
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΥΨΗΛΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ**

ΦΑΙΔΡΑ ΓΙΑΝΝΟΥΛΑ
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΕΡΔΙΚΑΡΗΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΝΕΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΣ: ΜΠΙΣΚΙΝΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΕΓΚΡΙΝΕΤΑΙ

Ο ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΜΠΙΣΚΙΝΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ©2021

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της σε οποιαδήποτε μορφή αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και των φοιτητών. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το εν λόγω τμήμα του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Η έγκριση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων των συγγραφέων εκ μέρους του Τμήματος.

Οι υποφαινόμενοι δηλώνουν υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό τους έργο και συγγραφή και ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών. Δηλώνουμε υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολουθήσαμε την πρέπουσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής. Έχουμε επίσης αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής. Γνωρίζουμε ότι η λογοκλοπή μπορεί να επισύρει ποινή ανάκλησης του πτυχίου μας.

Υπογραφές

Φαίδρα ΓΙΑΝΝΟΥΛΑ Παναγιώτης ΠΕΡΔΙΚΑΡΗΣ Νικόλαος ΚΑΝΕΛΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Μπισκίνη Διονύσιο για την πολύτιμη βοήθεια και συμβουλές που μας έδωσε καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
2. ΦΥΣΙΚΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	12
2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	20
2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	22
3. ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	54
3.1 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	57
3.2 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	71
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ	82
4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	84
4.2 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα κτίρια αποτελούν την πλειονότητα των δομημένων υποδομών και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη μιας χώρας. Τα περισσότερα από τα κτίρια έχουν σχεδιαστεί για να διαρκούν αρκετές δεκαετίες και να παρέχουν οικιακές και λειτουργικές δυνατότητες σε μεγάλο αριθμό κατοίκων καθ' όλη τη διάρκεια της αξιοποίησής τους. Επομένως, σε αυτό το διάστημα τα κτήρια υπόκεινται σε πολλούς φυσικούς (σεισμοί, τυφώνες, πλημμύρες, κ.λπ.) και ανθρωπογενείς κινδύνους (πυρκαγιές, εκρήξεις, κ.λπ.) που μπορούν να προκαλέσουν μερική ή ολική κατάρρευσή τους, καθώς και αδυναμία των λειτουργικών ικανοτήτων τους. Τέτοιες καταστροφές ή λειτουργικές ανικανότητες μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τη ζωή και την ασφάλεια των κατοίκων σε περιπτώσεις κινδύνου. Παράλληλα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές άμεσες και έμμεσες νομισματικές απώλειες, επιφέροντας κοινωνική αστάθεια και αναταραχή. Ως εκ τούτου, τα κτήρια σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντέχουν ενέργειες από πολλούς αναμενόμενους κινδύνους, διασφαλίζοντας τη δομική ασφάλεια κατά τη διάρκεια της σχεδιαστικής ζωής τους. Ένα τέτοιο ακραίο κίνδυνο αντιπροσωπεύουν και οι πυρκαγιές που μπορεί να προκύψουν και να επιφέρουν πολύ σημαντικές ζημιές στα οικοδομήματα. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς στα κτήρια μπορεί να οριστεί ως η πιθανότητα τυχαίας ή σκόπιμης φωτιάς απειλώντας τη ζωή, τη δομή και την ασφάλεια της ιδιοκτησίας σε ένα κτίριο.

Είναι ευρύτερα γνωστές οι επιδράσεις των υψηλών θερμοκρασιών (μεγαλύτερες των 200° C) τόσο σε μεταλλικές όσο και σε κατασκευές από σκυρόδεμα. Ιδιαίτερα στις μεταλλικές κατασκευές και ειδικότερα στους χάλυβες, οι ιδιότητες που επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες είναι κυρίως τα όρια διαρροής, οι εφελκυστικές αντοχές και οι παραμορφώσεις θραύσεως. Οι επιδράσεις εξαρτώνται κυρίως από τις τιμές των θερμοκρασιών, τις διάρκειες εκθέσεων σε αυτές καθώς και τις μεθόδους παραγωγής του κάθε χάλυβα.

Ο σχεδιασμός των οικοδομημάτων να αντέχουν στις πυρκαγιές είναι ένα θέμα μεγάλης σημασίας στα έργα και στις κατασκευές κτιρίων. Όχι μόνο επειδή εγγυάται τη διατήρηση ενός τοπίου δομικής σταθερότητας των κτηρίων ώστε να εκκενωθούν από τους ανθρώπους, αλλά επειδή βοηθά στην αντιμετώπιση και

κατάσβεση της πυρκαγιάς από την πυροσβεστική και συμβάλλει στη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας των κτιρίων μετά τη φωτιά.

Η πλειονότητα των δομικών κωδικών για το σχεδιασμό πυρκαγιάς (π.χ. Ευρωκώδικες) υποδεικνύουν σχετικά απλές μεθόδους σχεδιασμού μεμονωμένων στοιχείων, χωρίς όμως να υπολογίζουν όλα τα δεδομένα που εμπλέκονται σε καταστάσεις πυρκαγιάς. Ωστόσο κατά τη διάρκεια της σχεδίασης προσφέρουν τη δυνατότητα χρήσης προηγμένων μεθόδων υπολογισμού, επιτρέποντας η κατασκευή να υπολογιστεί ως σύνολο.

Στη δεκαετία του 1960 μια σειρά από δραματικές πυρκαγιές, όπως η φωτιά στην υπέρ-αγορά "L'Innovation" στις Βρυξέλλες και η πυρκαγιά στη ντισκοτέκ "Le Cinq Sept" στο Saint-Laurent-du-Pont στη Γαλλία, οδήγησαν στην εκπόνηση νέων κανονισμών στις ευρωπαϊκές χώρες.

