

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

**ΑΝΔΡΕΟΥ ΜΑΡΙΟΣ
ΛΑΜΠΡΟΥ ΛΑΜΠΡΟΣ**

Περίληψη

Η έκθεση μιας κατασκευής στη φωτιά και η συμπεριφορά των δομικών υλικών και δομικών στοιχείων της είναι γνωστό ότι αποτελεί πεδίο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος. Αν και το σκυρόδεμα παρουσιάζει γενικά ικανοποιητική συμπεριφορά έναντι πυρκαγιάς εντούτοις η έκθεση μιας κατασκευής για μεγάλο χρονικά διάστημα σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζει πολλές φορές καταστρεπτικά τη στατική λειτουργία της κατασκευής.

Στην εργασία που ακολουθεί γίνεται μια πρώτη προσέγγιση του τρόπου με τον οποίο επεμβαίνουμε σε κατασκευές που έχουν υποστεί ζημιές από πυρκαγιά με στόχο την αποκατάσταση αυτών των ζημιών.

Για να φτάσουμε όμως σε αυτό το σημείο θα πρέπει πρώτα να μελετήσουμε το τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται τα δομικά υλικά και τα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι πυρκαγιάς. Στη συνέχεια θα πρέπει να εντοπιστούν οι βλάβες που προκάλεσε η πυρκαγιά το μέγεθος αυτών των βλαβών και τα αίτια που τις προκάλεσαν. Τέλος πριν επιλέξουμε την μέθοδο ενίσχυσης και επισκευής της κατασκευής πρέπει να γνωρίσουμε ποιες είναι αυτές οι μέθοδοι και πως επιλέγουμε την κατάλληλη μέθοδο ανάλογα με το είδος της ζημιάς, το μέγεθος της και το δομικό στοιχείο στο οποίο πραγματοποιήθηκε.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές ικανοποιητική συμπεριφορά έναντι πυρκαγιάς, ένα τέτοιο φαινόμενο σε μεγάλη έκταση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την στατική επάρκεια της κατασκευής. 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.

Βέβαια σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό πυροπροστασίας κτιρίων κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός έργου πρέπει να παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα ώστε στην περίπτωση πυρκαγιάς η κατασκευή να διατηρεί την φέρουσα ικανότητα της, την ακεραιότητα της και τη θερμομονωτική ικανότητα της σε όλη τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Ο σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς σύμφωνα με τους κανονισμούς γίνεται γενικά με ένα από τους ακόλουθους τρόπους:

1. Με χρήση πινακοποιημένων δεδομένων
2. Με απλές υπολογιστικές μεθόδους
3. Με σύνθετες γενικές υπολογιστικές μεθόδους.

Η χρήση πινακοποιημένων δεδομένων είναι η πιο απλή μέθοδος και αναφέρεται σε πίνακες οι οποίοι δίνουν την ελάχιστη επιτρεπόμενη διάσταση του δομικού στοιχείου και την ελάχιστη απόσταση του οπλισμού από την εξωτερική παρία της διατομής που υπόκειται σε πυρκαγιά.

Η απλή υπολογιστική μέθοδος ισχύει για διατομές δοκών και πλακών σκυροδέματος καμπτόμενων κατά μια διεύθυνση. Η διαδικασία συνιστάται στον υπολογισμό της

οριακής φέρουσας ικανότητας του δομικού στοιχείου που έχει εκτεθεί σε πρότυπη πυρκαγιά αναφερόμενης σε καμπτική ή σε συνδυασμό καμπτικής και αξονικής έντασης. Ελέγχεται κατόπιν σε μια κρίσιμη διατομή του φορέα εάν η οριακή αντοχή είναι μεγαλύτερη από την αναπτυσσόμενη ένταση εξαιτίας των συγκεκριμένων δράσεων.

Οι γενικές υπολογιστικές μέθοδοι περιλαμβάνουν 2 φάσεις. Πρώτα τον καθορισμό του τρόπου ανάπτυξης και κατανομής των θερμοκρασιών στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων και ύστερα την μηχανική συμπεριφορά της κατασκευής εξαιτίας της εντατικής κατάστασης που προέρχεται από την πυρκαγιά.

