός τύπος (GENT 3200)).

Ο πίνακας ελέγχου κρατάει πληροφορίες για :

1. Τα τελευταία 100 γεγονότα φωτιάς με αντίστροφη σειρά από αυτήν που συνέβησαν.
2. Τα προηγούμενα 255 γεγονότα του πίνακα εξαιρουμένων των ενεργειών ακύρωσης του βομβητή.
3. Τα προηγούμενα 255 γεγονότα παρακολούθησης μη φωτιάς.

β) Αναλογική ανιχνευτές και βάσεις

Οι αναλογικοί ανιχνευτές είναι κατασκευασμένοι από πλαστικό ABS.

γ) Οπτικός ανιχνευτής

Η ανίχνευση καπνού επιτυγχάνεται μέσω ενός υπέρυθρου LED το οποίο εκπέμπει μια ακτίνα φωτός μέσα σ'ένα ειδικό αμβλύ θάλαμο. Σ περίπτωση που ο καπνός εισέρθει στον θάλαμο, η ακτίνα διαθλάται και ενεργοποιεί τον συναγερμό.

Ο ανιχνευτής πρέπει να είναι σύμφωνος με τους κανονισμούς BS 5445 και EN 54 Part 5 και 7.

δ) Θερμικός ανιχνευτής

Μπορεί να προγραμματισθεί για 6 διαφορετικά στάδια λειτουργίας, ούτως ώστε να παρέχει ανίχνευση σταθερής θερμοκρασίας, διαφοράς θερμοκρασίας ή υψηλής θερμοκρασίας. Πρέπει δε να είναι σύμφωνος με τους άνω κανονισμούς.

ε) Χειρονακτικά κομβία συναγερμού

Τα οποία είναι κατάλληλα να παρέχουν προστασία σύμφωνη με IP32, και παρέχει τη δυνατότητα έλεγχου χωρίς την ανάγκη να σπάσει το τζαμένιο κάλυμμα.

στ) Ηχητικά συστήματα

Είναι ηλεκτρικές σειρήνες που παρέχουν ηχητικά σήματα των 100 bBA στο 1m.

ζ) Μονάδες interface πλήρης μετά μπαταριών

Είναι προγραμματισμένες σαν μονάδες εξόδου –εισόδου.

η) Εγκατάσταση συστήματος

Όλες οι καλωδιώσεις του συστήματος γίνονται χρησιμοποιώντας καλώδιο διπολικό διατομής $1,5 \text{ mm}^2$ Mcc, θωρακισμένο.

7.6 ΚΑΤΑΣΤΑΛΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Αυτά αποτελούνται από υδροδοτικό δίκτυο Π.Φ. αυτόματο σύστημα καταιονισμού ύδατος «SPRINKLER», το αντλιοστάσιο πυρόσβεσης κλπ.

7.6.1 Μέθοδοι κατάσβεσης πυρκαγιάς

Για την κατάσβεση πυρκαγιών χρειάζονται πείρα, ψυχραιμία, εξοπλισμός και ικανότητα για τη λήψη κατάλληλων μέτρων.

Όλα τα σώματα- ανεξαρτήτου βαθμού- προσβάλλονται από πυρκαγιά γι αυτό η εκλογή των υλικών πρέπει να γίνεται προσεκτικά.