Αυτοί οι κανονισμοί καθορίζουν:

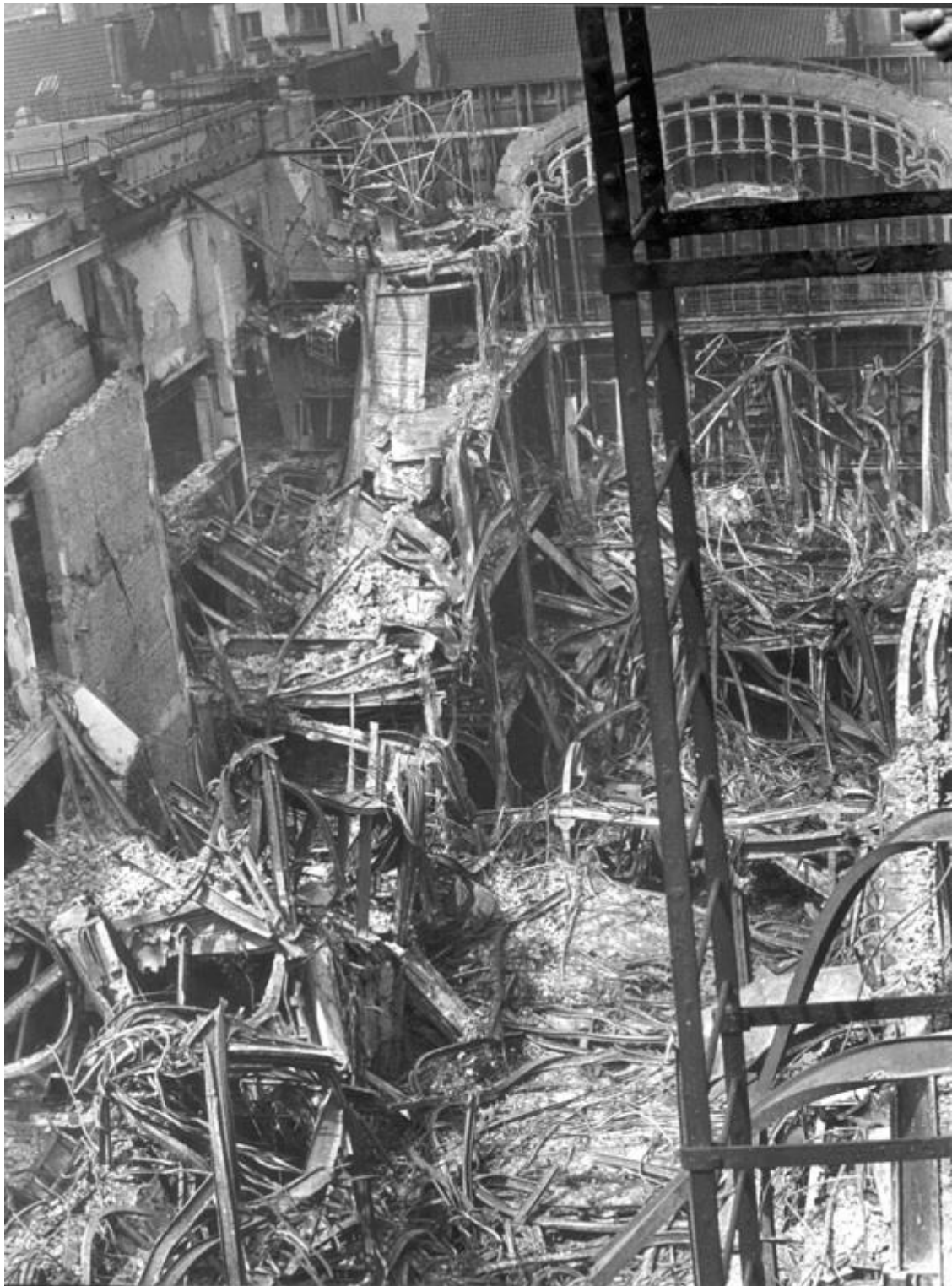
- τους τρόπους διαφυγής των ανθρώπων καθορίζοντας τον αριθμό των εξόδων κινδύνου, τα χαρακτηριστικά των πινακίδων εξόδου, τον αριθμό των κλιμακοστασιών και το πλάτος των θυρών.
- την πρόληψη εξάπλωσης της πυρκαγιάς με αναφορά στις έννοιες της αντίστασης και της αντίδρασης στη φωτιά.
- τα διαμερίσματα περιορίζονται από πυρίμαχους τοίχους και πόρτες, το μέγεθος των διαμερισμάτων είναι περιορισμένο, δίνονται ελάχιστα ύψη στα περβάζια και στα παράθυρα ώστε να αποφευχθεί η εξάπλωση της φωτιάς από το δάπεδο στο πάτωμα.
- η αντίδραση στη φωτιά επιτρέπει τον περιορισμό της συμβολής του υλικού, εντός ενός δεδομένου διαμερίσματος, στην ανάπτυξη της φωτιάς.
- την αντίσταση στη φωτιά της κατασκευής σε όρους περιόδου αντίστασης ISO-πυρκαγιάς, R30, 60, 90 ή 120.
- οι συνθήκες εξάτμισης καπνού και θερμότητας.
- την εφαρμογή ενεργών μέτρων καταπολέμησης της πυρκαγιάς, όπως ο αριθμός των πυροσβεστήρων χειρός, οι ανιχνευτές καπνού και οι ψεκαστήρες.
- τους όρους πρόσβασης για την πυροσβεστική.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τραγική πυρκαγιά στο πολυκατάστημα L’Innovation στο Rue Neuve στις Βρυξέλλες στις 22 Μαΐου του 1967 κόστισε τη ζωή σε 251 ανθρώπους και τραυμάτισε 62. Εκ των υστέρων αυτό δείχνει ότι θα συνέβαινε αργά ή γρήγορα, ενώ σε περίπτωση πυρκαγιάς, πολλά δημόσια κτίρια εκείνης της περιόδου θα μετατρέπονταν σε παγίδες θανάτου. Στο πολυκατάστημα συγκεκριμένα, δεν υπήρχε ούτε σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς και ούτε ψεκαστήρες πυρόσβεσης, δεν υπήρχε καμία μελέτη διαμερισματοποίησης και δεν υπήρχαν έξοδοι κινδύνου. Η μεταλλική δομή του κτηρίου δεν προστατευόταν, ενώ πολύ εύφλεκτα φύλλα χαρτονιού κάλυπταν τους τοίχους και είχαν χρησιμοποιηθεί ως ψευδοροφές. Η πρόσβαση της πυροσβεστικής υπηρεσίας στο φλεγόμενο κτήριο παρεμποδιζόταν από τις διαφημιστικές πινακίδες που μπλόκαραν τα παράθυρα στην πρόσοψη, από τη στενότητα του δρόμου λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης καθώς και των πολλών παρκαρισμένων αυτοκινήτων.

