

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

ΝΕΖΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ
ΣΤΑΘΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία γίνεται λόγος για τη συμπεριφορά των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό την επίδραση πυρκαγιάς. Αρχικά, ερευνάται η αντοχή των δομικών υλικών ενώ στη συνέχεια αναλύεται η επίδραση της στα δομικά στοιχεία. Γίνεται αναφορά στις συνήθεις βλάβες που παρουσιάζονται και προτείνονται μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης αυτών. Για την ευκολότερη κατανόηση των παραπάνω παρατίθεται παράδειγμα αποκατάστασης πραγματικού κτιρίου. Τέλος, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για την συμπεριφορά στοιχείων της κατασκευής όσο και για τα μέτρα πρόληψης και τις μεθόδους αποκατάστασης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σπουδαίο κεφάλαιο που απασχολεί το μηχανικό κατά τη μελέτη έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η ασφάλεια και η ανθεκτικότητα της κατασκευής έναντι των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Και ενώ για τις συνήθεις δράσεις (εντατικές καταστάσεις, σεισμός κ.α.) υπάρχουν σαφείς μέθοδοι σχεδιασμού, για την ειδική δράση που λέγεται πυρκαγιά δεν διατίθενται τρέχουσες μέθοδοι υπολογισμού παρά μόνο κάποιοι εμπειρικοί κανόνες οι οποίοι κατά τα παλαιότερα χρόνια ήταν ανεπαρκείς και εφαρμόζονταν σπάνια^[1]. Τα τελευταία χρόνια με την αύξηση του όγκου των κατασκευών αλλά και με την χρήση νέων πηγών ενέργειας (φυσικό αέριο) που εμφανίζουν υψηλό βαθμό επικινδυνότητας ως προς την εκδήλωση φωτιάς, εντείνεται το ενδιαφέρον των μηχανικών για το σχεδιασμό πυράντοχων κατασκευών. Αν ενδιαφερθεί κανείς να ικανοποιήσει την απαίτηση για «ιδανική», δηλαδή απεριόριστη, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες των υλικών θα διαπιστώσει ότι κανένα υλικό δε παρουσιάζει την ιδιότητα αυτή. Εν τούτοις ο προσεκτικός σχεδιασμός μπορεί να αυξήσει την ανθεκτικότητα των δομικών στοιχείων και κατά συνέπεια του συνόλου της κατασκευής, ενώ διευκολύνει την ενίσχυση και αποκατάσταση ενός κτιρίου που υπέστη πυρκαγιά.

2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Για την εκτίμηση των σταδίων και των μέγιστων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς έχουν προταθεί κατά καιρούς εμπειρικές μέθοδοι και διαγράμματα εκτίμησης αυτών. Στη παρούσα εργασία θα αναφέρουμε δύο τέτοιες μεθόδους, την κατά Kordina η οποία χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των μεταβολών της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς και τη πειραματική καμπύλη υπολογισμού μιας πρότυπης πυρκαγιάς κατά ISO P834.

2.1 ΚΑΤΑ KORDINA^[2]

Κατά τον Kordina η εξέλιξη της πυρκαγιάς συμβαίνει σε τρία στάδια, ανάλογα προς το ύψος θερμοκρασίας και τη διάρκεια.

- Στο πρώτο στάδιο που διαρκεί περίπου 15 - 30 λεπτά η φωτιά εξαπλώνεται και οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν γρήγορα στους 800 °C – 900 °C.
- Στο δεύτερο στάδιο καίγεται ότι μπορεί να καεί. Η διάρκεια αυτού του σταδίου εξαρτάται από την ποσότητα των περιεχομένων ή αποθηκευμένων στοιχείων που βρίσκονται στο χώρο. Η θερμοκρασίες ανεβαίνουν λίγο ακόμη, ανάλογα προς τα φλεγόμενα, μέχρι 1000 °C – 1100 °C.
- Στο τρίτο στάδιο η πυρκαγιά υποχωρεί και οι θερμοκρασίες πέφτουν γρήγορα.

Η θερμοκρασία στη εστία της φωτιάς εξαρτάται από:

- Την ποσότητα υλικών που υπόκεινται σε ανάφλεξη.
- Το καπνό και την εκλυόμενη θερμότητα.
- Την ύπαρξη ατμοσφαιρικού αέρος (π.χ. στο υπόγειο, η πυρκαγιά εκτείνεται μόνον υπό ρεύμα αέρος).
- Τη διάρκεια της πυρκαγιάς.
- Την ειδική ταχύτητα καύσης.

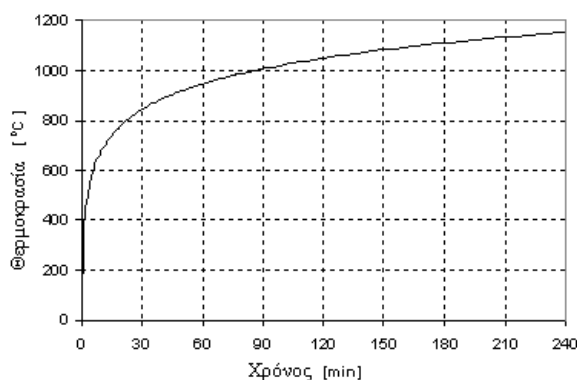
Τυπικές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε διάφορους χώρους δίνονται στο πίνακα 1.

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 1. Θερμοκρασίες πυρκαγιάς και γνωρίσματά τους ^[2].

2.2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΧΡΟΝΟΥ – ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ISO P834 ^{[11][1]}

Ο σχεδιασμός δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι πυρκαγιάς βάσει τον κανονισμών των περισσότερων κρατών, έχει στηριχθεί σε πειραματικά αποτελέσματα ανθεκτικότητας σε μια πρότυπη πυρκαγιά. Από τις διάφορες πρότυπες πυρκαγιές που υπάρχουν η συχνότερα χρησιμοποιούμενη σήμερα είναι η ISO P834 (Σχήμα 1).



t (min)	T - T ₀ (°C)
0	0
5	556
10	658
15	719
30	822
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1194

$$T - T_0 = 345 \log (8t + 1)$$

T : θερμοκρασία χώρου καύσης

T₀ : θερμοκρασία του δοκιμίου κατά την έναρξη της δοκιμασίας

t : χρόνος σε λεπτά

Σχήμα 1. Καμπύλη ISO 834:2000 Θερμοκρασία – Χρόνος ^[11].