Ωστόσο μια πυρκαγιά σε μια κατασκευή αποτελεί από μόνο του ένα φαινόμενο με δυσάρεστες και πολλές φορές καταστρεπτικές συνέπειες στην κατασκευή.

Για να μπορέσει κάποιος να αντιμετωπίσει τις συνέπειες μιας πυρκαγιάς αφού αυτό είναι το ζητούμενο, πρέπει πάνω από όλα να γνωρίζει μια σειρά από θέματα όπως:

- Ποια είναι η συμπεριφορά των δομικών υλικών (σκυρόδεμα, χάλυβας κτλ) σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Ποια είναι η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων της κατασκευής (υποστυλώματα, δοκοί, πλάκες κτλ) σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Ποιες είναι οι βλάβες – ζημιές που δημιουργούνται και που οφείλονται.
- Πώς εκτιμούμε τις ζημιές που παρατηρούνται και το μέγεθος των ζημιών αυτών.
- Ποιες είναι οι μέθοδοι ενίσχυσης και επισκευής μιας κατασκευής που μπορούν να πραγματοποιηθούν.
- Με ποιο τρόπο επιλέγουμε την κατάλληλη μέθοδο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ζημιάς και πως εφαρμόζουμε αυτή τη μέθοδο.

Είναι σημαντικό επίσης να επισημάνουμε ότι το κόστος ενίσχυσης – επισκευής μιας κατασκευής πρέπει να βρίσκεται σε λογική σχέση με το κόστος της αρχικής επένδυσης και με την αναμενόμενη υπόλοιπη ζωή της κατασκευής μας.

Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι η εκτίμηση της εξέλιξης μιας φωτιάς, ο εντοπισμός και η εκτίμηση των βλαβών, η εκτίμηση της υπολειπόμενης αντοχής των δομικών στοιχείων και γενικότερα ο τρόπος αποκατάστασης της κατασκευής είναι διαδικασίες πολύπλοκες και για να επιτευχθούν ικανοποιητικά απαιτείται, εκτός από την βιβλιογραφική γνώση η οποία δεν είναι ποτέ δεδομένη και τυποποιημένη, η εξειδίκευση και η εμπειρία.

2. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Το πρώτο που πρέπει να τονιστεί σε αυτό το κεφάλαιο είναι ότι δομικά υλικά με απεριόριστη αντοχή στις θερμοκρασίες των συνηθισμένων πυρκαγιών δεν υπάρχουν και ότι η καταστροφή τους είναι απλώς θέμα χρόνου έκθεσης τους στη φωτιά. Η συμπεριφορά κάποιου υλικού είναι άμεσα συναρτημένη με τις διαστάσεις και το τρόπο στερέωσης του δομικού στοιχείου του οποίου είναι μέρος. Οι ιδιότητες όμως των κυριότερων δομικών υλικών είναι οι εξής:

2.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Είναι γενικά αποδεκτό ότι το μπετόν είναι το καλύτερο από τα υπόλοιπα δομικά υλικά από την άποψη συμπεριφοράς σε πυρκαγιά για τους εξής λόγους:

- A) Τα δομικά στοιχεία που συνήθως κατασκευάζονται από σκυρόδεμα είναι πολύ μεγάλα έτσι η ανύψωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του στοιχείου καθυστερεί.
- B) Ακόμη και σε ξηρό περιβάλλον περιέχει νερό.

Γ) Τα αδρανή που περιέχει ιδιαίτερα όταν είναι ασβεστολιθικά χάνουν την ιδιότητα τους σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (ο ασβεστόλιθος πχ. Στους 900 °C)

Η αύξηση όμως της θερμοκρασίας δημιουργεί αλλοιώσεις στις ιδιότητες του. Ιδιαίτερη σημασία έχει το ποσοστό του νερού που περιέχει γιατί οι υδρατμοί που δημιουργούνται μπορούν να καταστρέψουν το μπετόν. Μέχρι τους 200 °C το μπετόν παρουσιάζει συχνά μια μικρή αύξηση της αντοχής του την οποία χάνει εντελώς στους 1600 °C όπου και καταστρέφεται.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται έχουμε και την ανάλογη αντίδραση του μπετόν:

- Σε θερμοκρασίες από 0 – 100 °C έχουμε μικρή εξάτμιση του νερού με αποτέλεσμα μικρή πτώση της αντοχής.