Το σοκ που προκλήθηκε από την καταστροφή ανάγκασε τις αρχές να αναλάβουν δράση. Πολύ γρήγορα, το Υπουργείο Εσωτερικών ολοκλήρωσε μια σειρά νόμων, βασιλικών διατάξεων και υπουργικών εγκυκλίων, ενώ παράλληλα το Βέλγικο Ινστιτούτο Τυποποίησης (Belgian Institute for Standardization: IBN) δημοσίευσε με τη σειρά του πρότυπα. Το περιστατικό του Βελγίου δεν ήταν το μοναδικό, καθώς σχεδόν όλες οι υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες είχαν να αντιμετωπίσουν το ίδιο πρόβλημα. Σχεδόν αμέσως ιδρύθηκαν εργαστήρια και ξεκίνησαν μια σειρά δοκιμών. Το 1988, η «Οδηγία Δομικών Προϊόντων» που εκδόθηκε από το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων αναγνώρισε την πυρασφάλεια ως μία από τις έξι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν οι κατασκευές ώστε να καταστούν λειτουργικές. Έτσι σήμερα, έπειτα από μερικές δεκαετίες, τα ευρωπαϊκά πρότυπα των γνήσιων προϊόντων, εναρμονίζονται με τα ευρωπαϊκά πρότυπα υπολογισμού, τα οποία χρησιμοποιούνται ως βάση για τους εθνικούς κανονισμούς κάθε χώρας.

Είναι λοιπόν ζωτικής σημασίας να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται κτήρια και κατασκευές που να προστατεύουν αποτελεσματικά τόσο τα άτομα όσο και τα αγαθά. Τα ετήσια στατιστικά στοιχεία για τους θανάτους που προκλήθηκαν από πυρκαγιές σε κτήρια αναδεικνύουν τη σκληρή και θλιβερή πραγματικότητα. Ταυτόχρονα όμως αυτά τα γεγονότα παρέχουν πληροφορίες και στοιχεία για την πυρασφάλεια και τον σχεδιασμό των κατασκευών.



Εικόνα 1: L'Innovation μετά τη φωτιά

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες (1993-2015) 86.4 εκατομμύρια περιστατικά πυρκαγιάς συνολικά προκάλεσαν περισσότερους από ένα εκατομμύριο θανάτους

από φωτιά (Brushlinsky et al. 2017). Παράλληλα οι συνολικές ετήσιες απώλειες που προκλήθηκαν παγκοσμίως από αποζημιώσεις πυρκαγιάς, ανέρχονται περίπου στο 1% του παγκόσμιου ΑΕΠ και οι οποίες ισούνται με 857.9 δισεκατομμύρια \$ περίπου (Bulletin 2014, GDP 2018). Μεταξύ των ετών 2010-2014, ο μέγιστος αριθμός πυρκαγιών (600.000 - 1.500.000 ετησίως) και ο δεύτερος υψηλότερος αριθμός θανάτων από φωτιές (1.000 - 10.000 ετησίως) παγκοσμίως, εμφανίστηκαν σε μια ανεπτυγμένη χώρα όπως οι ΗΠΑ (Brushlinsky et al. 2016). Επιπρόσθετα την ίδια χρονική περίοδο, αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Ινδία και το Πακιστάν υπέστησαν τον υψηλότερο αριθμό θανάτων από πυρκαγιές (10.000 - 25.000 ετησίως) και δεύτερο υψηλότερο αριθμό πυρκαγιών (100.000 - 600.000 ετησίως) (Brushlinsky et al., 2016).

2. ΦΥΣΙΚΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Ως καύση ορίζεται η οξειδοαναγωγική χημική αντίδραση του οξυγόνου, κατά τη διάρκεια της οποίας εκλύονται ποσότητες φωτός και πραγματοποιείται αύξηση της θερμοκρασίας. Η φωτιά είναι μια αντίδραση καύσης η οποία συνοδεύεται από ταχείες και σημαντικές εκλύσεις ποσοτήτων θερμότητας και από ισχυρές φωταύγειες. Ένα ποσοστό της εκλυόμενης θερμότητας διαβιβάζεται στα υλικά που καίγονται και ένα ποσοστό διαφεύγει προς το περιβάλλον μέσω θερμικών ακτινοβολιών και των κινήσεων των θερμών αερίων, παρασύροντας σπίθες και υλικά. Η φωτιά συνήθως συναντάται σε κλιβάνους και λέβητες με τη μορφή ελεγχόμενης καύσης. Στον αντίποδα η πυρκαγιά περιλαμβάνει ανεξέλεγκτη καύση και το μέγεθός της εκτιμάται από τη ζημιά που μπορεί να προκαλέσει.

Υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά μεταξύ της φωτιάς και της πυρκαγιάς. Σε μια ελεγχόμενη καύση που αντιστοιχεί σε σενάριο που ορίζεται από ένα προκαθορισμένο θερμικό πρόγραμμα, διατηρείται ο έλεγχος του φαινομένου. Αυτά τα σενάρια συναντώνται στη βιομηχανία γυαλιού, στη βιομηχανία κεραμικών και σε άλλες βιομηχανίες, καθώς και σε εργαστήρια δοκιμών. Σε όλα αυτά τα μέρη οι φωτιές παράγονται σε κλιβάνους ή θαλάμους δοκιμών και ο καπνός διοχετεύεται έτσι ώστε να μην ενοχλεί τους χειριστές. Εν αντιθέσει με τους πυροσβέστες οι οποίοι προσπαθούν να θέσουν υπό έλεγχο μια ανεξέλεγκτη καύση που αντιστοιχεί σε ένα σενάριο με απρόβλεπτες πτυχές.

Για να ξεκινήσει η φωτιά πρέπει να υπάρχουν ταυτόχρονα τρία στοιχεία, τα οποία είναι οξυγόνο, εύφλεκτα υλικά και μία πηγή θερμότητας και ονομάζονται τρίγωνο της φωτιάς (Brüls and Vandeveldel 2000). Τα πρώτα δύο στοιχεία αρχίζουν και καίγονται όταν φτάσουν σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Η καύση του άνθρακα παράγει διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), ενώ σε καταστάσεις έλλειψης οξυγόνου παράγει μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το οποίο είναι εξαιρετικά επικίνδυνο και τοξικό για τον άνθρωπο. Η φωτιά περιλαμβάνει μια φάση ανάπτυξης στην οποία η θερμοκρασία αυξάνεται και στη συνέχεια, μια φάση παρακμής στην οποία αυτή η θερμοκρασία μειώνεται.

Μια πηγή θερμότητας προκαλεί πυρκαγιά σε ποσότητα υλικών και εν συνεχεία εμφανίζονται τα πρώτα αέρια και καπνός. Σε κλειστό περιβάλλον, κάτω την επίδραση της αυξανόμενης θερμότητας, ο καπνός ανεβαίνει στην οροφή σχηματίζοντας ένα λοφίο. Σε αυτό το σημείο, απλώνεται ακτινικά κατά μήκος της οροφής έως ότου φτάσει σε έναν τοίχο και συνεχίζει προς τα κάτω όπου λιμνάζει σχηματίζοντας ένα ανώτερο στρώμα κάτω από την οροφή. Έτσι σε γενικές γραμμές, το δωμάτιο περιέχει ένα δροσερό κάτω στρώμα που αποτελείται από ατμοσφαιρικό αέρα, αέριο και ένα θερμό άνω στρώμα (μοντέλο δύο ζωνών). Όταν η θερμοκρασία φτάσει στους 200° C προκαλεί τη θραύση των παραθύρων, δημιουργώντας έτσι μια ξαφνική εισροή φρέσκου οξυγόνου η οποία τροφοδοτεί και αναζωογονεί τη φωτιά. Έτσι το ανώτερο στρώμα κινείται πιο κοντά στο πάτωμα διότι αυξάνεται σε όγκο ως αποτέλεσμα της τροφοδοσίας του από επιπλέον ποσότητες καπνού.

Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης μιας πυρκαγιάς μπορεί να υπάρξει μια στιγμή όπου η θερμοκρασία του άνω στρώματος να είναι τόσο υψηλή που να προκαλεί ανάφλεξη σε οποιοδήποτε εύφλεκτο στοιχείο υπάρχει στο χώρο. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό και ονομάζεται «φούντωμα» (flashover) και συνήθως συμβαίνει σε θερμοκρασίες από 500 °C έως 600 °C. Η εξαιρετικά ταχεία αύξηση των θερμοκρασιών και η αύξηση στην απελευθέρωση ποσοτήτων θερμότητας προκαλεί την ανάδευση του καπνού επιφέροντας έτσι ανάμειξη των στρωμάτων στο χώρο (μοντέλο μονής ζώνης). Σε αυτό το σημείο η πυρκαγιά βρίσκεται στην πλήρης δυναμική και ανάπτυξή της. Συνοψίζοντας λοιπόν οι χαρακτηριστικές φάσεις μιας πυρκαγιάς είναι:

- Έναυση – Φωτεινή φάση: ανάφλεξη και πυρκαγιά σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία με μια διάρκεια που είναι συχνά δύσκολο να εκτιμηθεί. Παράγεται θερμική ενέργεια όπου ένα ποσοστό της διατηρεί την καύση.
- Επώαση: Μια αναπτυσσόμενη φάση και μια κατάσταση αρχικής εξάπλωσης που ονομάζεται προ-ανατροπή (pre-flashover) και συναντάται στα αρχικά στάδια των πυρκαγιών όπου είναι σχετικά περιορισμένες. Η διάρκεια αυτής της φάσης εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του διαμερίσματος. Η πυρκαγιά παραμένει περιορισμένη και εντοπίζεται στο σημείο ανάφλεξης της

μέχρι το πιθανό φούντωμα (flashover) όπου ανατρέπεται η κατάσταση προς απότομη εξάπλωση και πλήρη εξάπλωση.

- Φούντωμα – Ανατροπή: στο στάδιο αυτό η φωτιά έχει εξελιχθεί σε μια γενικευμένη πυρκαγιά. Αυτή η φάση είναι γενικά πολύ σύντομη, διαρκώντας μικρό χρονικό διάστημα.

Στις παρακάτω φωτογραφίες αποτυπώνονται χαρακτηριστικές εικόνες της στιγμής του φουντώματος μια πυρκαγιάς.