3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

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. Παρ' όλα αυτά η αντοχή των δομικών στοιχείων συναρτάτε άμεσα με τις ιδιότητες των υλικών από τα οποία αποτελούνται σε υψηλές θερμοκρασίες.

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η πολυπλοκότητα του προβλήματος κατάταξης των υλικών ανάλογα με τη δυσφλεξιμότητά τους ως σημειωθεί πως σαν πρώτη προσπάθεια στην Αμερική και τη μεγάλη Βρετανία έγιναν αποπειράθηκε η κατάταξη των υλικών σε δέκα κατηγορίες αναφλεξιμότητας. Όμως τα εργαστηριακά αποτελέσματα δε συμφωνούσαν με αυτά δοκιμαστικών πυρκαγιών πραγματικής κλίμακας [3].

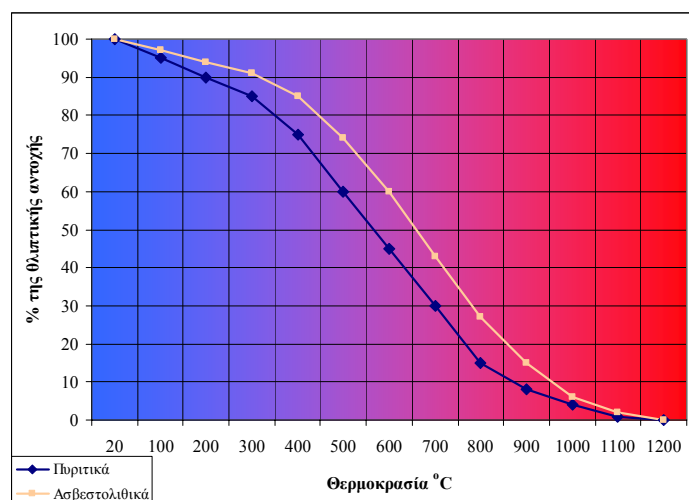
Σύμφωνα με τον ισχύοντα ευρωπαϊκό κανονισμό EN-1305 ο οποίος βάδισε στα πρότυπα του γερμανικού DIN-4102 κατατάσσονται τα υλικά σε πέντε κατηγορίες κατά σειρά δυσφλεξιμότητας (A1, A2, B1, B2, B3) [17].

3.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα 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 αυτό είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερης μάζας από αντίστοιχα χαλύβδινα ή ξύλινα, έτσι η ανύψωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του στοιχείου καθυστερεί.
- Το σκυρόδεμα, ακόμη και σε ξηρό περιβάλλον περιέχει νερό που βοηθά την πυραντοχή του αλλά ταυτόχρονα (το νερό) είναι υπεύθυνο για μια από τις σημαντικότερες βλάβες που προξενούνται στις κατασκευές κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, αυτή της εκρηκτικής απόσχισης (spalling).

Επίσης, ως σημειωθεί, πως το είδος των αδρανών που περιέχονται στο σκυρόδεμα παίζει σημαντικό ρόλο. Τα ασβεστολιθικά αδρανή (τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ελλάδα) είναι τα καλύτερα, διότι ο ασβεστόλιθος χάνει την ικανότητά του στους 900 °C, οπότε αρχίζει η ασβεστοποίηση με έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (διαδικασία που απορροφά επίσης σημαντικά ποσά 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 2).



Θερμοκρ. σκυρ. °C	$f_{ct(\theta)}/f_{ct(20^\circ\text{C})}$		$\varepsilon_{ct(\theta)}/10^{-3}$
	πυριτ.	ασβ/κα	
20	1,00	1,00	2,5
100	0,95	0,97	3,5
200	0,90	0,94	4,5
300	0,85	0,91	6,0
400	0,75	0,85	7,5
500	0,60	0,74	9,5
600	0,45	0,60	12,5
700	0,30	0,43	14,0
800	0,15	0,27	14,5
900	0,08	0,15	15,0
1000	0,04	0,06	15,0
1100	0,01	0,02	15,0
1200	0,00	0,00	-

Σχήμα 2. Διάγραμμα θερμοκρασίας – αντοχής τύπων σκυροδεμάτων κατά EC2 [12].

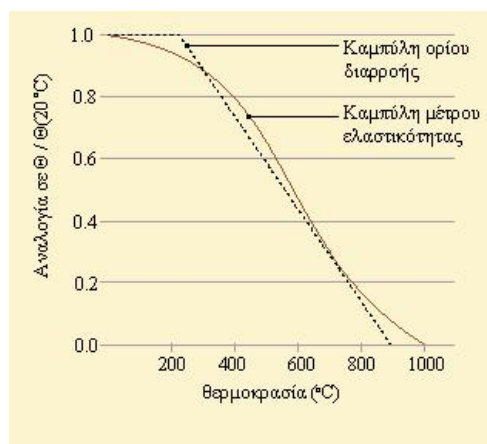
3.2 ΧΑΛΥΒΑΣ

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

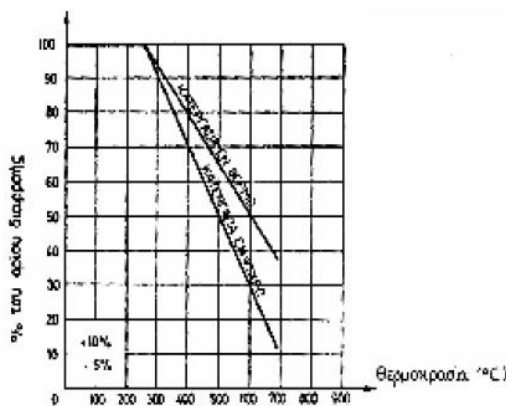
Η έκθεση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες, αν συντρέχουν και ορισμένοι άλλοι παράγοντες (ενδεικτικά αναφέρονται ο χρόνος έκθεσης, το οξειδωτικό περιβάλλον στην επιφάνεια του χάλυβα και ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας) είναι δυνατόν να έχει ως αποτέλεσμα σημαντική διαφοροποίηση (υποβάθμιση) των μηχανικών τους 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) και η συνάφεια με το σκυρόδεμα ^[13].