- Σε θερμοκρασίες που μπορεί να φτάνουν και τους 300 °C η αύξηση της πίεσης των ατμών ενυδατώνει τους μη ενυδατωμένους κόκκους με αποτέλεσμα μια σχετική αύξηση της θλιπτικής αντοχής.

- Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300°C παρατηρείται πτώση της αντοχής. Το φαινόμενο της εξάτμισης έχει συντελεστεί και αρχίζουν φαινόμενα διαστολής. Η διαστολή του τσιμεντολιθώματος είναι μεγαλύτερη από αυτή των αδρανών με αποτέλεσμα την ανάπτυξη τάσεων με συνέπεια τη ρηγμάτωση και την αποκόλληση των αδρανών. Το φαινόμενο της ρηγμάτωσης και της απόσχισης του μπετόν οφείλεται επίσης στη διαφορετική θερμική διαστολή των επιφανειακών στρωμάτων. Η ανάπτυξη ατμών στους πόρους έχει σαν αποτέλεσμα την εκρηκτική θραύση του εξωτερικού στρώματος του. Οι ατμοί που δημιουργούνται δεν προλαβαίνουν να φύγουν από τους υπάρχοντες πόρους αναπτύσσοντας ισχυρές πιέσεις και οδηγώντας σε διάλυση του σκυροδέματος. Η έκρηξη αυτή δημιουργείται στο μισό περίπου χρόνο εκείνου που θα δημιουργούσε φαινόμενα διάγκωσης σπασίματος του σκυροδέματος.

Σε μερικές περιπτώσεις για μεγαλύτερες αντοχές σε υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιείται πυρίμαχο σκυρόδεμα το οποίο μπορεί να εκτίθεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μέχρι και πάνω από 1000 °C. Ανάλογα με τη σύνθεση του έχουμε και την ανάλογη αντοχή στη θερμοκρασία.

- Από τσιμέντο Πόρτλαντ με λεπτής άλεσης αδρανή ανθεκτικά σε φωτιά, έχουμε θερμοκρασιακή περιοχή έως και 700 °C

- Με αργιλικό τσιμέντο έχουμε θερμοκρασιακή περιοχή έως και 1000 °C.

- Από υδρύαλο με φθοριοπυριτικό νάτριο με πυρίμαχο άργιλο σαν αδρανή για θερμοκρασίες έως και 1400 °C.

Γενικά η κρίσιμη θερμοκρασία για ολόσωμα δομικά υλικά φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα.

Δομικό υλικό	Θερμοκρασία °C
Γρανίτης	700
Ασβεστόλιθος	800
Μπετόν με γρανιτικά αδρανή	575
Μπετόν με ασβεστιάκα αδρανή	675
Πλίνθοι	900

2.2 ΧΑΛΥΒΑΣ

Αν και ο χάλυβας θεωρείται γενικά άκαυστο υλικό και η έκθεση του σε ψηλές θερμοκρασίες για λιγότερο από 5 λεπτά δεν επηρεάζει την αντοχή του εντούτοις με την έκθεση του για μεγάλο χρονικό διάστημα χάνει μέρος της εφελκυστικής του αντοχής και

επιμηκύνεται εύκολα. Λόγω αυτής της απώλειας έχουμε θραύση των οριζόντιων κυρίως μελών και εκτίναξη του μπετόν που το περιβάλλει. Υπάρχουν χάλυβες, οι φυσικοί σκληροί οι οποίοι με τη μείωση της θερμοκρασίας ανακτούν την αντοχή τους ενώ αυτό δεν συμβαίνει σε χάλυβες εξελασμένους εν ψυχρώ.

Αυτό που έχει σημασία για τον χάλυβα είναι η κάλυψη που πρέπει να του παρέχει το μπετόν και η διατήρηση της συνάφειας του με αυτό. Οι λείες ράβδοι είναι πιο ευαίσθητες και χάνουν πλήρως την συνάφεια τους σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 450 °C.