Εικόνα 2: Φούντωμα - Ανατροπή Πυρκαγιάς (Flashover)_1



Εικόνα 3: Φούντωμα - Ανατροπή Πυρκαγιάς (Flashover)_2



Εικόνα 4: Φούντωμα - Ανατροπή Πυρκαγιάς (Flashover)_3



Εικόνα 5: Φούντωμα - Ανατροπή Πυρκαγιάς (Flashover)_4

- Μια πυρκαγιά μετά από ανατροπή: αυτή η φάση αντιστοιχεί σε μια γενικευμένη πυρκαγιά κατά τη διάρκεια της οποίας καταναλώνονται μεγάλα μεγέθη των υπαρχόντων καύσιμων υλικών. Η διάρκεια αυτής της κατάστασης εξαρτάται από τις ποσότητες των καύσιμων υλικών και των διατάξεων εξαερισμού, τα οποία καθορίζουν το μέγεθος της δυναμικής της πυρκαγιάς.



Εικόνα 6: Πυρκαγιά σε Κτήριο_1

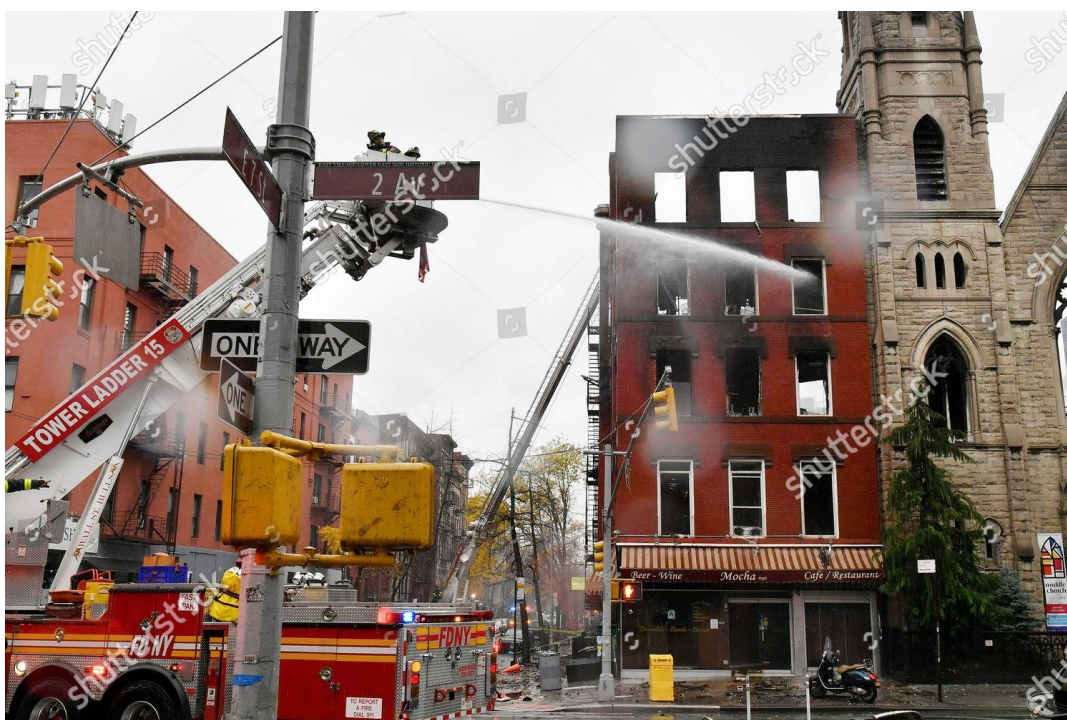


Εικόνα 7: Πυρκαγιά σε Κτήριο_2

- Μια φθίνουσα φάση: η πυρκαγιά αρχίζει να μειώνεται μέχρι να καταναλωθούν εντελώς όλα τα καύσιμα υλικά.



Εικόνα 8: Φθίνουσα φάση Πυρκαγιάς - Κατάσβεση_1



Εικόνα 9: Φθίνουσα Φάση Πυρκαγιάς - Κατάσβεση_2

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την εξάπλωση της πυρκαγιάς περιλαμβάνουν τις παρακάτω κυριότερες προϋποθέσεις:

- Πυρκαγιά [πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς, εξάπλωση πυρκαγιάς, διάρκεια πυρκαγιάς, φορτίο πυρκαγιάς, σοβαρότητα πυρκαγιάς...]
- Συνθήκες εξαερισμού
- Πυρκαγιά (τύπος, μέγεθος, γεωμετρία)
- Τύπος του δομικού στοιχείου
- Συνθήκες εκκένωσης
- Ασφάλεια των ομάδων διάσωσης
- Κίνδυνος για τα γειτονικά κτίρια
- Ενεργά μέτρα πυρόσβεσης

Ευτυχώς, οι περισσότερες πυρκαγιές δεν φτάνουν ποτέ στο σημείο flashover επειδή εντοπίζονται και σβήνονται με επιτυχία, ή επειδή δεν υφίστανται οι απαιτούμενες συνθήκες περιβάλλοντος εντός του χώρου. Μερικές πυρκαγιές σβήνουν από μόνες τους λόγω ανεπαρκούς παροχής αέρα ή λόγω ανεπαρκούς παρουσίας καύσιμων ώστε να τροφοδοτούν την φωτιά. Ιστορικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι το flashover δεν θα πραγματοποιηθεί σε χώρους που είναι σωστά σχεδιασμένοι, με εγκατεστημένα και λειτουργικά αυτόματα συστήματα αντιμετώπισης πυρκαγιάς.