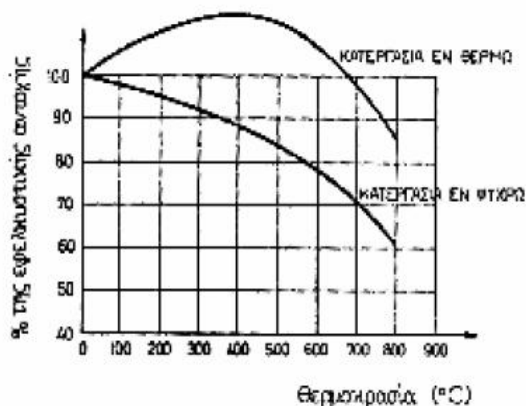
Οι χάλυβες οι οποίοι έχουν αποκτήσει υψηλή αντοχή με ψυχρά έλαση παρουσιάζουν ταχύτερη πτώση γιατί με την ανόπτηση που επέρχεται χάνεται η πρόσθετη αντοχή και η κρίσιμη θερμοκρασία τους είναι 400 °C – 450 °C ^[3]. Παρότι η μέθοδος αυτή κατεργασίας δε χρησιμοποιείται πλέον, παραθέτουμε διάγραμμα της συμπεριφοράς τους σε υψηλές θερμοκρασίες (Σχήμα 4 , Σχήμα 5) αφού αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί σε υφιστάμενες κατασκευές και η γνώση των ιδιοτήτων τους είναι αναγκαία κυρίως σε θέματα ενισχύσεων.



Σχήμα 3. Μεταβολή μέτρου ελαστικότητας και ορίου διαρροής σε χάλυβες θερμής έλασης ^[4].



Σχήμα 4. Μεταβολή ορίου διαρροής χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες ^[1].

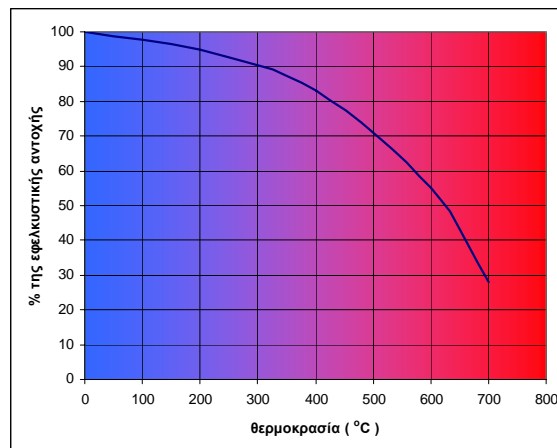


Σχήμα 5. Εφελκυστική αντοχή χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες μετά την απόψυξη ^[1].

Βέβαια, κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς το σκυρόδεμα είναι αυτό που παρουσιάζει τις περισσότερες βλάβες, αφού εγκιβωτίζει το χάλυβα θερμομονώνοντάς τον και έτσι ο τελευταίος δεν 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 ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Η συμπεριφορά των προεντεταμένων χαλύβων στις υψηλές θερμοκρασίες μιας πυρκαγιάς είναι πολύ κρίσιμότερη από αυτή των απλών οπλισμών (Σχήμα 6). Το φάσμα των κρίσιμων θερμοκρασιών είναι εδώ χαμηλότερο μεταξύ 370 °C – 420 °C. Επειδή το φορτίο λειτουργίας του προεντεταμένου χάλυβα είναι το 70% της αντοχής εφελκυσμού έχουμε ένα όριο ασφαλείας των 500 °C [12].



Σχήμα 6. Εφελκυστική αντοχή χαλύβων προεντάσεως σε υψηλές θερμοκρασίες [1].

4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΧΑΛΥΒΑ-ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

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 δύο 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 εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως είναι η ποιότητα του σκυροδέματος, το είδος και το μέγεθος των αδρανών μέσα στο σκυρόδεμα, το είδος καταπόνησης, η επιφάνεια των ράβδων οπλισμού, η επικάλυψη και η θέση ράβδου σε σχέση με τη φορά σκυροδέτησης.

Παρακάτω γίνεται μια παράθεση δυο διαφορετικών πειραμάτων που δημοσιεύτηκαν σε δυο διαφορετικές χρονικές περιόδους (2006 και 1994 κατά σειρά αναφοράς).

4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ – ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

4.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑ Α (Κ. Γ. ΤΡΕΖΟΣ , Δ. Θ. ΣΑΓΙΑΣ , ΕΜΠ 2006) [8]

Για τη πραγματοποίηση του πρώτου πειράματος που διεξήχθη στο ΕΜΠ χρησιμοποιήθηκαν 48 δοκίμια οπλισμένου σκυροδέματος διαστάσεων 20 × 20 × 25 cm τα οποία έφεραν διαμπερή ράβδο χάλυβα Φ10 ή Φ16, θερμάνθηκαν σε

θερμοκρασίες που κυμαίνονταν από 200 °C – 800 °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 $\tau_{\max,0} = 18,14 \text{ MPa}$.

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 4.1). 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 Φ10 και Φ16 εικάστηκε από τους ερευνητές ότι οφείλεται σε σφάλμα κατά την εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας είτε σε διαφοροποίηση του μηχανισμού αστοχίας.

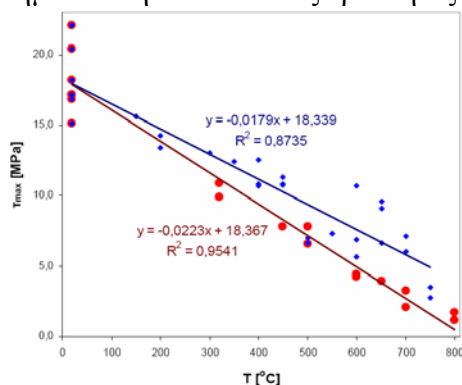
Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ήδη στους 500 °C χάνεται η μισή αντοχή συνάφειας.