Οι δομικοί χάλυβες αρχίζουν να χάνουν μόνιμα την αντοχή τους σε θερμοκρασίες από 300 έως 500 °C (κρίσιμες θερμοκρασίες ανάλογα με το είδος τους). Αυτό όμως που έχει σημασία είναι ο χρόνος που χρειάζεται να φτάσει ο χάλυβας σε αυτές τις θερμοκρασίες γεγονός που εξαρτάται από την επικάλυψη του οπλισμού ή και το επίχρισμα του δομικού στοιχείου.

2.3 ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ

Η συμπεριφορά των προεντεταμένων χαλύβων στις υψηλές θερμοκρασίες μιας πυρκαγιάς είναι πολύ κρισιμότερη από αυτήν των απλών οπλισμών. Το φάσμα των κρίσιμων θερμοκρασιών είναι εδώ χαμηλότερο μεταξύ 370 – 420 °C. Επειδή το φορτίο λειτουργίας του προεντεταμένου χαλύβα είναι το 70% της αντοχής εφελκυσμού ανεβαίνουμε σε ένα όριο ασφαλείας των 500 °C.

3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων απέναντι στη φωτιά είναι ένα πραγματικά δύσκολο θέμα το οποίο διερευνάται με θεωρητικές και πειραματικές μεθόδους τα συμπεράσματα των οποίων εισάγονται στους κανονισμούς σαν απλοί κανόνες κατασκευής. Εν πάση περιπτώσει η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων εξαρτάται από μια σειρά παράγοντες όπως: το υλικό που είναι κατασκευασμένα, η μορφή τους, οι διαστάσεις τους, ο τρόπος σύνδεσης και η συνεργασία τους με άλλα φέροντα στοιχεία.

3.1 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Ο κυριότερος κίνδυνος σε αυτή τη περίπτωση είναι η απόσχιση (αποφλοιώση) του μπετόν ιδίως στις γωνιές οπότε ο οπλισμός μένει εκτεθειμένος και αν θερμανθεί πάνω από 600 °C φθάνει για τις συνήθεις φορτίσεις στο όριο διαρροής του. Η προστασία όμως των υποστυλωμάτων οφείλεται στις διαστάσεις τους και την επικάλυψη των οπλισμών με μεγάλη ποσότητα μπετόν. Έτσι με βάση πειράματα [2] αλλά και από την εμπειρία έχουν δείξει ότι υποστυλώματα 40X40 εκ. αντέχουν σε πυρκαγιά 11/2 ώρας με το φορτίο του στατικού υπολογισμού, ενώ υποστυλώματα 25X25 εκ. σε πυρκαγιά 1 ώρα.

3.2 ΔΟΚΟΙ

Για τις δοκούς ρόλο παίζουν 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.

Σημαντικό ρόλο παίζει το σύστημα στατικής λειτουργίας της δοκού, αμφιέριστοι δοκοί ή πλαίσια ενός ανοίγματος είναι ευπαθέστερα. Συνεχές δοκοί και πολύστηλα πλαίσια είναι ασφαλέστερα γιατί από την θερμοκρασία προσβάλλεται ο κάτω οπλισμός ενώ ο οπλισμός στις στηρίξεις είναι πιο κοντά στο δάπεδο του υπερκείμενου ορόφου όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες. Έτσι εάν ο οπλισμός των ανοιγμάτων φθάσει στο όριο διαρροής θα γίνει ανακατανομή των ροπών με αύξηση των ροπών στήριξης όπου ο οπλισμός είναι ψυχρότερος και πιο ικανός να τις αναλάβει.

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

3.3 ΠΛΑΚΕΣ

Πλάκες συνηθισμένου μπετόν πάχους 8 και 9 εκ. θεωρούνται από τους κανονισμούς ανασταλτικές του πυρός με αντοχή μόνο 30 λεπτών. Πλάκες πάνω από 10εκ. θεωρούνται ότι αντέχουν σε φωτιά για πάνω από 1,5 ώρες.

4. ΒΛΑΒΕΣ – ΖΗΜΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΤΟΥΣ

Είναι απαραίτητο πριν αρχίσουν οι εργασίες αποκατάστασης των βλαβών να γίνεται εκτίμηση των αιτιών που προκάλεσαν τις βλάβες και διαχωρισμός στα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία της κατασκευής αφού αυτά που μας ενδιαφέρουν πρώτιστα είναι τα φέροντα.