2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Οι κατασκευές από σκυρόδεμα θεωρούνται παραδοσιακά ως κατασκευές με χαμηλή ευαισθησία σε περίπτωση πυρκαγιάς, σε αντίθεση με τις κατασκευές από ξύλο ή χάλυβα. Οι ξύλινες κατασκευές έχουν πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες αλλά είναι ιδιαίτερα εύφλεκτες. Η ευφλεξιμότητα της ξυλείας είναι ένας από τους κύριους λόγους που πολλοί οικοδομικοί κανονισμοί περιορίζουν αυστηρά τη χρήση ξυλείας ως δομικό υλικό. Η πυρασφάλεια είναι μια σημαντική συμβολή στην αίσθηση ασφάλειας, και ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή δομικών υλικών. Ιστορικά, η ευκολία καύσης του ξύλου υπήρξε μειονέκτημα στη χρήση ξυλείας ως δομικού υλικού.

Στις μεταλλικές κατασκευές, παρόλο που ο χάλυβας είναι άκαυστος, αποτελεί έναν εξαιρετικό αγωγό θερμότητας και οι ιδιότητες του υλικού είναι πολύ ευαίσθητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Εκτός από τη σοβαρότητα αποσύνθεσης του υλικού σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, ιδιαίτερα σημαντική είναι και η συνολική δομική συμπεριφορά, καθώς οι κατασκευές από χάλυβα συνήθως διέπονται από κριτήρια σταθερότητας. Επομένως, τα χαλύβδινα μέλη είναι δυνητικά ευαίσθητα στις επιβληθείσες μετατοπίσεις που σχετίζονται με συνθήκες πυρκαγιάς.

Κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα επιδεινώνονται από τις επιδράσεις των αυξημένων θερμοκρασιών. Είναι πολύ πιθανό να συμβούν μειώσεις της αντοχής, της δυσκαμψίας και του μέτρου ελαστικότητας. Συνάμα μπορούν να συμβούν εκτροπές, τοπικοί λυγισμοί και στρέψη των χαλύβδινων μελών. Επιπρόσθετα μπορεί να επέλθουν αλλαγές στις φυσικές και υλικές ιδιότητες του δομικού χαλύβδινου πλαισίου κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, καθώς επίσης να συμβούν θερμικές επιμηκύνσεις, μειώσεις στην αντοχή και μειώσεις στη δυσκαμψία. Λόγω των αλλαγών στις ιδιότητες του υλικού, μπορεί να συμβούν παραμορφώσεις και λυγίσεις στους 315° C (600° F). Σε περίπτωση που δομικά χαλύβδινα στελέχη του μεταλλικού πλαισίου, όπως δοκίδες ή κύριες δοκοί στήριξης, είναι πλήρως περιορισμένα στις συνδέσεις τους, μπορεί να εμφανίσουν παραμορφώσεις και λυγισμούς ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες των 120° C (250° F).

Η συσσωρευμένη εμπειρία από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των μηχανικών συμπεριφορών των στερεών υλικών – και κατά συνέπεια και των μετάλλων – έχουν δείξει ότι όλα τα υλικά παθαίνουν παραμορφώσεις. Πιο συγκεκριμένα υφίστανται μεταβολές των διαστάσεων ή ακόμα και των σχημάτων τους, υπό τις επιδράσεις διαφόρων εξωτερικών φορτίων. Επιπλέον, οι μελέτες έχουν δείξει ότι το κάθε υλικό έχει την δική του αποκλειστική και ξεχωριστή τιμή οριακού φορτίου. Εάν αυτή η τιμή δεν υπερβεί τα όριά της, τότε το υλικό θα επανέλθει στην αρχική του κατάσταση μόλις το εκάστοτε φορτίο απομακρυνθεί. Οι ικανότητες επαναφοράς των υλικών που υπόκεινται διάφορες παραμορφώσεις στις αρχικές τους καταστάσεις, μόλις σταματήσει η επήρεια των εκάστοτε φορτίων, ονομάζονται ελαστικές συμπεριφορές. Κατά αντιστοιχία, αυτού του είδους οι παραμορφώσεις ονομάζονται ελαστικές παραμορφώσεις.

Όταν ξεπεραστεί η τιμή του οριακού φορτίου, τότε το υλικό σταματάει να συμπεριφέρεται ελαστικά. Αυτή η τιμή όπου τα υλικά αλλάζουν συμπεριφορά ονομάζεται όριο ελαστικότητας (elastic limit) και είναι διαφορετική για κάθε ένα από αυτά. Ειδικότερα για τα μέταλλα, αυτά τα οριακά φορτία συνήθως αναφέρονται ως όρια διαρροής (yield stress). Βέβαια θα πρέπει να επισημανθεί πως το όριο ελαστικότητας και το όριο διαρροής δεν ταυτίζονται πάντα σαν έννοιες. Πάντως, όταν εξετάζονται οι μηχανικές συμπεριφορές των μεταλλικών υλικών, αυτά που συνήθως χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς και βρίσκουν πρακτικές εφαρμογές είναι τα όρια διαρροής.

Στην πλειονότητα των στερεών υλικών, όσο οι τιμές των εξωτερικών φορτίων είναι μικρότερες από τα όρια ελαστικότητας, οι υφιστάμενες ελαστικές παραμορφώσεις είναι ευθέως και γραμμικά ανάλογες προς τα εφαρμοζόμενα φορτία. Αυτή η γραμμική συσχέτιση μεταξύ φορτίων και παραμορφώσεων ονομάζεται «νόμος του Hooke» και ισχύει για όλα τα μέταλλα που υπόκεινται σε μικρές τιμές παραμορφώσεων. Όταν ξεπεραστούν τα όρια διαρροής των υλικών, τότε τα στερεά σώματα υφίστανται μόνιμες μεταβολές των διαστάσεων και των σχημάτων τους, οι οποίες θα παραμείνουν έστω και εάν αφαιρεθούν τα φορτία. Αυτού του είδους οι μεταβολές των υλικών ονομάζονται πλαστικές παραμορφώσεις.