Αυτοί που ασχολούνται με προβλήματα πυρκαγιών πρέπει να έχουν άποψη, ότι η μεταβολή της ακτινοβόλου ενέργειας εξαρτάται από την πηγή ακτινοβολίας. Η πυρόσβεση στηρίζεται στη ψύξη των καιόμενων σωμάτων, στην απόπνιξη της εστίας, στην απομάκρυνση της καύσιμης ύλης και στην αρνητική κατάλυση. Οι παραπάνω μέθοδοι κατάσβεσης αποδίδουν εφόσον υπάρχουν οι απαιτούμενες γνώσεις, π.χ. σε ένα εργασιακό χώρο βασική προϋπόθεση είναι οι γνώσεις: για τις θέσεις που βρίσκονται τα πυροσβεστικά μέσα, τον τρόπο λειτουργίας και την κατασβεστική ικανότητά τους. Τη σημασία που έχει η συντήρηση και ετοιμότητα των πυροσβεστικών μέσων, τη μόρφωση γνώμης για το είδος της πυρκαγιάς, δεδομένου ότι απαγορεύεται σε πολλές περιπτώσεις χρήση κάποιου πυροσβεστικού υλικού π.χ. νερού σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κλπ. Η αντιμετώπιση των πυρκαγιών αυτών απαιτεί προσεκτικούς χειρισμούς, προσχεδιασμό και συνεργασία όσων την αναλάβουν.

Αποτελεί αναμφισβήτητο λέγοντας ότι η εξέλιξη ιδιαίτερα στον τομέα της τεχνολογίας υλικών, επιτρέπει να κατασκευάζονται ανθεκτικότερα και πολύ περισσότερο πυρασφαλή οικοδομήματα απ ότι στο παρελθόν.

Τον περασμένο αιώνα π.χ. οι χαλύβδινες κατασκευές και οι δομές από σιδηροπαγές σκυρόδεμα (μπετόν αρμέ) ήταν άγνωστες, με αποτέλεσμα τα κτίρια να προσβάλλονται πιο εύκολα από πυρκαγιές.

7.6.2 ΠΥΡΟΦΡΑΓΜΟΙ

Πυροφραγμός είναι : δομική κατασκευή που έχει σκοπό να εμποδίζει την διέλευση καπνού και φλογών μεταξύ δύο χώρων ενός και του αυτού κτιρίου.

Οι αντιπροσωπευτικότεροι τύποι πυροφραγμών έχουν ως εξής:

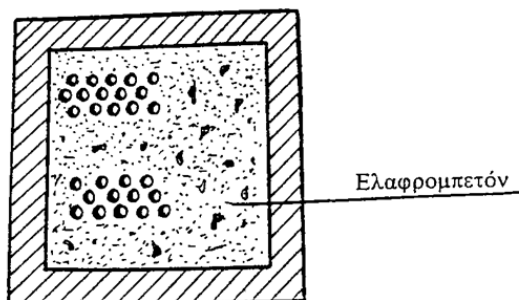
1. Πυροφραγμοί από πυράντοχο ελαφρομπετόν με βάση βερμικουλίτη ή περλίτη.
2. Πυροφραγμοί από πυράντοχο ελαφρομπετόν με χρήση αμιάντου.
3. Πυροφραγμοί με άμμο θαλασσινή.
4. Πυροφραγμοί πετροβάμβακα.
5. Πυροφραγμοί προσωρινοί από πετροβάμβακα σε μικρούς σάκους.
6. Πυροφραγμοί τύπου M.C.T. Σουηδίας.

Αποτελούνται από προκατασκευασμένα μεταλλικά πλαίσια οδηγούς, μέσα στα οποία συσφίγγονται ειδικά τεμάχια (τούβλα διμερή από ειδικό Neoprene) που περιβάλλουν τα προστατευόμενα καλώδια – σωληνώσεις.

Στα πιο κάτω σχήματα απεικονίζονται τύποι πυροφραγμών και πίνακας με τα δεδομένα από τις πυροσβεστικές διατάξεις που ισχύουν για τους πυροφραγμούς.

