

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

ΚΑΚΚΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται συνοπτικά η συνολική επίδραση που έχει η πυρκαγιά σε κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Συγκεκριμένα εξετάζεται ξεχωριστά η πυρκαγιά ως φυσικό φαινόμενο, η μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών τόσο του σκυροδέματος, όσο και του χάλυβα οπλισμού καθώς και οι βλάβες, που παρατηρούνται στις κατασκευές λόγω της πυρκαγιάς. Τέλος παρουσιάζονται κάποιοι ενδεικτικοί τρόποι για την αποτίμηση της εναπομένουσας φέρουσας ικανότητας σε κτιριακές κατασκευές μετά την πυρκαγιά και προτείνονται κατάλληλοι τρόποι επισκευής και ενίσχυσης αυτών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η πυρκαγιά οδηγεί στην μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών, την ανακατανομή της έντασης και την εκδήλωση βλαβών, επηρεάζοντας έτσι σημαντικά την στατική επάρκεια της κατασκευής. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα η πυρκαγιά προκαλεί ακόμη και την μερική ή ολική κατάρρευση του δομήματος. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε το μέγεθος της καταστροφής και να προβούμε στην αποκατάσταση των ζημιών του φέροντα οργανισμού της.

Γενικότερα μέχρι τώρα αμελούνταν ο σχεδιασμός των κατασκευών για πυρκαγιά και αυτό γιατί το σκυρόδεμα από μόνο του προσφέρει σχετικά ικανοποιητική προστασία έναντι πυρκαγιάς [5]. Όμως η έναρξη εφαρμογής των Ευρωκωδίκων στην κατασκευή νέων έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα συνοδεύεται και από την εντελώς νέα – για την Ελληνική μελετητική πρακτική – απαίτηση υποχρεωτικού σχεδιασμού όλων των κτιρίων έναντι πυρκαγιάς. [4]

Στην φάση του σχεδιασμού της νέας κατασκευής, ο μελετητής πρέπει να λάβει μέτρα για την περίπτωση πυρκαγιάς, τόσο προληπτικά όσο και κατασταλτικά. Τα μέτρα αυτά στο σύνολό τους αποτελούν την παθητική και την ενεργητική πυροπροστασία. Τα μέτρα παθητικής πυροπροστασίας αφορούν την δομική πυροπροστασία του κτιρίου και είναι ενσωματωμένα στην αρχιτεκτονική και στατική σχεδίαση και κατασκευή αυτού. Μερικά από τα παραπάνω μέτρα είναι επιλογή μη καιγόμενων υλικών, η επάρκεια και αντοχή των δομικών στοιχείων του κτιρίου στην πυρκαγιά για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να είναι δυνατή η έγκαιρη εκκένωσή του και τέλος η κατάλληλη σχεδίαση των οδεύσεων διαφυγής και των εξόδων κινδύνου.

Από την άλλη πλευρά, η ενεργητική πυροπροστασία ενός κτιρίου αποβλέπει στην αντιμετώπιση και καταστολή της πυρκαγιάς σε περίπτωση που αυτή εκδηλωθεί. Στα μέτρα ενεργητικής πυροπροστασίας περιλαμβάνονται (ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του κτιρίου) η τοποθέτηση φορητών μέσων πυρόσβεσης (πυροσβεστήρες), η τοποθέτηση χειροκίνητου συστήματος συναγερμού (κομβία συναγερμού), η τοποθέτηση μονίμου υδροδοτικού πυροσβεστικού δικτύου (πυροσβεστικές φωλιές) και τέλος η τοποθέτηση συστήματος καταιονητήρων (sprinklers) [1].

2. Η ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΩΣ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Αρχικά ορίζουμε τον όρο του πυροδιαμερίσματος, που είναι κάθε χώρος ο οποίος περιβάλλεται απ' όλες τις πλευρές είτε από τοίχους, είτε από πόρτες και παράθυρα. Μια τυπική πυρκαγιά σε ένα πυροδιαμέρισμα αποτελείται από τα εξής στάδια:

❖ Επώαση

Στο στάδιο αυτό, το οποίο δεν αποτελεί κίνδυνο ασφάλειας, περιλαμβάνει την έναρξη της πυρκαγιάς κατά την οποία εκπέμπεται σημαντική ποσότητα καπνού, η οποία συσσωρεύεται στην οροφή χωρίς έντονη φλόγα.

❖ Φούντωμα

Μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος παρατηρείται φούντωμα της πυρκαγιάς που σηματοδοτεί την ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας. Σε αυτήν την φάση ουσιαστικά το συσσωρευμένο στην οροφή στρώμα αερίων προκαλεί την ανάφλεξη της διαθέσιμης καύσιμης ύλης στο πυροδιαμέρισμα.

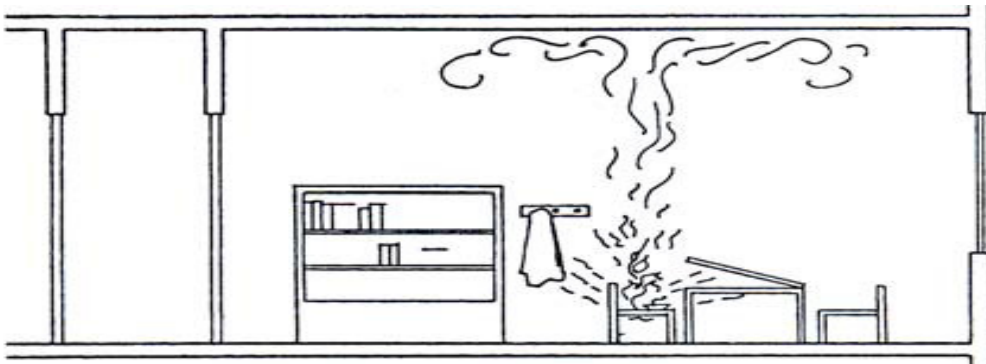
❖ Πλήρης Ανάπτυξη

Όλη η καύσιμη ύλη του πυροδιαμερίσματος καίγεται ενώ οι φλόγες και τα αέρια μεταφέρονται μέσω ανοιγμάτων σε παρακείμενα πυροδιαμερίσματα.

❖ Απόσβεση

Η εξάντληση της καύσιμης ύλης συνοδεύεται με την απομάκρυνση των θερμών αερίων.