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

- Ο οπλισμός επιμηκύνεται υπέρμετρα λόγω της θέρμανσης και χάνει την αντοχή του.
- Το σκυρόδεμα λόγω ότι έχει μικρότερη θερμική διαστολή από τους οπλισμούς υπόκειται σε τάσεις εξαναγκασμού και θραύεται.
- Έκρηξη του μπετόν λόγω μεγάλης ογκομετρικής μεταβολής των μελών του.
- Αστοχία της θλιβόμενης ζώνης καμπτόμενων φορέων λόγω υπερβολικής μήκυνσης του χάλυβα.
- Ανάπτυξη ανομοιομόρφων θερμικών τάσεων στο σκυρόδεμα και μερική καταστροφή του λόγω επίδρασης του νερού κατάσβεσης.

Έτσι η εικόνα του φέροντα οργανισμού μετά την πυρκαγιά, οι βλάβες δηλαδή είναι οι εξής:

- Αποσύνθεση – ασβεστοποίηση του σκυροδέματος στα διάφορα στοιχεία και κυρίως στις πλάκες.
- Επιφανειακές ρηγματώσεις διαφόρου βαθμού σε υποστυλώματα, δοκούς, πλάκες.
- Αποφλοίωση σκυροδέματος σε διάφορα στοιχεία.
- Αποκοπή γονιών υποστυλωμάτων και δοκών
- Αχρήστευση οπλισμού από διαστολή και αποκοπή του από το σκυρόδεμα
- Σημαντικό βέλος κάμψης προβολών κλιμάκων και πιθανά πλακών.

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Η πρώτη ενέργεια που πρέπει να γίνει αμέσως μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς είναι να γίνει εκτίμηση των βλαβών στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, να εκτιμηθεί κατά πόσον υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης και μετά να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες.

Αν παρατηρηθούν πεσμένα πυρακτωμένα κομμάτια οπλισμών, μαλάκωμα του μπετόν, μεγάλα βέλη κάμψης και μεγάλες ρωγμές είναι σημάδια ότι η κατασκευή έχει υποστεί μεγάλες βλάβες και υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης.

Σύμφωνα με μελετητές η φορτοϊκανότητα μιας πλάκας είναι συνάρτηση του βέλους κάμψης και της ταχύτητας αυξήσεως του. Η πλήρης απώλεια της φορτοϊκανότητας γίνεται όταν ισχύουν οι πιο κάτω τιμές:

$$\text{Βέλος κάμψης: } f = l^2 / 800d \text{ (cm)}$$

$$\text{Ταχύτητα αυξήσεως του βέλους: } u = l^2 / 900d \text{ (mm/mMin)}$$

Όπου l = μήκος ανοίγματος d = ύψος διατομής

Οι πιο συνηθισμένες τακτικές που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ζημιάς από τη φωτιά είναι οι εξής:

5.1 ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην εμπειρία καθώς στην ικανότητα του μελετητή για το ποιες ζημιές απαιτούν επισκευή και ποιες πλήρη αποκατάσταση. Στόχος είναι να καθοριστούν οι επιπλέον τεχνικές που θα οδηγήσουν στο αναμενόμενο αποτέλεσμα.

Όσον αφορά το σκυρόδεμα η αποσύνθεση, οι επιφανειακές ρηγματώσεις, και οι αποφλοιώσεις διαπιστώνονται και με την απλή αφή.

5.2 SCHMIDT IMPACT HAUPR

Απαραίτητη προϋπόθεση για χρήση της μεθόδου αυτής είναι η δημιουργία επίδρασης του σφυριού στο ακέραιο σκυρόδεμα. Οι ενδείξεις της κλίμακας αυτής όταν χρησιμοποιείται στο κατεστραμμένο από φωτιά σκυρόδεμα δείχνουν αποκλίσεις σε σχέση με τη χρήση της στο ακέραιο σκυρόδεμα. Το μέγεθος των αποκλίσεων καθορίζει και το μέγεθος της ζημιάς. Κατ' επέκταση βάση καμπύλων που προκύπτουν από τις ενδείξεις της κλίμακας, μπορούν να γίνουν εκτιμήσεις για τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