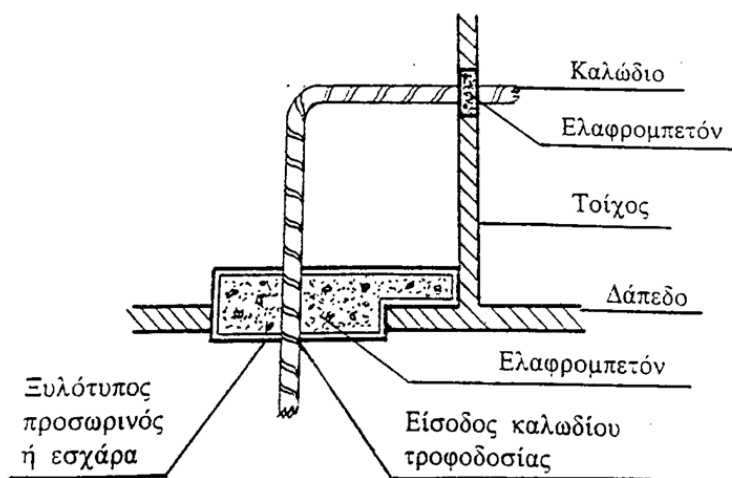
Δεδομένα από τις Κανονιστικές (Πυροσβεστικές) διατάξεις που ισχύουν για πυροφραγμούς κατά μήκος των καλωδιώσεων, σωληνώσεων κλπ.

1. Η δημιουργία πυροφραγμών σε επίκαιρες θέσεις είναι μία από τις βασικές προϋποθέσεις για ολοκλήρωση της διαμερισματοποίησης των (κτιριακών) χώρων από πλευράς πυρασφάλειας.
2. Οι πυροφραγμοί πρέπει να κατασκευάζονται:
 - Στα σημεία διόδου καλωδίων – σωληνώσεων από χώρο σε χώρο ή κατά μήκος των οδεύσεων τους.
 - Σε οποιαδήποτε μορφής και προορισμού ανοίγματα σε τοίχους ή δάπεδα μεταξύ των χώρων.
 - Σε θέσεις αλλαγής διεύθυνσης καλωδιώσεων ή αναχωρήσεων διακλαδώσεων.
 - Στις εισόδους καλωδίων σε πίνακες, τράπεζες εργασίας, συσκευές, μηχανήματα κλπ.
3. Υπάρχουν πολλοί τύποι πυροφραγμών, όπως προαναφέραμε:
 - Από πυράντοχο ελαφρομπετόν, με βάση βερμικιλίτη ή περλίτη.
 - Από πυράντοχο ελαφρομπετόν, που περιέχει και αμιάντο.
 - Με άμμο θαλασσινή.
 - Από πετροβάμβακα
 - Προσωρινοί (από πετροβάμβακα σε μικρούς σάκους).
 - Τύπου M.C.T. Σουηδίας.

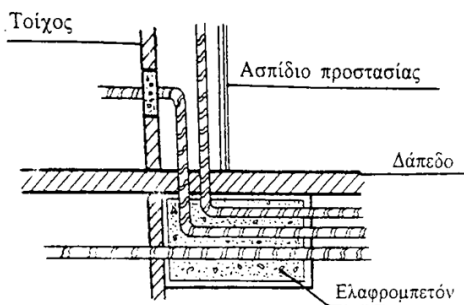


Σχήμα 8

Πυροφραγμός ελαφρομετόν ολόκληρης διατομής σε οχετό καλωδίων

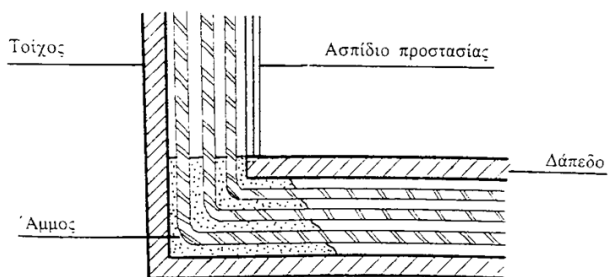


Σχήμα 9



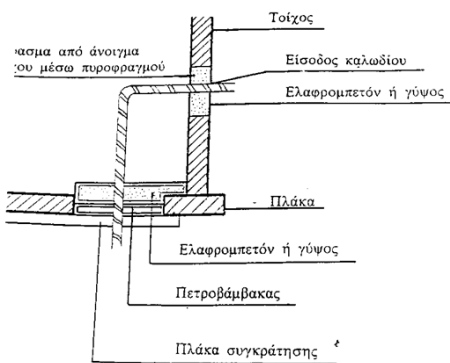
Σχήμα 10

Πυροφραγμός σε οχέτο καλωδίων, στο σημείο αλλαγής κατεύθυνσης.