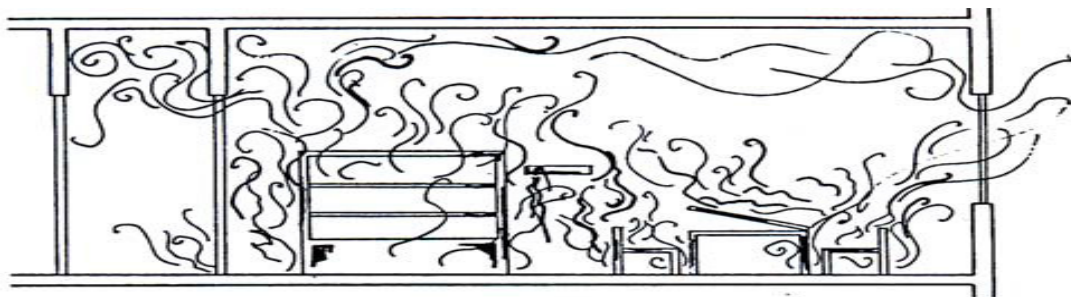
Το πρώτο στάδιο (φούντωμα) διαρκεί 15-30 λεπτά με τις θερμοκρασίες να ανέρχονται στους 800-900°C. Έπειτα παρατηρείται αύξηση των θερμοκρασιών στους 1000-1100°C, η οποία εξαρτάται από την ποσότητα των φλεγόμενων αντικειμένων. Τέλος, στο στάδιο της απόσβεσης, έχουμε ύφεση της πυρκαγιάς με αποτέλεσμα την έντονη μείωση των θερμοκρασιών [4],[6].



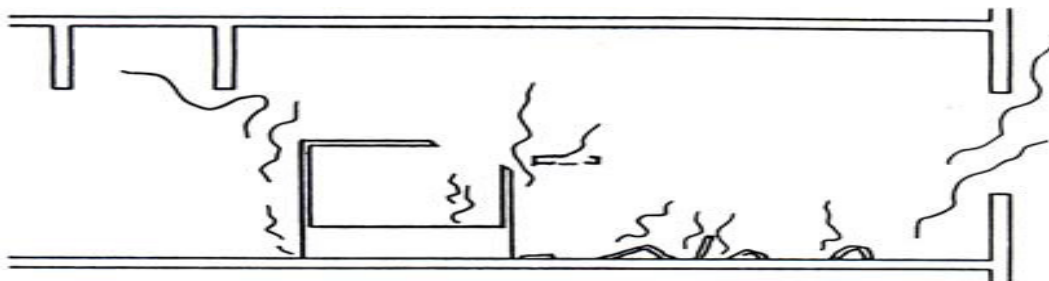
Εικόνα 1: Πρώτο στάδιο πυρκαγιάς (φούντωμα)[6]



Εικόνα 2: Δεύτερο στάδιο πυρκαγιάς (επώαση)[6]



Εικόνα 3: Τρίτο στάδιο πυρκαγιάς (πλήρης ανάπτυξη)[6]



Εικόνα 4: Τέταρτο στάδιο πυρκαγιάς (απόσβεση)[6]

3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η επίδραση της πυρκαγιάς στα δομικά μέλη μιας κατασκευής δεν μπορεί να προσδιοριστεί χωρίς την πρωταρχική ανάλυση και μελέτη της συμπεριφοράς των υλικών που απαρτίζουν την κατασκευή. Η παραπάνω ανάλυση είναι αναγκαία, αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι κανένα (δομικό) υλικό δεν παρουσιάζει απεριόριστη αντοχή στις θερμοκρασίες των συνήθων πυρκαγιών.

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η πυρκαγιά έχει άμεση επίδραση στις διάφορες μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Οι ιδιότητες αυτές (τάση διαρροής, μέτρο ελαστικότητας κτλ.) μεταβάλλονται διαφορετικά ανάλογα με το είδος της λειτουργίας που εξυπηρετεί το δομικό μέλος (υποστύλωμα, δοκός κτλ.), το είδος της καταπόνησης (εφελκυσμός, θλίψη κτλ) και τις διαστάσεις του δομικού στοιχείου. Οι κύριες ιδιότητες των υλικών που μεταβάλλονται κατά την πυρκαγιά παρουσιάζονται παρακάτω ξεχωριστά, τόσο για το σκυρόδεμα όσο και για τον χάλυβα οπλισμού.

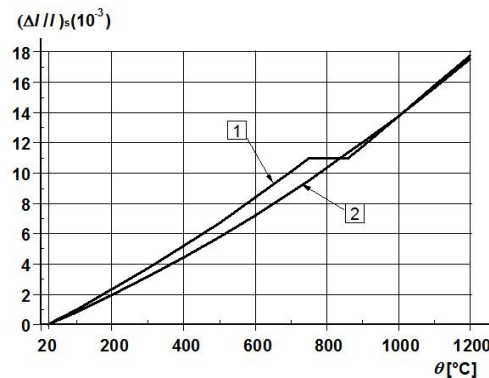
3.1 ΧΑΛΥΒΑΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο χάλυβας οπλισμού, αν και θεωρείται άκαυστο υλικό, δεν αντέχει επί πολύ ώρα τις υψηλές θερμοκρασίες μιας συνηθισμένης πυρκαγιάς. Πιο συγκεκριμένα σε εργαστηριακή δοκιμασία συνηθισμένου μαλακού χάλυβα, παρατηρήθηκε πως η αντοχή (σε εφελκυσμό) αυξάνει αρχικά, για θέρμανση μέχρι 250°C, για να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση στους 400°C, από όπου αρχίζει να πέφτει και στους 550°C φθάνει στην επιτρεπόμενη τάση, με τους συνηθισμένους συντελεστές ασφάλειας [10].

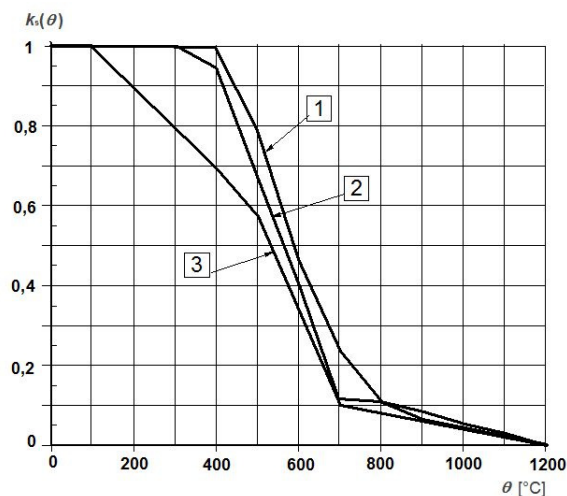
Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι κατά την έκθεση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζεται δυσμενώς από τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά κυρίως η εφελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση θραύσεώς τους. Λόγω των παραπάνω παραγόντων είναι αρκετά πιθανή και η πρόωρη εμφάνιση φαινομένων όπως ο ερπυσμός, η χαλάρωση, και η μεταβολή της μικροδομής του χάλυβα. 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 [2].