2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Είναι λογικό και ευρέως γνωστό πως όταν αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες στα δομικά υλικά, επηρεάζονται αρνητικά τόσο οι μηχανικές όσο και οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Θλιπτικές και εφελκυστικές αντοχές, όρια διαρροής, όρια θραύσεως, μέτρα ελαστικότητας καθώς και αλλαγές στις κρυσταλλικές δομές και το πορώδες είναι μόνο μερικά χαρακτηριστικά των υλικών που επηρεάζονται δυσμενώς. Οι θερμοκρασίες, οι τάσεις και οι παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων των κατασκευών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια πυρκαγιών, έχουν άμεση εξάρτηση από τις θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών που τα απαρτίζουν. Γενικότερα σε υψηλές θερμοκρασίες τα υλικά έχουν μειωμένες αντοχές και παρουσιάζουν μικρές αντιστάσεις σε παραμορφώσεις. Το μεγαλύτερο ποσοστό των θερμικών και μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών εξαρτάται από τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, ενώ το υπόλοιπο από τις τάσεις και από το χρόνο.

Εκτός των γνωστών φυσικοχημικών (αποσυνθέσεις, απανθρακώσεις, διαστολές, τήξεις κλπ) και των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών (αντοχές, ελαστικότητες, παραμορφώσεις, ερπυσμός κλπ), υπάρχουν και οι θερμικές ιδιότητες (αγωγιμότητες, ειδικές θερμότητες) στις οποίες συγκαταλέγονται η θερμική αδράνεια (thermal inertia) και η θερμική διαχυτικότητα (thermal diffusivity). Η θερμική αδράνεια ($P = \sqrt{K\rho c}$) μετρά τις θερμικές διακυμάνσεις του υλικού, όπου το K είναι η θερμική αγωγιμότητα του υλικού, ρ είναι η πυκνότητας της μάζας του υλικού και c είναι η ειδική θερμότητα του υλικού. Η θερμική διαχυτικότητα ($\alpha = K/\rho C_p$) ορίζει το ρυθμό μεταφοράς της θερμότητας από το καυτό άκρο στο κρύο άκρο ενός υλικού, όπου το K είναι η θερμική αγωγιμότητα του υλικού, το ρ είναι η πυκνότητα του υλικού και το C_p η ειδική θερμική ικανότητα του υλικού.

Πλειάδα πειραματικών εργασιών πάνω σε όλες αυτές τις ιδιότητες των υλικών έχουν οδηγήσει σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα τους βαθμούς γνώσης.

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: Η σύσταση του σκυροδέματος αποτελείται από άμμο, γαρμπίλι, χαλίκι και νερό, όπου για συνδετικό χρησιμοποιείται το τσιμέντο. Αυτό το «δέμα» των υλικών όταν αναδευτεί για σύντομο χρονικό διάστημα και στις κατάλληλες αναλογίες, δημιουργεί το σκυρόδεμα. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος είναι ότι σκληραίνει σε μερικές ώρες και αποκτά τις υψηλές μηχανικές αντοχές του μετά από λίγα 24ωρα. Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται και πρόσμικτα - βελτιωτικά υλικά όπως, επιβραδυντές, ρευστοποιητές για βελτίωση της εργασιμότητάς του, καθώς και ίνες για περαιτέρω αύξηση των θλιπτικών και εφελκυστικών ικανοτήτων του.

Το σκυρόδεμα κατηγοριοποιείται ανάλογα με την ικανότητά του σε θλίψη και κάθε κατηγορία – ποιότητα χαρακτηρίζεται από δύο ισοδύναμες αντοχές. Για παράδειγμα η ποιότητα του σκυροδέματος C16/20 χαρακτηρίζεται από τις δύο χαρακτηριστικές τιμές θλιπτικών αντοχών των 16 MPa και 20 MPa. Η πρώτη τιμή αναφέρεται σε αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου και η δεύτερη σε αντοχή κυβικού δοκιμίου. Οι κατηγορίες – ποιότητες σκυροδέματος που υποστηρίζονται από τον Ευρωκώδικα 2 και το πρότυπο EN 206-1 αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα 1:

ΑΠΛΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	
ΚΥΡΙΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105