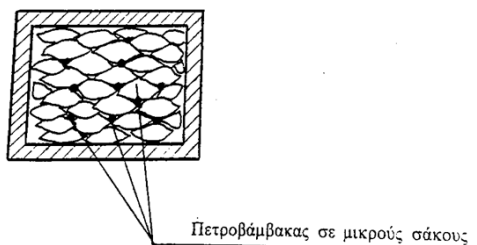
Σχήμα 11

Πυροφραγμός σε οχέτο καλωδίων, σε σημείο αναχώρησης καλωδίων



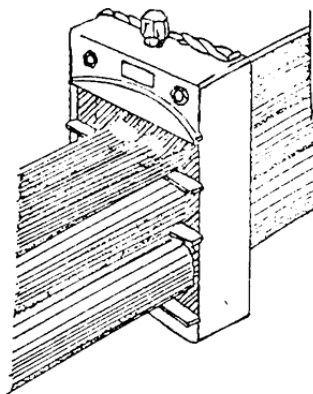
Σχήμα 12

καλωδίου τροφοδοσίας από άνοιγμα πατώματος και τοίχου, μέσα από πυροφραγμό πετροβάμβακα και ελαφρομετόν ή γύψου.



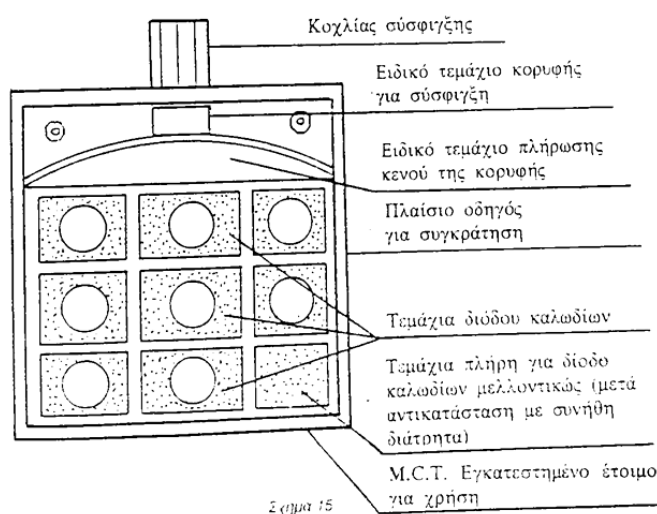
Σχήμα 13

Πυροφραγμός προσωρινού τύπου από πετροβάμβακα σε μικρούς σάκκους (περιβάλλουν σφιχτά τα καλώδια και κλείνουν τελείως τα κουφώματα).



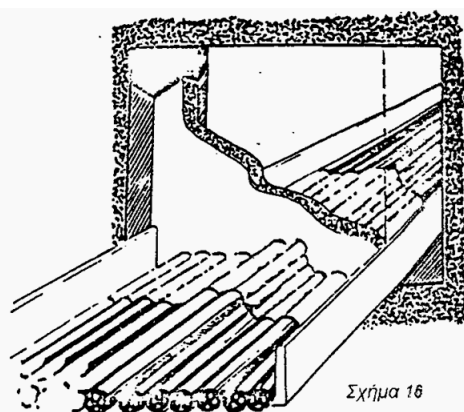
Σχήμα 14

Πλαίσιο MCT ατילו, εξοπλισμένο και τοποθετημένο



Σχήμα 15

Πλαίσιο MCT ατילו, με τα ειδικά πλαστικά κομμάτια για το πέρασμα καλωδίων.