4.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑ Β (1994) [7]

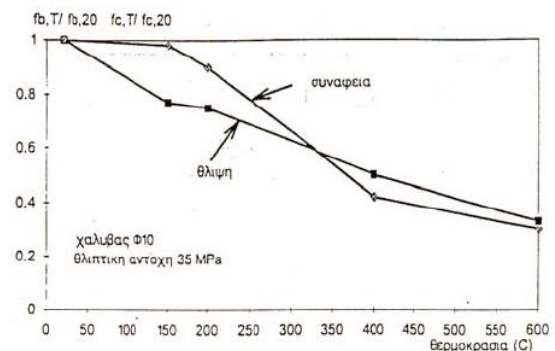
Στο παλαιότερο πείραμα (δημοσιευμένο στο 11^ο συνέδριο του TEE, 1994) χρησιμοποιήθηκαν τρεις ποιότητες αντοχής σκυροδέματος (22,5 , 30 και 35 MPa). Τρεις διαφορετικοί διάμετροι ράβδων οπλισμού (Φ8, Φ10, Φ12) με επικάλυψη 20 mm μεταξύ κέντρου ράβδου οπλισμού και επιφάνειας δοκιμών και πέντε επίπεδα θερμοκρασιών 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 7 , Σχήμα 8) για σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 35 MPa, όπως δημοσιεύτηκαν από τους ερευνητές.



Σχήμα 7. τ_{\max} - T πειράματος A [8].



Σχήμα 8. τ_{\max} - T πειράματος B [7].

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.).

5. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Ο. Σ. ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων στις υψηλές θερμοκρασίες είναι συνάρτηση όχι μόνο των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί αλλά και των διαστάσεων, του τρόπου σύνδεσης και συνεργασίας τους με τα άλλα φέροντα στοιχεία, του χρόνου έκθεσης καθώς και των θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς.

5.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Μια από τις συνηθισμένες βλάβες είναι η απόσχιση – αποφλοίωση των υποστυλωμάτων, φαινόμενο που εμφανίζεται εντονότερα στις ακμές και προκαλείται από την διαστολή του χάλυβα οπλισμού. 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 κάτι 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 δεν καταρρέει. Έχει εκτιμηθεί ότι:

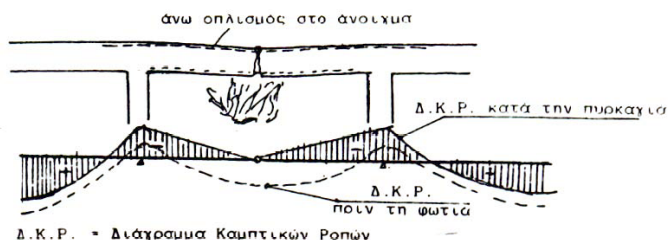
- Υποστυλώματα με διατομή πάνω από 40 × 40 cm αντέχουν πλήρως σε πυρκαγιά 1^{1/2} ώρα με το φορτίο του στατικού υπολογισμού.
- Υποστυλώματα διατομής 25 × 25 cm αντέχουν πλήρως σε πυρκαγιά 1 ώρας.
- Πρόβλημα υπάρχει για υποστυλώματα διαστάσεων 20 × 20 cm, που κατά τη πυρκαγιά δε καταστρέφονται από υπέρβαση αντοχής σε θλίψη αλλά από λυγισμό.

Συμπερασματικά, πρόσθετη επέμβαση μετά τα πυρκαγιά χρειάζεται κατά κανόνα μόνον σε υποστυλώματα κάτω των 25 cm ^[5].

5.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΚΩΝ

Σημαντικό ρόλο στην αντοχή σε πυρκαγιά παίζουν το πλάτος διατομής της δοκού, το βάθος του οπλισμού από την επιφάνεια και η ύπαρξη πυκνού επιφανειακού οπλισμού (συνδετήρων). Ουσιαστική σημασία έχει το σύστημα στατικής λειτουργίας της δοκού : αμφιέρειστες δοκοί ή πλαίσια είναι ασφαλέστερα, γιατί από τη θερμοκρασία προσβάλλεται ο κάτω οπλισμός (ανοιγμάτων), ενώ στις στηρίξεις ο οπλισμός είναι κοντά στο δάπεδο (του υπερκείμενου ορόφου), όπου κυκλοφορεί ο εισερχόμενος αέρας και οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες. Έτσι εάν ο οπλισμός των ανοιγμάτων φθάσει στο όριο διαρροής θα γίνει ανακατανομή των ροπών με αύξηση των ροπών στήριξης , τις οποίες ο εκεί ψυχρότερος οπλισμός είναι ικανός να αναλάβει . Για το λόγο αυτό ένα καλό μέτρο αύξησης της ικανότητας των συνεχών δοκών είναι η συνέχιση μέρους των ράβδων στο άνοιγμα ^[5].

Ακόμα και στη περίπτωση ολοκληρωτικής θραύσης (δημιουργία πλαστικής άρθρωσης που επέρχεται όταν $M_{max} = M_{pl}$) της δοκού στο μέσο του ανοίγματος, σύμφωνα με την πλαστική θεωρία των κατασκευών, είναι δυνατή η αλλαγή του στατικού συστήματος και τα δυο μισά της πρώην συνεχούς δοκού θα δουλέψουν χωριστά ως πρόβολοι, όπως δείχνει το σχήμα 9.



Σχήμα 9. Μεταβολή στατικού συστήματος δοκού συνεχών ανοιγμάτων σε λειτουργία προβόλων μετά τη δημιουργία πλαστικής άρθρωσης^[5].

5.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΛΑΚΩΝ

Συνήθεις βλάβες στις πλάκες εμφανίζονται στο κάτω πέλμα των άνω πλακών του φλεγόμενου ορόφου 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 τη φάση εισβολής της θερμότητας (περίπου 30 λεπτά) η μετρηθείσα θερμοκρασία άνω παρειάς ήταν 200 °C – 300 °C χαμηλότερη από αυτή της κάτω παρειάς.

Οι βλάβες αυτές αφορούν μεγάλα βέλη κάμψης, ρωγμές και πιθανόν και το κίνδυνο κατάρρευσης^[2].

Για την επαύξηση της αντοχής πλακών συνεχών ανοιγμάτων, καλό είναι να τοποθετούνται και στα ανοίγματα οπλισμοί στο πάνω μέρος κατ' επέκταση μέρους του οπλισμού στηρίξεων, όπως αναφέρθηκε για τις δοκούς (ανακατανομή ροπών)^[1].