5.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΑΠΟ ΔΥΣΧΡΩΜΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η ζημιά στο σκυρόδεμα μπορεί να αξιολογηθεί από την δυσχρωμία που οφείλεται στην έκθεση του σε ψηλές θερμοκρασίες. Ανάλογα με το χρώμα που παίρνει το σκυρόδεμα εκτιμώνται τα όρια των θερμοκρασιών μέσα στα οποία έγιναν οι ζημιές. Με αυτή τη πληροφορία, με γνώση τη διάρκεια έκθεσης στη φωτιά είναι δυνατόν να γίνουν λογικές εκτιμήσεις για το είδος και το μέγεθος της ζημιάς.

5.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑΣ (ΚΑΡΟΤΑ)

Είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να υπολογιστεί η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος. Τα δοκίμια που λαμβάνονται υπόκεινται σε θλιπτικό φορτίο μέχρι τη θραύση τους οπότε και λαμβάνονται και χρήσιμα συμπεράσματα για την αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.

Πολλές φορές τα εργαστηριακά αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση με τη βιβλιογραφία. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στην ευεργετική προστασία του μπετόν από το επίχρισμα, είτε πιθανότατα οι μέγιστες θερμοκρασίες που εκτιμήθηκαν να μην έχουν αναπτυχθεί, είτε σε άλλους λόγους όπως ο τρόπος σκυροδέτησης, η διαφορά της ποιότητας του σκυροδέματος από στοιχείο σε στοιχείο κλπ.

Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μικρό πάχος στοιχεία, όπως πχ σε κελύφη.

5.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΜΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΞΩΛΚΕΥΣΗΣ ΗΛΟΥ

Η μέθοδος αυτή προτάθηκε από τους έλληνες καθηγητές Π. Τάσσιου και Κ. Δεμίρη και προβλέπει τον έμμεσο υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Όπως είναι γνωστό κάθε έμμεσος μέθοδος είναι προσεγγιστική. Έτσι η μέθοδος εξωλκεύσεως ήλου θεωρείται ότι έχει προσέγγιση $\pm 50 \text{ kg/cm}^2$.

Κατ' αυτήν εμπεγνύονται ειδική ήλοι HILTI διαμέτρου 3,7 mm βάθος 3,2 cm και μετριέται η δύναμη εξωλκεύσεων αυτών. Η εξώλκευση των ηλών αυτών γίνεται με ειδικό εξωλκέα και ο οποίος συνοδεύεται με ειδικό νομογράφημα για μετατροπή της ένδειξης σε KN. Οι εξωλκεύσεις γίνονται μετά παρέλευση χρονικού διαστήματος τουλάχιστον 10 λεπτών από την έμπηξη.

5.6 ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες, εξελιγμένες μη καταστρεπτικές μέθοδοι εξέτασης έχουν βρεθεί για τον εντοπισμό και την αναγνώριση της συγκεκριμένης ζημιάς στο σκυρόδεμα. Η χρήση αυτών των μη καταστρεπτικών τεχνικών παρέχει γρήγορη, ακριβή, περιεκτική καταμέτρηση της ζημιάς. Οι μέθοδοι αυτές είναι οι εξής:

5.6.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΡΥΘΜΟΥ - ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στις αντανακλάσεις κυμάτων ενέργειας στις δυο επιφάνειες του σκυροδέματος. Χρησιμοποιείται μια συσκευή η οποία μεταδίδει ένα μηχανικό κύμα πίεσης χαμηλής συχνότητας στο σκυρόδεμα. Ένας μετασχηματιστής στην ίδια την επιφάνεια του σκυροδέματος υπολογίζει τις αντανακλάσεις. Η καταμέτρηση περιλαμβάνει το χρόνο ανάμεσα στις αντανακλάσεις, τη συχνότητα των αντανακλάσεων, την αραιώση, την απορρόφηση και τον χρόνο εξάντλησης των κυμάτων ενέργειας. Με τα πιο πάνω στοιχεία μπορούν να προσδιορίσουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

5.6.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ

Όταν η ζημιά από την φωτιά δεν επεκτείνεται μέχρι τον ενισχυτικό χάλυβα είναι απαραίτητο να καθοριστεί το βάθος του στρώματος του αέριου σκυροδέματος που παραμένει πάνω από το χάλυβα. Οι μαγνητικές μη καταστρεπτικές τεχνικές είναι διαθέσιμες για την γρήγορη και με ακρίβεια συγκέντρωση πληροφοριών. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι γνωστά ως JAMES "R" METER ή παχόμετρα. Είναι όργανο τραχύ και ακριβείας και εντοπίζει και μετρά το βάθος του στρώματος ενισχυτικών ράβδων.