Τέλος ο χάλυβας, σαν οπλισμός του σκυροδέματος, πρέπει να έχει επαρκή επικάλυψη, σύμφωνα πάντα με τα όσα προβλέπουν οι κανονισμοί, γιατί τότε αποκτά αρκετά από τα πλεονεκτήματα του σκυροδέματος. Επίσης ο χάλυβας των προεντεταμένων κατασκευών, λόγω της ευαισθησίας του σε υψηλές θερμοκρασίες, πρέπει να προστατεύεται αρκετά και το κριτήριο αυτό ικανοποιείται μόνο αν τοποθετηθεί σε κατάλληλο βάθος από την επιφάνεια του σκυροδέματος [10].

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μεταβολές ορισμένων μηχανικών χαρακτηριστικών του χάλυβα κατά την έκθεση αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2.



Εικόνα 5: Θερμική επιμήκυνση χάλυβα, όπου καμπύλη [1] χάλυβας οπλισμού, καμπύλη [2] προεντεταμένος χάλυβας [7]



Εικόνα 2: Μειωτικός συντελεστής $k_s(\theta)$ επί της χαρακτηριστικής τάσης διαρροής (f_{yk}) εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (Κατηγορία N), όπου Καμπύλη [1] εφελκόμενος οπλισμός θερμής εξέλασης για παραμορφώσεις $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$, καμπύλη [2] εφελκόμενος οπλισμός ψυχρής κατεργασίας για παραμορφώσεις $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$ και καμπύλη 3 θλιβόμενος οπλισμός ή εφελκόμενος οπλισμός για παραμορφώσεις $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$ [7]

3.2 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

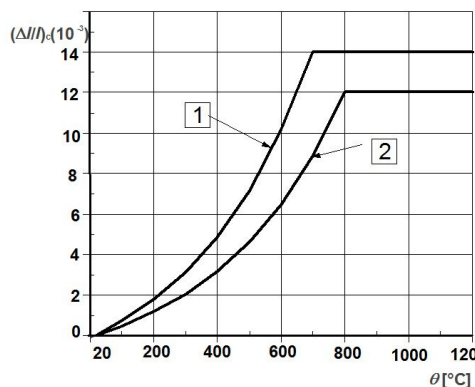
Όπως ήδη αναφέρθηκε, το σκυροδέμα είναι το καλύτερο από τα συνηθισμένα δομικά υλικά, από την άποψη συμπεριφοράς σε πυρκαγιά, για τους εξής λόγους:

- Τα δομικά στοιχεία από σκυροδέμα είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερης μάζας, από τα αντίστοιχα χαλύβδινα ή ξύλινα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση ανύψωσης της θερμοκρασίας τους προς το εσωτερικό της διατομής.
- Το μπετόν, ακόμη και σε ξηρό περιβάλλον, εμπεριέχει νερό, που συγκρατείται με τρεις τρόπους:
 - με φυσικές δυνάμεις, όπως είναι η ικανότητα των τριχοειδών πόρων να συγκρατούν νερό, ανάλογα με τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος,
 - με φυσικοχημικές δυνάμεις, όπως είναι οι τάσεις συνάφειας προς τους κόκκους των λίθινων υλικών, και
 - με χημικές δυνάμεις, όπως είναι το κρυσταλλικό νερό ενυδάτωσης του τσιμεντοπολτού.

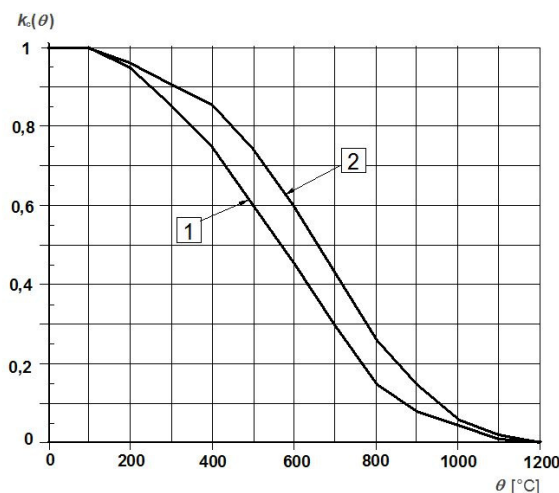
Κατά την προσβολή του από υψηλές θερμοκρασίες, το νερό εξατμίζεται, αρχικά στην επιφάνεια και στη συνέχεια βαθύτερα, όσο διαρκεί η πυρκαγιά. Κατά την εξάτμιση του απορροφά θερμότητα και έτσι καθυστερεί τη θέρμανση των εσωτερικών στρωμάτων. Ουσιώδης στόχος είναι, οι εξωτερικές στρώσεις (όπου ο τσιμεντοπολτός αποσυντίθεται στους 600°C), να μην αποκολληθούν και καταπέσουν. Σ' αυτό συντελεί σημαντικά η παρουσία πυκνού λεπτού οπλισμού (συνδετήρων ή μεταλλικού πλέγματος) που έχει τοποθετηθεί γι' αυτό το σκοπό.

Το είδος των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σκυροδέματος παίζει σημαντικό ρόλο. Τα ασβεστολιθικά αδρανή είναι τα καλύτερα, γιατί ο ασβεστόλιθος χάνει τις μηχανικές του ικανότητες στους 900°C, οπότε και αρχίζει η ασβεστοποίηση, με ταυτόχρονη έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (διαδικασία που απορροφά επίσης σημαντικά ποσά θερμότητας). Επίσης καλή συμπεριφορά δείχνουν οι σκωρίες υψικαμίνων (εφόσον βέβαια εκπληρώσουν τους όρους καταλληλότητας) για να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή στην παραγωγή μπετόν. Αντίθετα τα πυριτικά αδρανή (συνήθως χαλαζίτης από κοιτάσματα φυσικού αμμοχάλικου), που κυρίως χρησιμοποιούνται στην κεντρική Ευρώπη, παρουσιάζουν διόγκωση και σπάζουν όταν θερμανθούν στους 530°C. Πάντως αυτά τα φαινόμενα αρχίζουν να εμφανίζονται μετά το πρώτο ημίωρο, τουλάχιστον σε συνηθισμένης έντασης πυρκαγιάς.

Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι η έκθεση του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες έχει ως αποτέλεσμα την 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. Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μεταβολές ορισμένων μηχανικών χαρακτηριστικών του χάλυβα κατά την έκθεση αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες [10].



Εικόνα 7: Συνολική θερμική μύκηση σκυροδέματος, όπου καμπύλη [1] αντιστοιχεί σε σκυροδέμα με πυριτικά αδρανή και καμπύλη [2] σε ασβεστολιθικά αδρανή[7]



Εικόνα 8: Μειωτικός συντελεστής $k_c(\theta)$ επί της χαρακτηριστικής αντοχής (f_{ck}) του σκυροδέματος, όπου καμπύλη [1] αντιστοιχεί σε σκυρόδεμα με πυριτικά αδρανή και καμπύλη [2] σε ασβεστολιθικά αδρανή[7]

4. ΒΛΑΒΕΣ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΛΗ

4.1 ΑΙΤΙΑ ΒΛΑΒΩΝ

Οι αιτίες των ζημιών στον φέροντα οργανισμό είναι συνήθως οι εξής:

1. Υπέρμετρη επιμήκυνση και απώλεια αντοχής οπλισμού λόγω της θέρμανσης.
2. Θραύση σκυροδέματος λόγω της άσκησης τάσεων εξαναγκασμού, που δημιουργούνται επειδή το σκυρόδεμα έχει μικρότερη θερμική διαστολή από τους οπλισμούς
3. Έκρηξη του μπετόν λόγω μεγάλης ογκομετρικής μεταβολής των μελών του.
4. Αστοχία της θλιβόμενης ζώνης καμπτόμενων φορέων λόγω υπερβολικής μήκυνσης του χάλυβα.
5. Ανάπτυξη ανομοιομόρφων θερμικών τάσεων στο σκυρόδεμα και μερική καταστροφή του λόγω επίδρασης του νερού κατάσβεσης [6].

4.2 ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΒΛΑΒΩΝ

Η πυρκαγιά προκαλεί διάφορες χαρακτηριστικές αλλοιώσεις των υλικών, τήξεις και καύσεις. Πέραν αυτών, οι κύριες και τυπικές βλάβες λόγω πυρκαγιάς, μπορούν να συνομισθούν στις ακόλουθες:

- Πρόωρες αποκολλήσεις και καταπτώσεις επιχρισμάτων και οροφοκονιαμάτων, λόγω πλημμελούς πρόσφυσης και μεγάλου πάχους.
- Απομειώσεις διατομών των φερόντων στοιχείων λόγω απολεπίσεων, αποφλοιώσεων και αποκολλήσεων των εξωτερικών στοιβάδων, 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 θερμικών παραμορφώσεων παραμένει ως μόνιμο(εμπειρικά, έως και 50%).
- Λόγω των έντονων παραμορφώσεων (σε συνδυασμό με την απομείωση των διατομών και των αντοχών), παρατηρούνται σημαντικές καμπτικές καθώς και διατμητικές βλάβες. Οι πιο τυπικές διατμητικές βλάβες είναι οι λοξές ρωγμές σε μεσαίες εδράσεις συνεχών δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα (και λόγω ανακατανομής της έντασης), καθώς και τα θερμικά

«λακτίσματα», δηλαδή, οι έντονες λοξές ρωγμές σε ισχυρά και δύσκαμπτα κατακόρυφα στοιχεία [2].

4.3 ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τον πρόχειρο οδηγό, που αφορά την απομείωση της φέρουσας ικανότητας κτιρίων από οπλισμένο σκυροδέμα, υπάρχουν πέντε στάθμες βλάβης, οι οποίες αντιστοιχούν γενικώς σε διαθέσιμα περιθώρια αντιστάσεων των καμένων δομικών στοιχείων καθώς και σε απαιτούμενα μέτρα επισκευών και ενισχύσεων, ανάλογα την βαρύτητα της βλάβης. Οι στάθμες αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

✓ Βλάβες βαθμού Α (ασήμαντες)

Εδώ παρατηρούνται εκτινάξεις επιχρισμάτων, περιορισμένες απολεπίσεις και αποφλοιώσεις του σκυροδέματος ενώ παράλληλα εμφανίζεται και καπνιά.

✓ Βλάβες βαθμού Β (ελαφρές)

Σε αυτήν την στάθμη έχουμε εκτινάξεις σκυροδέματος, απολεπίσεις και αποφλοιώσεις. Η διαφοροποίηση σε σχέση με την προηγούμενη στάθμη είναι ότι παρατηρούνται εκτεταμένες επιφανειακές μικρορηγματώσεις. Γενικά όμως οι παραμορφώσεις δεν είναι αισθητές, και γενικά δεν έχουμε αποκολλήσεις οπλισμών, παρά μόνο μερικά γυμνά μικρά μήκη. Τέλος εμφανίζεται κάπνα ενώ το σκυροδέμα αρχίζει και παίρνει ροζ χρώμα.

✓ Βλάβες βαθμού Γ (σοβαρές)

Στην συγκεκριμένη στάθμη παρατηρούνται εκτεταμένες εκτινάξεις και αποκολλήσεις επικάλυψης σκυροδέματος, οι οποίες μπορεί να φτάσουν και σε μεγαλύτερο βάθος. Γενικώς, δεν έχουμε αποκολλήσεις οπλισμών, έχουμε όμως λυγισμό μέχρι το πολύ δύο ράβδων οπλισμού. Επίσης αναφέρεται ότι το χρώμα του σκυροδέματος είναι γκρι ή ροζ.

✓ Βλάβες βαθμού Δ (βαριές)

Σε αυτήν την στάθμη οι παραμορφώσεις των υποστυλωμάτων είναι πλέον αισθητές, ενώ ταυτόχρονα έχουμε εκτεταμένες αποκολλήσεις οπλισμών. Πρακτικώς, όλες οι ράβδοι οπλισμού είναι εκτεθειμένες, ενώ μερικές (έως αρκετές) είναι και λυγισμένες. Πλέον το χρώμα του σκυροδέματος είναι φαιό ή κιτρινωπό.