5.4 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

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

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

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].

6. ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Οι βλάβες που παρουσιάζονται στα δομικά στοιχεία λόγω της έκθεσής 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^{[21][9]}.

- Το σκυρόδεμα υπόκειται λόγω εμποδιζόμενης θερμικής διαστολής σε τάσεις εξαναγκασμού και θραύεται.
- Ο χάλυβας χάνει την αντοχή του λόγω της θερμότητας και μηκώνεται 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 με μορφή έκρηξης, μέσα στο πρώτο τέταρτο της ώρας της προσβολής. Το φαινόμενο αυτό 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.ά.) ή έχει μία όψη προς ψυχρό χώρο ή την ύπαιθρο, οπότε συμπυκνώνεται σ' αυτό η υγρασία.

- Στο σκυρόδεμα αναπτύσσονται ανομοιόμορφες θερμικές τάσεις με μερική καταστροφή του, λόγω επίδρασης του νερού κατάσβεσης. Το τελευταίο προκαλεί μεγάλες διαταραχές μιας και η απότομη ψύξη δημιουργεί τάσεις στο σκυρόδεμα (ιδιαίτερα σε θερμοκρασίες άνω των 300°C).
- Πιθανή επικάλυψη χλωριδίων λόγω καύσης στοιχείων PVC και τήξης της εξηλασμένης 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 μιας 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 τη διάρκεια της πυρκαγιάς).
- Πιθανή θραύση, ίσως και κατάρρευση δομικών στοιχείων.



Εικόνα 1. Βλάβες δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ^{[19][15][16]}.

7. 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.

7.1 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.

7.2 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 η θλιπτική τους αντοχή ανάγεται σε αντοχή κύβου $20 \times 20 \times 20$. Να σημειωθεί, ότι τα σημεία πυρινοληψίας δε θα πρέπει να είναι σε κρίσιμες διατομές γιατί έτσι αποφεύγεται η περαιτέρω 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.

8. ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Οι μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης που προτείνονται σε κτίρια βλαμμένα από πυρκαγιά περιλαμβάνουν, κατά το μεγαλύτερο μέρος τους, τους συνήθεις τρόπους αποκατάστασης και ενίσχυσης. Αυτοί δίνονται επιγραμματικά παρακάτω ^[6].

- Έγχυτο σκυρόδεμα
- Εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Συγκόλληση με εποξειδικές κόλλες
- Επικολλητά ελάσματα
- 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 ιών 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 φαινόμενου της εκρηκτικής απόσχισης.

- Χρήση νέας τεχνολογίας πολυμερών (Asota AFC). Τα πολυμερή αυτά, τα οποία κατασκευάζονται σε σωληνοειδή μορφή, μέσω τις ιδιότητας 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^[18].

Παρακάτω παραθέτουμε ένα παράδειγμα αποκατάστασης ενός κτιρίου μετά από πυρκαγιά προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η διαδικασία αποκατάστασης και η χρήση κάποιων από τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν.

8.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΜΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΤΙΣ ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ

Το τριώροφο κτίριο που στεγάζει το γενικό αρχηγείο ενόπλων δυνάμεων στις Φιλιππίνες (Σχήμα 10) έχει υποστεί τρεις σοβαρότατες πυρκαγιές. Η αποκατάσταση των βλαβών που προκάλεσε η τελευταία αποτελεί το αντικείμενο του παρόντος παραδείγματος.

Το κτίριο αποτελείται από τρεις πτέρυγες οι οποίες κατά τη μέθοδο αποκατάστασης θεωρήθηκαν στατικά ανεξάρτητες. Σε αυτό είχαν γίνει ήδη δυο προηγούμενες εργασίες επισκευής μια στη δυτική πτέρυγα που επλήγει από την πρώτη φωτιά και μια ανεξάρτητη της πρώτης στην ανατολική πτέρυγα που επλήγει από τη δεύτερη κατά χρονολογική σειρά.

Ο φέρον οργανισμός του κτιρίου αποτελούνταν αρχικά από γραμμικά μέλη οπλισμένου σκυροδέματος που στήριζαν ξύλινα δάπεδα. Μετά τις δυο αρχικές επισκευές αυτά αντικαταστάθηκαν με πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος. Επίσης, τα γραμμικά μέλη ενισχύθηκαν με πρόσθετους μανδύες σκυροδέματος και οπλισμών.

8.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ

Το κτίριο αφού επιθεωρήθηκε από έμπειρους μηχανικούς για τρεις μήνες αποφασίστηκε η επισκευή και όχι η κατεδάφισή του. Το κόστος της επισκευής, το οποίο υπολογίστηκε ως το 34% του συνολικού κόστους κατεδάφισης και ανέγερσης νέου, το μικρό διάστημα των εργασιών που υπολογίστηκε πέντε μήνες έναντι δεκαοκτώ που απαιτούσε η κατεδάφιση και η ανακατασκευή, η ιστορική του αξία καθώς και άλλοι πρακτικής φύσεως ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στη παραπάνω απόφαση. Παρ' όλα αυτά κρίθηκε σκόπιμη η κατεδάφιση του οπίσθιου τμήματος της κεντρικής πτέρυγας αφού είχε υποστεί σοβαρότατες ζημιές από τις προηγούμενες πυρκαγιές και δεν είχε ποτέ επισκευαστεί.

Στο κτίριο αποφασίστηκε να γίνει και ενίσχυση του φέροντος οργανισμού για να ικανοποιηθούν οι διατάξεις του αντισεισμικού κανονισμού, όμως αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας και γι' αυτό δε θα γίνει περαιτέρω αναφορά.

8.3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΚΑΙ ΕΝΑΠΟΜΕΝΟΥΣΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ

Η διαδικασία αποτίμησης περιλάμβανε καταστροφικές και μη, μεθόδους. Έγινε πυρινοληψία από σημεία που εκτιμήθηκε πως είχαν υποστεί σημαντικές βλάβες αφού προηγήθηκε δοκιμή με κρουσίμετρο. Για τις ανάγκες των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν και δείγματα χάλυβα τα οποία ήταν εκτεθειμένα στη φωτιά.