Σχήμα 16

Πυροφραγμός από ορυκτοβάμβακα (πάπλωμα – πάχους π.χ. 60 χιλιοστών) με επίχρισμα και σφραγιστική επικάλυψη και των δύο πλευρών από υλικό που αποτελείται κυρίως από θερμοπλαστικές ρητίνες. Τα καλώδια και από τις δύο πλευρές του πυροφραγμού είναι, επίσης, επιχρισμένα με τέτοιο υλικό σε μήκος 50 εκατ. το λιγότερο.

7.7 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ (Άρθρο 1 και 5-13 Π.Δ. 71/1988)

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Τα κτίρια ταξινομούνται ανάλογα με τη χρήση τους σε 9 κατηγορίες:

Κατηγορία	Είδη κτιρίων
1 ^η Κατηγορίες	Κτίρια διαμερισμάτων. Ξεχωριστές κατοικίες Οικοτροφεία:
2 ^η Ξενοδοχεία	Ξενοδοχεία, Ξενώνες
3 ^η Εκπαιδευτήρια	Σχολικά κτίρια όλων των κατηγοριών και βαθμίδων εκπαίδευσης
4 ^η Γραφεία	Κτίρια με δημόσια ή και ιδιωτικά γραφεία
5 ^η Καταστήματα	Κτίρια για αποθήκευση, έκθεση και πώληση εμπορευμάτων
6 ^η Χώροι συνάθροισης κοινού	Κτίρια που χρησιμοποιούνται για την συνάθροιση ατόμων, για κοινωνικές, οικονομικές, πνευματικές, ψυχαγωγικές ή αθλητικές εκδηλώσεις
7 ^η Βιομηχανίες – Αποθήκες	Κτίρια που στεγάζουν βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες ή και αποθήκες που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση πρώτων υλών και βιομηχανικών προϊόντων
8 ^η Νοσηλευτικές Εγκαταστάσεις – Φυλακές	Νοσοκομεία, Γηροκομεία, Παιδοβρεφονηπιακοί σταθμοί, Κτίρια Σωφρονισμού
9 ^η Χώροι στάθμευσης οχημάτων, και πρατήρια υγρών καυσίμων	Υπαιθρία, υπόγεια και υπέργεια κτίρια στάθμευσης αυτοκινήτων και πρατήρια υγρών καυσίμων

7.8 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΤΙΡΙΑ

1^η Κατοικίες

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση κατοικίας υπολογίζεται ανά m² μικτής επιφάνειας 1 άτομο/ 18 m²

2^η Ξενοδοχεία

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση ξενοδοχείου υπολογίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας 1 άτομο/ $15 m^2$ ή αριθμός κλινών συν το προσωπικό.

3^η Εκπαιδευτήρια

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση εκπαιδευτηρίου υπολογίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας αίθουσες 1 άτομο/ $2 m^2$, εργαστήρια 1 άτομο/ $4.5 m^2$, λοιποί χώροι 1 άτομο/ $6 m^2$

4^η Γραφεία

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση γραφείου υπολογίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας 1 άτομο/ $9 m^2$ και 1 άτομο/ $5 m^2$ σε γραφεία με μεγάλες αίθουσες.

5^η Καταστήματα

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση καταστήματα υπολογίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας 1 άτομο/ $6 m^2$ για εκθέσεις, 1 άτομο/ m^2 για πολυκαταστήματα, 1 άτομο/ $1 m^2$ για κυλικεία – εστιατόρια και 1 άτομο/ $20 m^2$ για αποθήκες.

6^η Χώροι συνάθροισης κοινού

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση χώρων συνάθροισης κοινού, υπολογίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας 1 άτομο/ $0.45 m^2$ σε κερκίδες, 1 άτομο/ $0.30 m^2$ για αίθουσες αναμονής και 1 άτομο/ $3 m^2$ για βιβλιοθήκες.

7^η Βιομηχανίες και αποθήκες

Οι βιομηχανίες, οι βιοτεχνίες και οι αποθήκες κατατάσσονται σε τρεις (3) κατηγορίες, ανάλογα με την επικινδυνότητα τους σε σχέση με την εκδήλωση πυρκαγιάς, σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 17483/20-3-78 του Υπουργείου Βιομηχανίας και Ενέργειας.