✓ Βλάβες βαθμού Ε (πολύ βαριές)

Εδώ το υποστυλώμα έχει φτάσει την οριακή του κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα οι παραμορφώσεις του στοιχείου είναι αρκετά έντονες, ενώ ταυτόχρονα παρατηρούνται πολλαπλές ρηγματώσεις, έντονες αποφλοιώσεις (και αποσύνθεση) σκυροδέματος, καθώς και αποκολλήσεις οπλισμών, με τις ράβδους να παρουσιάζονται λυγισμένες ή ακόμα και κομμένες. Βάσει των παραπάνω είναι προφανές ότι υπάρχει τοπική ή γενικότερη αποδιοργάνωση του δομικού στοιχείου, ενώ σε πολλές περιπτώσεις το στοιχείο έχει θραυτεί.[3]

Τα υποστυλώματα είναι αυτά που προσβάλλονται λόγω της θέσης τους περισσότερο από τη φωτιά, με εμφάνιση απόσχισης του σκυροδέματος πλησίον των ακμών της διατομής τους. Αν και το γεγονός αυτό από μόνο του εκθέτει άμεσα τις ράβδους του οπλισμού σε υψηλή θερμοκρασία με όλες τις συνεπαγόμενες επιπτώσεις μείωσης της αντοχής τους, εν τούτοις δεν οδηγεί σε κατάρρευση λόγω των μεγάλων διαστάσεων που υιοθετούνται σήμερα για τα στοιχεία αυτά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα υποστυλώμα τετραγωνικής διατομής πλευράς 0.40m μπορεί να υποστεί χωρίς επιπτώσεις υψηλές θερμοκρασίες για 90 λεπτά της ώρας [4].

4.4 ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΙΣ ΔΟΚΟΥΣ

Για βλάβες βαθμού Α, Β και Γ στις δοκούς παρατηρούνται ελαφρές ρωγμές. Παράλληλα τα βέλη κάμψης των δοκών δεν είναι αισθητά, δεν έχουμε αποκολλήσεις ράβδων οπλισμού ενώ μερικές ράβδοι είναι εκτεθειμένες. Επίσης το χρώμα του σκυροδέματος είναι γκρι ή ροζ με παράλληλη εμφάνιση καπνιάς. Τέλος για την στάθμη Δ παρατηρούνται έντονες βλάβες στο σύστημα δαπέδων (στις πλάκες και στις δοκούς). Πιο συγκεκριμένα οι παραμορφώσεις και οι ρηγματώσεις είναι σημαντικές ενώ πολλές από τις ράβδους οπλισμού είναι γυμνές, λυγισμένες ή ακόμα και κομμένες [3].

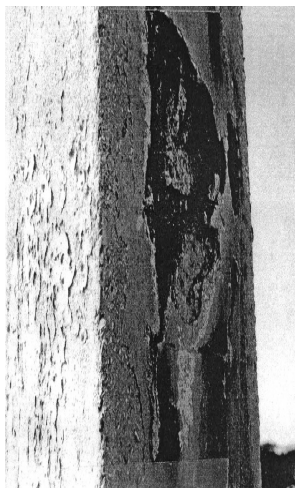
Έπειτα παρουσιάζονται κάποιοι παράμετροι που παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των βλαβών των δοκών. Μερικές από αυτές είναι το πλάτος της διατομής, το βάθος του οπλισμού, η ύπαρξη πυκνού επιφανειακού οπλισμού καθώς και το σύστημα της στατικής λειτουργίας της δοκού. Ο κίνδυνος της εκρηκτικής απόσχισης του μπετόν μειώνεται αν έχουμε ξηρό περιβάλλον (για να αποφύγουμε την συμπύκνωση των υδρατμών), αν χρησιμοποιήσουμε ασβεστολιθικά αδρανή ή πυρίμαχο μπετόν, αν το πλάτος της διατομής είναι μεγαλύτερο των 20 εκ. καθώς και αν έχουμε μεγαλύτερες επικαλύψεις των οπλισμών.

Επιπλέον σημαντικό ρόλο παίζει το σύστημα στατικής λειτουργίας της δοκού. Πιο συγκεκριμένα αμφιέριστοι δοκοί ή πλαίσια ενός ανοίγματος είναι πιο ευπαθή σε πυρκαγιά. Συνεχές δοκοί και πολύστηλα πλαίσια είναι πιο ασφαλή γιατί από την θερμοκρασία προσβάλλεται ο κάτω οπλισμός, ενώ ο οπλισμός στις στηρίξεις βρίσκεται πιο κοντά στον υπερκείμενο όροφο όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες. Έτσι σε περίπτωση διαρροής του οπλισμού των ανοιγμάτων γίνεται σταδιακή ανακατανομή των ροπών προς τις στηρίξεις, επειδή ο οπλισμός εκεί είναι ψυχρότερος και πιο ικανός να τις αναλάβει.

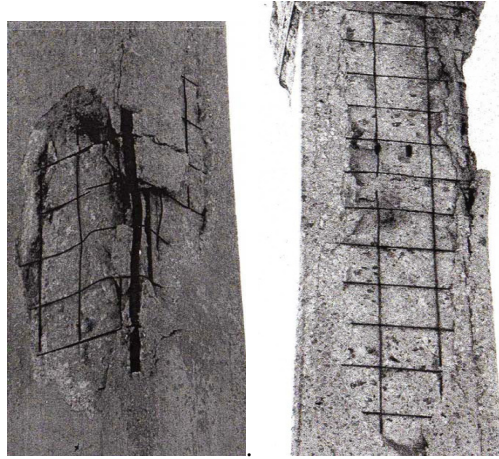
Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει είναι με τις παραμορφώσεις, επιμηκύνσεις των φερόντων στοιχείων, οι οποίες αν εμποδιστούν από τα μέλη που βρίσκονται δίπλα τους παρουσιάζουν προβλήματα λυγισμού και στρέβλωσης [6].

4.5 ΒΛΑΒΕΣ ΣΤΙΣ ΠΛΑΚΕΣ

Οι βλάβες στις πλάκες είναι λίγο-πολύ ίδιες με αυτές των δοκών. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 8 και 9εκ. αντέχουν ικανοποιητικά για έκθεση σε πυρκαγιά διάρκειας 30 λεπτών. Για πλάκες, οι οποίες έχουν πάχος πάνω από 10εκ. θεωρούνται ότι αντέχουν σε φωτιά για πάνω από μιάμιση ώρες [6].