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι ιδιότητες των χάλυβων, οι αποστάσεις τους και οι διατομές τους, αφαιρέθηκε η επικάλυψη σκυροδέματος ώστε να γίνουν ευδιάκριτοι.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι το αρχικό σκυρόδεμα (αυτό δηλαδή που χρησιμοποιήθηκε κατά την κατασκευή του κτιρίου και στο εξής θα

αναφέρεται με τον όρο «αρχικό») στο κάτω μέρος των δοκών ήταν σε πολύ κακή κατάσταση, ενώ το πάνω μέρος στο οποίο προστέθηκε νέο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια των δυο παλαιότερων επισκευών ήταν, ακόμη, σε καλή κατάσταση. Εκτιμήθηκε, ότι η υποβάθμιση της ποιότητας του αρχικού σκυροδέματος επήλθε λόγω της αλλεπάλληλης έκθεσης του σε πυρκαγιές.

8.3.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Κατά τη μελέτη αποκατάστασης αμελήθηκε η συνεισφορά του παλαιού σκυροδέματος των υποστυλωμάτων και η διατομή τους θεωρήθηκε κυβοτοειδής. Επίσης, μεταξύ παλαιών και νέων μελών προστέθηκαν εγκάρσιοι οπλισμοί προκειμένου να εξασφαλιστεί καλύτερα η συνεργασία τους στα πλαίσια της αντισεισμικής ενίσχυσης.

Στις δοκούς (Σχήμα 13) αφαιρέθηκε όλο το αρχικό σκυρόδεμα και τοποθετήθηκε νέο. Στις πλάκες, τοποθετήθηκε νέο σκυρόδεμα το οποίο θα συνεργαζόταν με το είδη υπάρχον ενώ στα υποστυλώματα (Σχήμα 11, Σχήμα 12) αφαιρέθηκε η επικάλυψη των οπλισμών και προστέθηκαν νέοι διαμήκεις οπλισμοί και συνδετήρες για τον εγκιβωτισμό του σκυροδέματος.

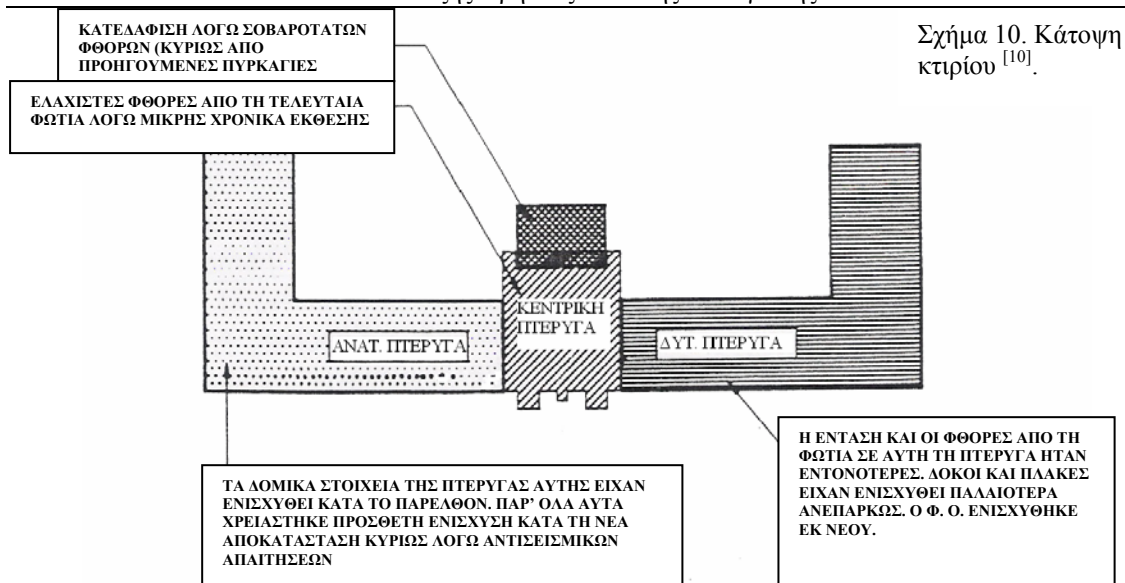
Να τονιστεί πως κατά τη διάρκεια των επισκευών έγινε προσωρινή υποστύλωση, όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο, προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες λόγω της αποδυνάμωσης του φέροντος οργανισμού.

Μεγάλη έμφαση δόθηκε στη προετοιμασία της διεπιφάνειας παλαιού και νέου σκυροδέματος όπου χρησιμοποιήθηκαν ειδικές εποξειδικές κόλλες. Αρχικά, έγινε απομάκρυνση της παλαιάς επιφάνειας σκυροδέματος και καθαρισμός των οπλισμών με αμμοβολή υγρού τύπου. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκε νεροβολή για την απομάκρυνση του προβληματικού σκυροδέματος και των χαλαρών κόκκων και έγινε εκτράχυνση της επιφάνειας ώστε να χρησιμοποιηθούν οι εποξειδικές κόλλες.

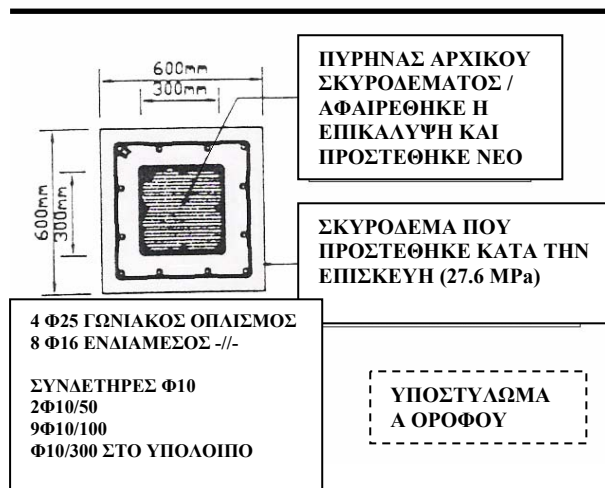
Εδώ σημειώνουμε πως έγινε χρήση έγχυτου σκυροδέματος και όχι εκτοξευόμενου αφού το τελευταίο κρίθηκε οικονομικά ασύμφορο. Παρ' όλα αυτά τονίζουμε πως η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ενδείκνυται για αποκαταστάσεις κτιρίων βλαμμένων από πυρκαγιά αφού οι περισσότεροι τύποι βλαβών επιδιορθώνονται καλά με αυτή τη μέθοδο (απόσχιση επικάλυψης σκυροδέματος ή καταστροφή της).