Μια άλλη μέθοδος για τον υπολογισμό του πάχους του σκυροδέματος είναι η τεχνική μικροκυμάτων ή «Ραντάρ». Το «Ραντάρ» χρησιμοποιεί ενέργεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τον εντοπισμό εσωτερικών διακοπών από την αντανάκλαση σε μη μεταλλικά υλικά κατασκευής.

Για να εντοπισθεί μια εσωτερική ασυνέχεια πρέπει να λάβει χώρα μια εσωτερική αλλαγή. Με το ραντάρ οι αλλαγές είναι σε επιλεκτικές σταθερές που έχουν σχέση περισσότερο με ηλεκτρικά χαρακτηριστικά παρά με διακριτικές αλλαγές της πυκνότητας των υλικών.

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Στόχος της επισκευής είναι να επανέλθει ο φορέας στην προ της πυρκαγιάς κατάσταση του. Οι εργασίες επισκευής της κατασκευής πρέπει να πληρούν τις πιο κάτω απαιτήσεις:

- Η επισκευή θα πρέπει να προστατεύει το χαλύβδινο οπλισμό από τη διάβρωση για τον υπόλοιπο χρόνο ζωής του έργου.
- Τα υλικά της επισκευής θα πρέπει να έχουν τουλάχιστο ίση ανθεκτικότητα στο χρόνο (durability) με αυτή των υλικών που αντικαθιστούν.
- Η επισκευή θα πρέπει να διατηρήσει σε αποδεκτό επίπεδο τις παραμορφώσεις του φορέα.
- Η επισκευή θα πρέπει να διασφαλίζει το φορέα από μελλοντικό ενδεχόμενο πυρκαγιάς.
- Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην αποκατάσταση της συνάφειας μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος και κυρίως μεταξύ του νέου εκτοξευόμενου σκυροδέματος με το υφιστάμενο. (να γίνουν και σχετικοί επιτόπου ελέγχει μετά το πέρας των εργασιών)

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 αποτελεσματικότητα της δεν είναι δεδομένη.

7. ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ – ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΒΛΑΒΩΝ ΣΤΟΝ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Οι εργασίες που εκτελούνται αμέσως μετά την πυρκαγιά είναι οι εξής:

1. Πρώτα γίνεται μια γρήγορη εκτίμηση των βλαβών και γίνεται η ανάλογη υποστύλωση της κατασκευής.

2. Ακολουθεί απομάκρυνση της επιφανειακής στρώσης του μπετόν πάχους 3 έως 5 εκατοστών η οποία έχει χάσει την αντοχή της λόγω της υψηλής θερμοκρασίας.

3. Γίνεται ευθυγράμμιση των οπλισμών οι οποίοι έχουν καμπυλωθεί σε θερμοκρασίες μικρότερες των 300 °C ή προσθέτουμε νέους οπλισμούς τους οποίους στερεώνουμε πολύ καλά, ανάλογα προς την απώλεια αντοχής των υπαρχόντων οπλισμών.

4. Τοποθετούνται οι νέοι συνδετήρες όπου χρειάζεται σε υποστυλώματα και δοκούς.

5. Ακολουθεί αποκατάσταση της παλιάς διατομής του μπετόν.

6. Στο τέλος γίνεται σφράγισμα των ρωγμών που παραμένουν.