Εικόνα 9: Απλή και τοπική απολέπιση στύλου, μικρό βάθος προσβολής, ελαφριά (έως και ασήμαντη) βλάβη [11]



Εικόνα 10: Έντονες αποφλοιώσεις στύλων, γυμνά μήκη οπλισμών, λυγισμένες ράβδοι, σοβαρές (έως βαριές) βλάβες[11]



Εικόνα 11: Χαρακτηριστικές πολλαπλές καμπτικές και διατμητικές ρωγμές δοκών[11]



Εικόνα 12: Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, χαρακτηριστικές πολλαπλές ρωγμές [11]

5. ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Με σκοπό την διερεύνηση της συμπεριφοράς των υλικών των υφιστάμενων κτιρίων, αλλά και τον έλεγχο εν γένει της καταστάσεως αυτών (π.χ. ύπαρξη κενών ή φωλεών στο εσωτερικό των φερόντων δομικών στοιχείων, κατάσταση χάλυβα κλπ), έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ελέγχου επί τόπου και στο εργαστήριο. Αυτές οι μέθοδοι διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

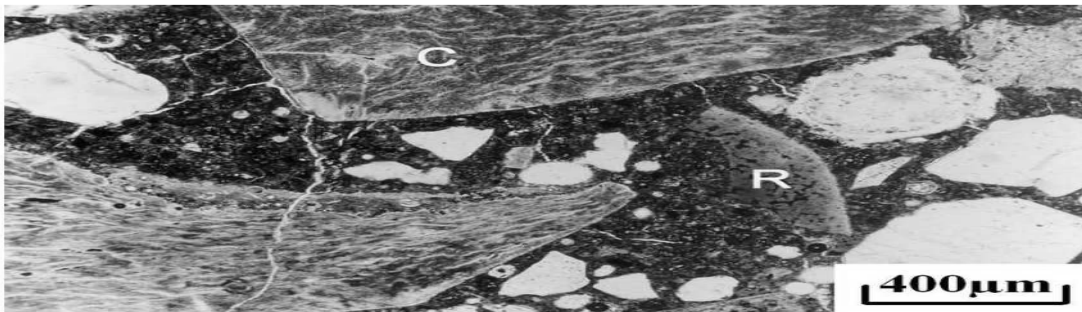
- Έμμεσες (μη καταστροφικές) μέθοδοι
Πρόκειται για μεθόδους, οι οποίες πρακτικά εφαρμόζονται με μηδενική επέμβαση στην κατασκευή.
- Ελάχιστα καταστρεπτικές μέθοδοι
Η εφαρμογή των συγκεκριμένων μεθόδων απαιτεί την αποκοπή μικρών τεμαχίων από τα φέροντα στοιχεία της κατασκευής.

Όπως είναι φυσικό, η χρήση των έμμεσων (μη καταστρεπτικών) μεθόδων προτιμάται στην περίπτωση κατασκευών με μεγάλη ιστορική και αρχιτεκτονική αξία, για τις οποίες έχει σημασία να αποφευχθεί η διαταραχή της μορφής τους. Παρ' όλα αυτά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι έμμεσες (μη καταστροφικές) μέθοδοι, οι οποίες επί πλέον, παρουσιάζουν και χαμηλό κόστος εφαρμογής, έχουν μειωμένη αξιοπιστία και μπορούν να χρησιμεύσουν κυρίως για την προκαταρκτική διερεύνηση της καταστάσεως μιας κατασκευής, καθώς τα αποτελέσματά τους είναι ποιοτικώς μόνον αξιοποιήσιμα. Πάντως, οι έμμεσες (μη καταστροφικές) μέθοδοι παρέχουν και άλλες σημαντικές πληροφορίες όπως ομοιογένεια των χαρακτηριστικών της κατασκευής εντοπισμό περιοχών ασυνέχειας με ανώμαλη συμπεριφορά κλπ.

Οι ελάχιστα καταστρεπτικές μέθοδοι είναι πολύ πιο αξιόπιστες, η δε χρήση τους, ακόμη και σε μνημεία εξαιρετικής αξίας, είναι κατάλληλη, υπό τον όρο, βεβαίως, να επιλέγεται αντιπροσωπευτική θέση στην οποία εκτελούνται οι δοκιμές, καθώς και να είναι αποδεκτές η έκταση της επεμβάσεως και η μέθοδος αποκαταστάσεως του τοπικού τραύματος.[8]

Για λόγους πληρότητας παρουσιάζεται συνοπτικά μια σειρά από ελέγχους, για τους οποίους έχουν γίνει αρκετές αναφορές, όπως εξόλκευση ήλων, πυρηνοληψία, ενανθράκωση, δοκιμή μικροθραυσμάτων κτλ. Οι προηγούμενες ελάχιστα καταστροφικές μέθοδοι που αναφέρθηκαν, θα πρέπει να γίνονται με ιδιαίτερη προσοχή, όταν αυτές λαμβάνουν χώρα σε στοιχεία που έχουν προεντεταμένο χάλυβα, διότι λόγω της μεγάλης έντασης μπορεί εύκολα να προκληθεί αστοχία η οποία να οδηγήσει στην κατάρρευση. Υπάρχουν όμως και μη καταστροφικοί έλεγχοι όπως ο οπτικός έλεγχος, η μέθοδος των τασικών κυμάτων, η κρουσιμέτρηση, υπέρυθη φωτογράφιση κτλ.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η πετρογραφική μέθοδος. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο λαμβάνονται δείγματα από το πυρόπληκτο σκυρόδεμα και αρχικά εξετάζονται με γυμνό μάτι και με χαμηλής ανάλυσης μικροσκόπια για τον εντοπισμό μικρορωγμών και αλλαγής χρώματος. Τα σημεία στα οποία υπάρχουν μικρορωγμές αφαιρούνται από το συνολικό δείγμα με μια ειδική διαδικασία, ούτως ώστε να δημιουργούνται λεπτές φέτες σκυροδέματος. Αυτές οι λεπτές φέτες σκυροδέματος εξετάζονται με μικροσκόπια υψηλής ανάλυσης για τον προσδιορισμό των πόρων και των ρωγμών που έχουν δημιουργηθεί. Ο συνδυασμός της οπτικής επιθεώρησης-χαμηλής ανάλυσης και της υψηλής ανάλυσης λεπτών δειγμάτων ονομάζεται πετρογραφική μέθοδος. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ενδιαφέρον διότι δεν εφαρμόζεται μόνο σε πυρόπληκτο σκυρόδεμα, αλλά σε φυσικά αδρανή και σε ασβεστοκονιάματα.[9].