Η σκυροδέτηση έγινε σε δυο στάδια για κάθε υποστύλωμα για να επιτευχθεί η μονολιθικότητα των κόμβων. Κάθε στάδιο περιλάμβανε σκυροδέτηση από το μέσο του ενός ορόφου έως το μέσο του άλλου. Για τη πραγματοποίηση του σκοπού αυτού ανοίχθηκαν τρύπες στις πλάκες στις περιοχές των κόμβων. Το σκυρόδεμα κατασκευάστηκε με χρήση πλαστικοποιητών προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αντοχή. Αυτό είχε ως συνέπεια τη μείωση του νερού πράγμα ευεργετικό τόσο για τη μείωση των συστολών ξήρανσης όσο και για την πυρασφάλεια της κατασκευής όπως αναφέρθηκε παραπάνω (αποφυγή του φαινόμενου εκρηκτικής απόσχισης). Τέλος, λόγω της μικρής περιεκτικότητας σε νερό, ακολούθησε πολύ προσεκτική υγρή συντήρηση έως την ανάπτυξη της αντοχής του. Η διαδικασία της αποκατάστασης άρχισε από τη στέγη προκειμένου να μη διακοπούν οι εργασίες στους κάτω ορόφους λόγω βροχοπτώσεων.

Στο Σχήμα 14 φαίνεται η συνολική εικόνα της αποκατάστασης προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η διαδικασία ^[10].



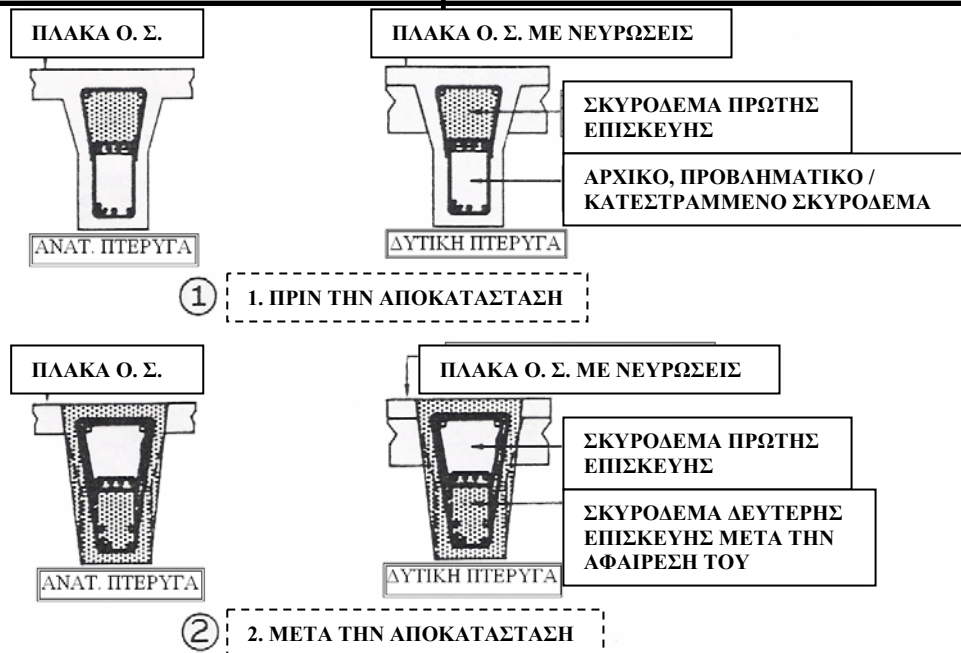
Σχήμα 10. Κάτοψη κτιρίου ^[10].



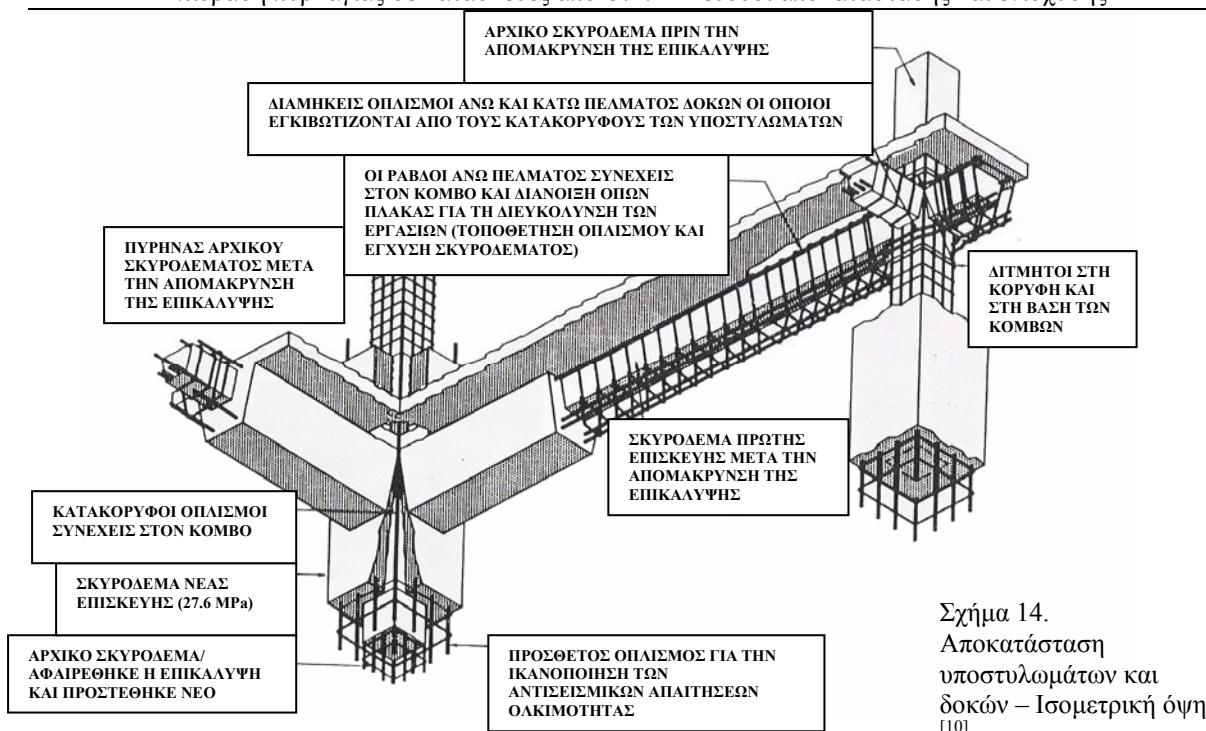
Σχήμα 11. Υποστύλωμα Α' ορόφου ^[10].