- ❖ Z1 : Χαμηλού βαθμού κινδύνου (Aa, Bb, Ca, D)
- ❖ Z2 : Μεσαίου βαθμού κινδύνου (Aa, Bb, Cb)
- ❖ Z3 : Υψηλού βαθμού κινδύνου (Ac, Bc, Cc)

Ιδιαίτερα για τις αποθήκες η κατάταξη μπορεί να γίνει ορθότερα με βάση τη μέση πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου, εφόσον αυτό παραμένει σχετικά σταθερό.

- ❖ Z1 : Πυροθερμικό φορτίο $< 1000 Mj/m^2$
- ❖ Z2 : Πυροθερμικό φορτίο $1000 - 2000 Mj/m^2$
- ❖ Z3 : Πυροθερμικό φορτίο $> 2000 Mj/m^2$

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση βιομηχανίας, βιοτεχνίας και αποθήκης υπολογίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας 1 άτομο/ 10 m^2 για βιομηχανίες και 1 άτομο/ 40 m^2 για αποθήκες.

8^η Νοσηλευτικές εγκαταστάσεις (N), φυλακές

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση φυλακές και νοσηλευτικές εγκαταστάσεις ορίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας 1 άτομο/ 11 m^2 γενικά και 1 άτομο/ 22 m^2 για βοηθητικούς χώρους.

9^η Χώροι στάθμευσης οχημάτων και πρατήρια υγρών καυσίμων.

Διακρίνονται σε τρεις (3) κατηγορίες:

- ❖ Z1 : Μονώροφα και ημιυπαίθρια
- ❖ Z2 : Υπέργεια πολυώροφα
- ❖ Z3 : Υπόγεια

Ο θεωρητικός πληθυσμός κτιρίου με χρήση στάθμευσης οχημάτων και πρατήρια υγρών καυσίμων υπολογίζεται ανά m^2 μικτής επιφάνειας 1 άτομο/40 m^2 .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι υψηλές θερμοκρασίες επιδρούν αρνητικά σε μια κατασκευή. Οι βλάβες που προκαλούνται τις περισσότερες φορές, με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων μπορούν να διορθωθούν. Σύμφωνα με τη παραπάνω μελέτη προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ♦ ο χάλυβας και το σκυρόδεμα υφίστανται προοδευτική μείωση στις μηχανικές ιδιότητες της αντοχής και της δυσκαμψίας τους καθώς η θερμοκρασία τους αυξάνεται σε συνθήκες πυρκαγιάς. Οι Ευρωκώδικες παρουσιάζουν υπολογιστικά μοντέλα υλικού, μέσω καμπυλών τάσεων - παραμορφώσεων για μία εκτενή περιοχή θερμοκρασιών και τη συμπεριφορά των δύο υλικών.
- ♦ Οι υπολογισμοί με βάση τους Ευρωκώδικες της αντοχής σε συνθήκες πυρκαγιάς λαμβάνουν υπόψη τη στάθμη φορτίσεως του δομικού στοιχείου.
- ♦ Η μέθοδος εκτίμησης της σοβαρότητας μιας φυσικής φωτιάς είναι η μέθοδος του συσχετισμού των χρόνων μεταξύ της μέγιστης θερμοκρασίας της φωτιάς και της ίδιας θερμοκρασίας κατά την πρότυπη καμπύλη ISO834.
- ♦ Το σκυρόδεμα δε καίγεται, έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα και παρουσιάζει ενδόθερμες αντιδράσεις στον τσιμεντοπολτό. Η ανθεκτικότητα του εξαρτάται από το ποσοστό υγρασίας που έχει, την ταχύτητα θέρμανσης, το πορώδες και την περατότητα του. Κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς παρουσιάζει υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών του. Μετά την πυρκαγιά οι ιδιότητες αυτές δεν επανέρχονται ή επανέρχονται σε μικρό ποσοστό, τόσο που δε λαμβάνονται υπόψη.
- ♦ Περισσότερο ανθεκτικό από όλα τα σκυροδέματα είναι τα ελαφροσκυροδέματα. Το σκυρόδεμα παρέχει τη καλύτερη αντίσταση σε πυρκαγιά από τα συνήθη δομικά υλικά. Ιδίως η χρήση ασβεστολιθικών αδρανών το καθιστά πιο πυράντοχο σε σχέση με σκυροδέματα πυριτικών.
- ♦ Με τις υψηλές θερμοκρασίες στο χάλυβα οπλισμού επηρεάζονται το όριο διαρροής, η εφελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση θραύσεως. Μπορεί να εμφανιστεί χαλάρωση και μεταβολή της μικροδομής του. Η συμπεριφορά του σε συνθήκες φωτιάς εξαρτάται από τον χρόνο και την θερμοκρασία έκθεσης σε αυτή. καθώς και από τη σύσταση και την μέθοδο παραγωγής του. Με την επαναφορά του σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος οι παραπάνω μεταβολές παραμένουν ή επανέρχονται μερικώς ή ολικώς στην αρχική κατάσταση, ανάλογα την μέθοδο παράγωγης, τον χρόνο και τη θερμοκρασία έκθεσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι μια και ο οπλισμός επηρεάζεται από τις μεγάλες θερμοκρασίες, για να έχουμε μεγαλύτερη ανθεκτικότητα έναντι πυρκαγιάς χρειαζόμαστε μεγαλύτερη επικάλυψη οπλισμού.