Εικόνα 13: Στην εικόνα αυτή φαίνεται μια σειρά από μικρορωγμές[9]

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΥΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Είναι προφανές ότι στόχος της επισκευής είναι η επαναφορά του φορέα στην αρχική του κατάσταση. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται απαραίτητα για την επισκευή της κατασκευής είναι οι εξής:

- Διασφάλιση του φορέα από μελλοντική πυρκαγιά.
- Ανθεκτικότητα υλικών κατασκευής στο χρόνο ίση σε σχέση με αυτή των υλικών που αντικαθιστούν
- Προστασία χαλύβδινου οπλισμού από τη διάβρωση για τον υπόλοιπο χρόνο ζωής του έργου.
- Διατήρηση των παραμορφώσεων του φορέα σε αποδεκτό επίπεδο.
- Αποκατάσταση της συνάφειας μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος και κυρίως μεταξύ του νέου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με το υφιστάμενο.

Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για επισκευή και ενίσχυση της κατασκευής μετά την πυρκαγιά είναι:

- Έγχυτο σκυρόδεμα
Εφαρμόζεται εύκολα εάν υπάρχει χώρος για σκυροδέτηση και αν η πυκνότητα του οπλισμού επιτρέπει τη διέλευση του. Χαρακτηριστικό που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι η αντοχή του είναι κατά 100Kg/cm^2 μεγαλύτερη του παλαιού σκυροδέματος.
- Εποξειδικές κόλλες
Εφαρμόζονται κυρίως σε ρωγμές και για αποκατάσταση διατομών οπλισμένου σκυροδέματος σε δοκούς, πλάκες, υποστυλώματα κ.λ.π.
- Τσιμεντενέσεις
Εφαρμόζονται κυρίως για πλήρωση ρηγμάτων με θλιπτική ένταση.
- Κονιάματα τσιμέντου και πλαστικών υλών
Εφαρμόζονται κυρίως για αποκατάσταση ζημιών σε υποστυλώματα, τοιχία και κόμβους. Πρέπει να μην προσμειγνύονται με αδρανή και να εφαρμόζονται σε μικρά πάχη της τάξης των 5cm.
- Εκτοξευμένο σκυρόδεμα
Εφαρμόζεται κυρίως για ενίσχυση του κάτω πλέγματος των πλακών και για ενίσχυση – επισκευή με μανδύα δοκών και υποστυλωμάτων. Το πάχος του μανδύα πρέπει να είναι το πολύ 5 έως 6 cm ανά στρώση.
- Εγκιβωτισμένο σκυρόδεμα
Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις πλήρους αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος και σε περιπτώσεις δυσκολίας εφαρμογής άλλης μεθόδου.
- Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών στους παλιούς
Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που υπάρχει ανάγκη ενίσχυσης των υπαρχόντων οπλισμών. Προτιμάται ο μαλακός χάλυβας.
- Προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων
Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις βλάβης δοκών από διάτμηση ή σε σοβαρές βλάβες υποστυλωμάτων και κόμβων. Εδώ απαιτείται η κάλυψη των νέων στοιχείων.
- Επικόλληση ελασμάτων beton blaquet
Είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος και αποτελείται από πολύ λεπτά ελάσματα. Εφαρμόζεται για ρηγματώσεις δοκών με λοξό εφελκυσμό χωρίς αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και γενικά όπου έχει βρεθεί μείωση οπλισμού. Δεν συνιστάται γενικά γιατί απαιτείται υψηλή τεχνολογία και η αποτελεσματικότητά της δεν είναι δεδομένη.

Αμέσως μετά την πυρκαγιά εκτελούνται οι εργασίες, που περιγράφονται παρακάτω:

- Γρήγορη εκτίμηση των βλαβών.

- Υποστύλωση της κατασκευής.
- Απομάκρυνση στρώσης του σκυροδέματος πάχους 3 έως 5 εκατοστών, λόγω απώλειας αντοχής, εξαιτίας της πυρκαγιάς.
- Ευθυγράμμιση των οπλισμών, που έχουν καμπυλωθεί σε θερμοκρασίες μικρότερες των 300°C ή προσθήκη νέων, τους οποίους στερεώνουμε πολύ καλά, ανάλογα με την απώλεια αντοχής των υπαρχόντων οπλισμών.
- Τοποθέτηση νέων συνδετήρων (όπου χρειάζεται) σε υποστυλώματα και δοκούς.
- Αποκατάσταση της (παλιάς) διατομής του μπετόν.
- Σφράγισμα των εναπομεινάντων ρωγμών.

Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι η μέθοδος που θα επιλεγεί την ενίσχυση αλλά και την αποκατάσταση των ζημιών εξαρτάται από το είδος του προς επισκευή στοιχείου της κατασκευής, το μέγεθος της ζημιάς αυτού αλλά και το είδος της καταπόνησής του. Με βάση τους παραπάνω παράγοντες έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις.

➤ ΔΟΚΟΙ

- 1) Για την περίπτωση της απλής ρηγμάτωσης δοκών κατάλληλες μέθοδοι αποκατάστασης μπορεί να είναι:
 - εμποτισμός με εποξειδική κόλλα,
 - τοποθέτηση εξωτερικών συνδετήρων και κάλυψη τους,
 - συγκόλληση ελασμάτων και κάλυψη τους.
- 2) Σε περίπτωση έντονης ρηγμάτωσης δοκών χωρίς αποδιοργάνωση του σκυροδέματος μπορούμε να επέμβουμε ως εξής:
 - Μετά την απαραίτητη υποστύλωση, σφραγίζονται οι ρωγμές με κατάλληλη εποξειδική κόλλα και τοποθετούνται εξωτερικοί συνδετήρες, οι οποίοι καλύπτονται στην συνέχεια με εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
 - Μία εναλλακτική επέμβαση αποτελεί η επικόλληση μεταλλικών ελασμάτων αντί για την χρήση συνδετήρων. Όμως και σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει τα μεταλλικά ελάσματα να επικαλυφθούν με εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
- 3) Τέλος για έντονη ρηγμάτωση με τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ενδεικτικοί τρόποι επέμβασης είναι οι παρακάτω:
 - Μετά την υποστύλωση, αφαιρείται το βλαμμένο λόγω πυρκαγιάς τμήμα της δοκού και αντικαθίσταται είτε με έγχυτο είτε εκτοξευμένο σκυρόδεμα.
 - Αν έχει υπάρξει βλάβη του οπλισμού διάτμησης πρέπει να προστεθούν επιπλέον εξωτερικοί συνδετήρες (κολάρα), που και αυτοί καλύπτονται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.
 - Σε περίπτωση καμπτικής ρηγμάτωσης συνίσταται είτε επικόλληση λεπτών ελασμάτων στο εφελκόμενο πέγμα είτε (αν χρειαστεί) συγκόλληση νέων οπλισμών στους παλιούς.