Η μέθοδος που ακολουθείται για αποκατάσταση των ζημιών εξαρτάται τόσο από το στοιχείο της κατασκευής, το μέγεθος της ζημιάς αλλά και το είδος της επιπόνησης του. Ενδεικτικά αναφέρουμε κάποια παραδείγματα:

7.1 ΔΟΚΟΙ

Απλή ρηγμάτωση δοκών: Οι μέθοδοι αποκατάστασης μπορεί να είναι α) εμποτισμός με εποξειδική κόλλα, β) τοποθέτηση εξωτερικών συνδετήρων και κάλυψη τους, ή γ) συγκόλληση ελασμάτων και κάλυψη τους.

Έντονη ρηγμάτωση δοκών χωρίς αποδιοργάνωση του σκυροδέματος: Κατ' αρχήν πρέπει να γίνει υποστύλωση. Στη συνέχεια πρέπει να σφραγιστούν οι ρωγμές με εποξειδική κόλλα και τέλος να γίνει τοποθέτηση εξωτερικών συνδετήρων και κάλυψη τους με εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Μπορούν επίσης να επικολληθούν ελάσματα αντί για συνδετήρων αλλά και αυτά να επικαλυφθούν με εκτοξευμένο σκυρόδεμα.

Έντονη ρηγμάτωση με τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος: Μετά την υποστύλωση πρέπει να καθαιρεθεί το βλαμμένο τμήμα και να αντικατασταθεί με έγχυτο ή εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Σε περίπτωση βλάβης του οπλισμού διάτμησης πρέπει να προστεθούν επί πλέον εξωτερικοί συνδετήρες (κολάρα). Επίσης αν η δοκός ρηγματώθηκε λόγω κάμψης θα πρέπει είτε να επικολληθούν λεπτά ελάσματα στο εφελκυσμένο πέγμα είτε αν χρειαστεί να συγκολληθούν νέοι οπλισμοί στους παλιούς.

7.2 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Απλή ρηγμάτωση: Σε αυτή τη περίπτωση το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με απλό εμποτισμό με εποξειδικές κόλλες.

Έντονη ρηγμάτωση και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος. Σε αυτή τη περίπτωση πρώτα πρέπει να καθαιρεθεί το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα και να συγκολληθούν νέοι οπλισμοί στους παλιούς. Το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα μπορεί να ανακατασκευαστεί ή με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είτε με κατασκευή μανδύα και εμποτισμό με κονίαμα τσιμέντου – πλαστικών υλών. Επίσης μπορεί να τοποθετηθούν εξωτερικοί συσφιγγομενοι συνδετήρες και να τοποθετηθεί μιας στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Αν η ζημιά είναι πολύ μεγάλη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, τότε καθαιρείται όλο το σκυρόδεμα αποκαλύπτονται οι οπλισμοί, συγκολλούνται οι νέοι και κατασκευάζεται μανδύας σε όλο το ύψος από έγχυτο σκυρόδεμα.

7.3 ΠΛΑΚΕΣ:

Στις πλάκες αν εντοπιστούν απλές ρηγματώσεις αποκαθίστανται με εμποτισμό από εποξειδικές κόλλες.

Αν παρατηρηθούν έντονες ρηγματώσεις τότε πρέπει να επισκευαστεί το άνω μέρος με τοποθέτηση δομικού πλέγματος με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αφού προηγηθεί πλήρωση ρωγμών με εποξειδικές κόλλες. Όσο αφορά το κάτω πέλμα ακολουθείτε η ίδια διαδικασία με τη διαφορά ότι πρέπει να χρειάζεται να ηλεκτροσυγκολληθούν νέοι οπλισμοί.

7.4. ΠΡΟΒΟΛΟΙ:

Στο πάνω πέλμα πρέπει να ηλεκτροσυγκολληθούν νέοι οπλισμοί που αγκυρώνονται στο συνεχόμενο άνοιγμα. Στη συνέχεια πρέπει να τοποθετηθεί το νέο δομικό πλέγμα και να διαστρωθεί με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Επίσης στο κάτω πέλμα πρέπει να τοποθετηθεί το δομικό πλέγμα και να καλυφθεί με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Τ.Ε.Ε. '10ον ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ': "Υπολογισμός Κατασκευών Σκυροδέματος σε επιπόνηση πυρκαγιάς"

[2] Τ.Ε.Ε. '11ον ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ'

[2] Τ.Ε.Ε. '12ον ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ'

[4] 2^ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ 'ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ-96'

[5] 3^ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ 'ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ-97',
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1997