Σχήμα 12. Υποστύλωμα Β' και Γ' ορόφου ^[10].



Σχήμα 13. Δοκοί πριν και μετά την αποκατάσταση ^[10].



Σχήμα 14. Αποκατάσταση υποστυλωμάτων και δοκών – Ισομετρική όψη [10]

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραπάνω εργασία μας οδηγεί στο να εξάγουμε συμπεράσματα τα οποία τοποθετούνται και διαχωρίζονται σύμφωνα με τη δομή της εργασίας.

- Η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία σε ένα χώρο που φλέγεται είναι, κατά κανόνα, υψηλότερη από αυτή στο εσωτερικό των υλικών τα οποία προσβάλλει.
- 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. Ανθεκτικότερα όλων είναι τα ελαφροσκυροδέματα.
- Οι χάλυβες μέχρι και την θερμοκρασία των 200 °C δεν έχουν καμία απώλεια της αντοχής τους. Σε θερμοκρασία έως και 500 °C εμφανίζεται υποβάθμιση των αρχικών τους 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.
- Η συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμών μειώνεται στο μισό σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 400 °C (συντηρητικό όριο που εξήχθη μετά τη σύγκριση των δυο πειραμάτων που αναφέρθηκαν).
- 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 μεθόδους παθητικής πυρασφάλειας που αναφέρθηκαν παραπάνω (κεφάλαια 5.4 , 8).
- Σημαντικότερη κρίνεται η εφαρμογή μέτρων ενεργητικής πυροπροστασίας (συστήματα αυτόματης πυρόσβεσης, «πυροσβεστικές φωλιές» κ.τ.λ.) αφού παραδείγματα από πραγματικές πυρκαγιές έχουν αποδείξει πως αυτά είναι σωτήρια όχι μόνο για την ασφάλεια των πολιτών αλλά και για το ίδιο το κτίριο και θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη από το μηχανικό στη φάση του σχεδιασμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Θ. Π. Τάσσιος, Γ. Δεοδάτης, **Πρακτικός σχεδιασμός κατασκευών από Ωπλ. Σκυρόδεμα έναντι πυρκαγιάς**, σελ. VII, 14, 23 – 24, ΕΜΠ, Αθήνα, 1984
- [2] R. Rybicki, **Βλάβες δομικών έργων, κατασκευές οπλισμένου μπετόν**, Τόμος II, σελ. 130-144, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, 1981
- [3] Ιωάννης Σ. Βλάχος, **Συμβολή στην πρόληψη και αποκατάσταση ζημιών από φωτιά και σεισμό**, σελ. 19, 21-22, Αθήνα, 1990
- [4] **Fire safety in residential buildings – Building performance series No 2**
http://www.cwc.ca/publications/building_performance/fire_safety_res/design.php
- [5] Ε. Κωνσταντίνου, Α. Λαμπροπούλου, **Πυρκαγιά - Μέθοδοι επισκευής - Ενίσχυσης**, 12ο φοιτητικό συνέδριο επισκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, 2006
- [6] Σ.Η. Δρίτσος, **Ενισχύσεις/επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα**, Πάτρα, 2006
- [7] Ε. Βαδάκης, Ι. Παπαγιάννη, **Επιρροή της αντοχής του σκυροδέματος στη συνάφεια χάλυβα-σκυρ/τος μετά από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες**, 11^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, σελ. 302 -312, ΤΕΕ, Ελληνικό τμήμα σκυροδέματος, Κέρκυρα, 18 – 20 Μαΐου 1994,
- [8] Κ. Γ. Τρέζος, Δ. Θ. Σαγιάς, **Επίδραση υψηλών θερμοκρασιών στη συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος**, 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, Ελληνικό τμήμα σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, 25 – 27 Οκτωβρίου 2006,
- [9] Χ. Στυλιανίδης, **Επίδραση της πυρκαγιάς σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα**, 3ο φοιτητικό συνέδριο επισκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, 1997
- [10] E.M. Morales, **Evaluation and rehabilitation of concrete and innovations in design**, Proceedings: ACI International Conference, σελ. 1458 – 1472, Hong Kong, 1991
- [11] **ISO P834 Fire resistance tests - Elements of building construction Part 1: General requirements**, International Organization for Standardization (ISO), 1999
- [12] **Eurocode 2: Design of concrete structures**, Part 10: Structural Fire Design
- [13] **Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων 2000**, Κεφ. 3.6 Χαρακτηριστικά χαλύβων – Συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες, Αθήνα, 2000
- [14] **Κανονισμός πυροπροστασίας νέων κτιρίων - προεδρικό διάταγμα υπ' αριθμ. 71/88**, Άρθρο 14: Δείκτες πυραντίστασης δομικών στοιχείων
- [15] **National Research Council of Canada**, irc.nrc-cnrc.gc.ca/images/fr/HSC%20Columns%20after%20Fire%20Resistance%20Tests.JPG
- [16] **The Crossroads Village**, http://village.crossroadsint.org/includes/repairs/107-0719_IMG.JPG?display=small
- [17] S. Lehner, **European fire classification of construction products, new test method “SBI”, and introduction of European classification system into German building regulations**, Otto-Graf-Journal, Vol. 16, 2005, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart, http://www.mpa.uni-stuttgart.de/publikationen/otto_graf_journal/ogj_2005/beitrag_08_lehner.pdf
- [18] Asota, **Anti Fire Crack/Micro Crack Preventer – The latest of fibres for fibre concrete generation**, Asota, Anti Fire Cracking Systems, http://www.asota.com/redsyspix/download/afc_englisch1.pdf
- [19] **21 Century Safety Issues**, <http://www.firetrain.com/images/Las%20Vegas%20City%20spalling.gif>