➤ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

- 1) Σε περίπτωση απλής ρηγμάτωσης αρκεί ένας απλός εμποτισμός με εποξειδικές κόλλες.
- 2) Αν υπάρχει έντονη ρηγμάτωση και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος τότε:
 - καθαιρείται το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα και συγκολλούνται νέοι οπλισμοί στους παλιούς. Μετά την αφαίρεση ανακατασκευάζεται το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα είτε με έγχυτο είτε με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είτε με κατασκευή μανδύα και εμποτισμό με κονίαμα τσιμέντου – πλαστικών υλών. Τέλος

τοποθετούνται εξωτερικοί συνδετήρες, οι οποίοι καλύπτονται με στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

- Σε περίπτωση υπερβολικά μεγάλης ζημίας (πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος) τότε καθαιρείται **όλο** το σκυρόδεμα αποκαλύπτοντας έτσι τους οπλισμούς, πάνω στους οποίους θα συγκολληθούν οι νέοι οπλισμοί κατασκευάζοντας παράλληλα μανδύα σε όλο το ύψος από έγχυτο σκυρόδεμα.

➤ ΠΛΑΚΕΣ

Στις πλάκες απλές ρηγματώσεις αντιμετωπίζονται απλά με εμποτισμό από κατάλληλες εποξειδικές κόλλες. Στην περίπτωση έντονων ρηγματώσεων γίνεται πρώτα πλήρωση των ρωγμών με εποξειδικές κόλλες και στην συνέχεια επισκευάζεται το άνω μέρος, τοποθετώντας δομικό πλέγμα με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Αντίστοιχα στο κάτω πέλμα ενεργούμε όπως ακριβώς και στο άνω με την διαφορά ότι πρώτα ηλεκτροσυγκολλούνται οι νέοι οπλισμοί.[6]

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα όσα εκτέθηκαν στην παρούσα εργασία οδηγούμαστε στα εξής συμπεριφορά, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

- ✓ Η πυρκαγιά επηρεάζει σημαντικά την στατική επάρκεια της κατασκευής.
- ✓ Για τον σχεδιασμό των νέων κατασκευών θα πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνεται υπόψη η ενεργητική και παθητική πυροπροστασία.
- ✓ Η ένταση της πυρκαγιάς εξαρτάται από την ύλη, που αυτή θα έχει στην διάθεσή της να κάψει.
- ✓ Τα μηχανικά χαρακτηριστικά τόσο του σκυροδέματος όσο και του χάλυβα οπλισμού υφίστανται σημαντική υποβάθμιση κατά την έκθεση αυτών σε υψηλές θερμοκρασίες.
- ✓ Τα ασβεστολιθικά αδρανή προτιμώνται έναντι των πυριτικών αδρανών στο σκυρόδεμα γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή έναντι πυρκαγιάς.
- ✓ Κύριες βλάβες που παρατηρούνται στον φέροντα οργανισμό κατά την πυρκαγιά είναι οι αποφλοιώσεις, ρηγματώσεις, η αποσύνθεση μάζας σκυροδέματος καθώς και η ύπαρξη αισθητών μόνιμων παραμορφώσεων.
- ✓ Η επισκευή θα πρέπει να έχει ως στόχο τόσο την επαναφορά του φορέα στην προ της πυρκαγιάς κατάσταση όσο και την αυξημένη αντοχή έναντι νέας ενδεχόμενης πυρκαγιάς
- ✓ Η μέθοδος επισκευής που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το μέγεθος της βλάβης, το είδος του δομικού στοιχείου και από το είδος της καταπόνησής του.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] <http://el.wikipedia.org> (Πληροφορίες για την πυροπροστασία)

[2] 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος, Πρακτικός Οδηγός για την αποτίμηση φέρουσας ικανότητας και τις δομητικές επεμβάσεις μετά από πυρκαγιά, σε μικρά κτίρια από σκυρόδεμα και από τοιχοποιία σελίδες 6-7.

[3] ΤΕΕ / Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, πρόχειρος οδηγός για τη συγκέντρωση πληροφοριών που αφορούν την απομείωση φέρουσας ικανότητας μικρών κτιρίων (από Σκυρόδεμα ή Τοιχοποιία) μετά από πυρκαγιά, Αύγουστος 2007 σελίδες 20-21.

[4] <http://www.buildnet.gr/files/ebooks/21/sxediasmosKataskevov.pdf> Σχεδιασμός κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος έναντι πυρκαγιάς, Ευστάθιος Μπούσιας, Αν. Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών Εργαστήριο Κατασκευών, σελίδες 1, 4.

- [5] 7ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 01», Μάρτιος 2001, επίδραση πυρκαγιάς σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, Αργυρόπουλος Γεώργιος, Τσίτος Αντώνης, σελίδα 1.
- [6] Πτυχιακή εργασία Ραφαήλ Όλγα, Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος, «πρόληψη και αποκατάσταση σκυροδέματος από διάφορους παράγοντες», Θεσσαλονίκη 2012, σελίδες 9-11, 22-28
- [7] Eurocode 2: Design of concrete structures - Part1-2: General rules - Structural fire design EN 1992-1-2 (December 2004), σελίδες 26-33
- [8] ΤΕΕ αντισεισμική θωράκιση υφιστάμενων κατασκευών, πρακτικά- διδακτικά εγχειρίδια, μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Χρ.σπανός, Μ.σπιθάκης, Κ. τρέζος, Αθήνα, Μάιος 2001, σελίδα 29
- [9] "15ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών" Πάτρα, Φεβρουάριος 2009, Επίδραση Πυρκαγιάς σε Κτίρια από Οπλισμένο Σκυρόδεμα και Μέθοδοι Αποκατάστασης, Νάκης Ευάγγελος, σελίδες 43-44.
- [10] http://www.firesecurity.gr/domika_ylika.html (πληροφορίες για χάλυβα και σκυρόδεμα σε πυρκαγιά).
- [11] http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/anaisgr/files/kefIVXarakteristikisBlabes.pdf (λήψη φωτογραφικού υλικού για βλάβες λόγω πυρκαγιάς.), σελίδες 136,139,142-143