- ◆ Ο χάλυβα που υπέστη κατεργασία εν θερμό είναι ανθεκτικότερος στις υψηλές θερμοκρασίες , από αυτόν που υπέστη θερμοκρασία εν ψυχρό. Μέχρι και την θερμοκρασία των 200 °C δεν έχει καμία απώλεια της αντοχής του . Σε θερμοκρασία έως και 500 °C εμφανίζεται υποβάθμιση των αρχικών του ιδιοτήτων οι οποίες όμως επανέρχονται μετά από ψύξη ενώ πάνω από αυτή τη θερμοκρασία η υποβάθμιση αυτή δεν επανέρχεται πλήρως.
- ◆ Οι χάλυβες προέντασης έχουν κοινή συμπεριφορά με αυτούς της ψυχρής έλασης που χρησιμοποιούνταν παλιότερα και το φάσμα των κρίσιμων θερμοκρασιών τους είναι χαμηλότερο από αυτό των οπλισμών θερμής έλασης.
- ◆ Τα οπλισμένα σκυροδέματα σχετικά υψηλότερης αντοχής έχουν μικρότερο ρυθμό πτώσεως της θλιπτικής αντοχής κάτω από υψηλές θερμοκρασίες, σε αντίθεση με τα σχετικά χαμηλότερης αντοχής οπλισμένα σκυροδέματα. Η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμών μειώνεται στο μισό σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 400 °C .
- ◆ Ως στατικά συστήματα προτιμώνται οι συνεχείς δοκοί και πλάκες καθώς και τα πολύστυλα πλαίσια. Επαύξηση των αντοχών των μελών επιτυγχάνεται με αύξηση των διαστάσεων των διατομών και των επικαλύψεων των οπλισμών καθώς και με την εφαρμογή μεθόδων παθητικής πυρασφάλειας .
- ◆ Απαραίτητα για την πρόληψη των δυσμενών επιπτώσεων της πυρκαγιάς είναι να ληφθούν υπόψη και να εφαρμοστούν , οι κατάλληλες κατασκευαστικές διατάξεις στη φάση σχεδιασμού. Καθώς επίσης να εφαρμοστούν τα κατάλληλα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας που είναι απαραίτητα για την ασφάλεια των πολιτών, και της κατασκευής.