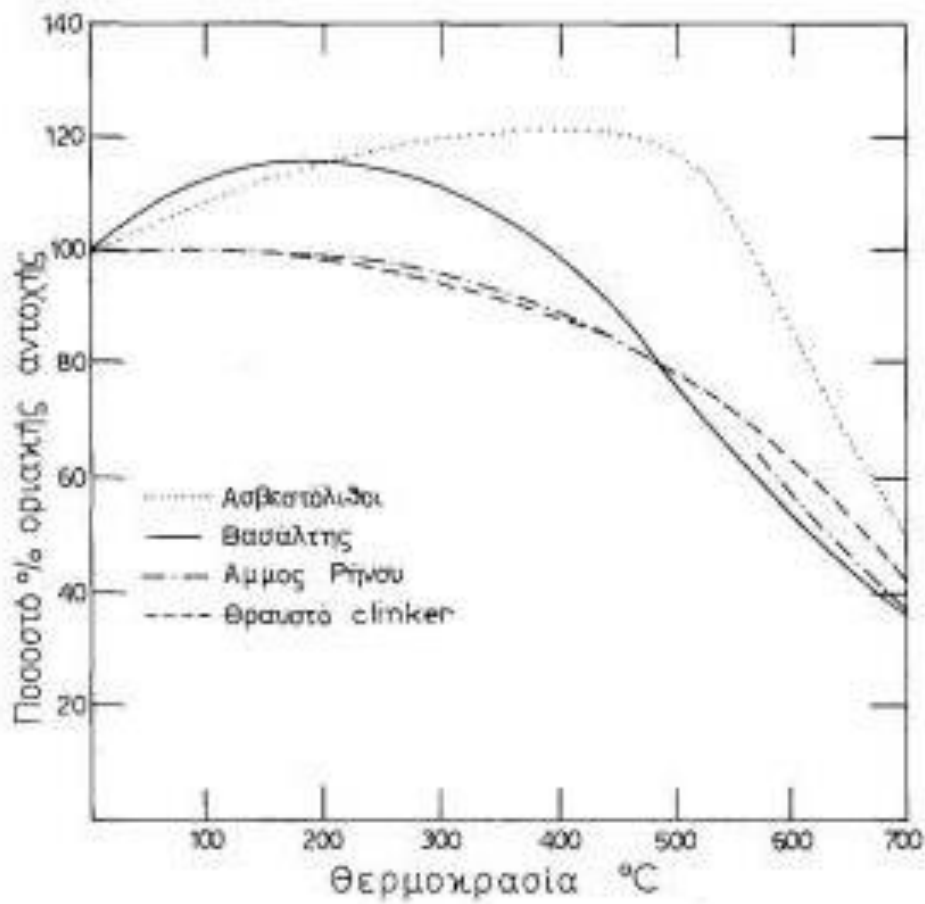
Πίνακας 1: Κατηγορίες Σκυροδέματος

Η προστασία των οπλισμών από διάφορες διαβρώσεις εξαρτάται από την ποιότητα, το πορώδες και τα πάχη επικαλύψεων των σκυροδεμάτων. Οι ποιότητες και οι πυκνότητες των επικαλύψεων επιτυγχάνονται με τις κατηγορίες της ελάχιστης αντοχής του εκάστοτε σκυροδέματος. Στον παρακάτω πίνακα 2 αναφέρονται οι ελάχιστες επικαλύψεις που πρέπει να υπάρχουν ανάλογα της ποιότητας του σκυροδέματος και τις συνθήκες έκθεσης.

	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΈΚΘΕΣΗΣ			
	Κανονικές συνθήκες (XC2 / XC3)	Δύσκολες συνθήκες (XC4)	Θαλασσινές συνθήκες (XD1 / XS1)	Πισίνες (XD2)
Κατηγορία Σκυροδέματος	C30/37			
Ελάχιστη Επικάλυψη	25mm	30mm	35mm	40mm
Κατηγορία Σκυροδέματος	C40/50			
Ελάχιστη Επικάλυψη	20mm	25mm	30mm	35mm

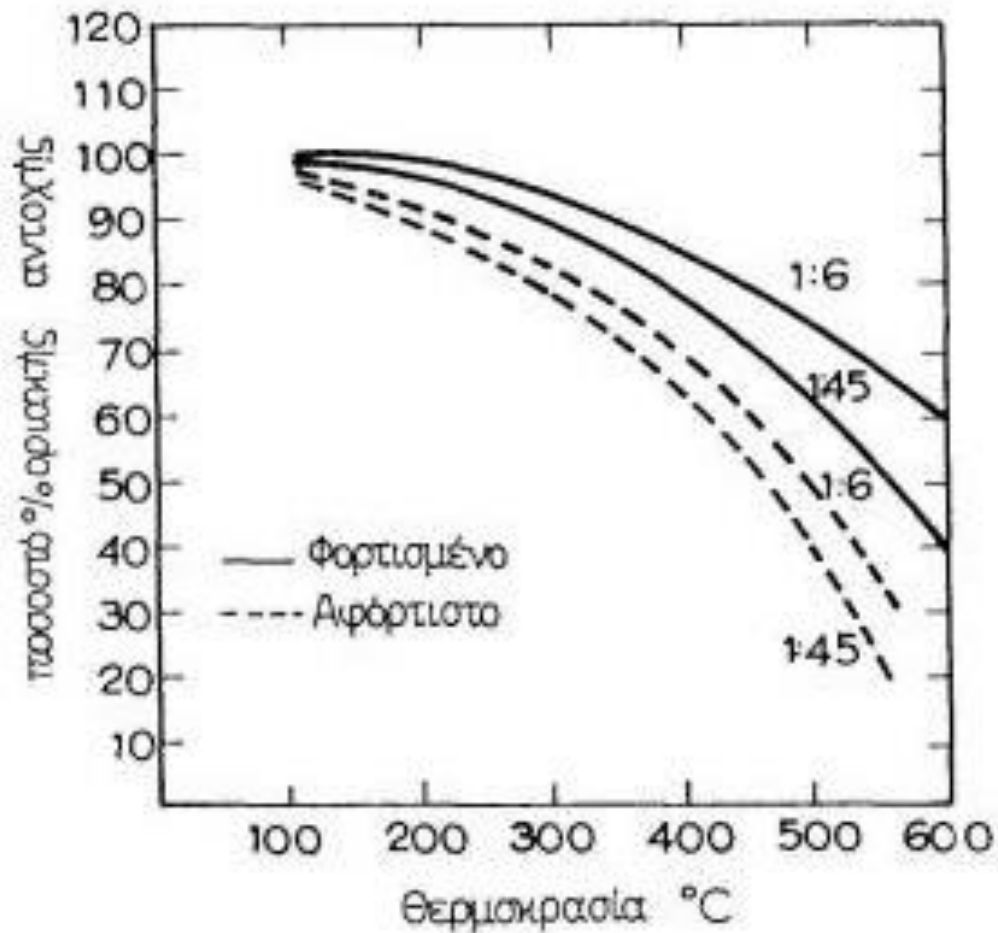
Πίνακας 2: Ελάχιστη επικάλυψη ανάλογα της κατηγορίας έκθεσης

Για τα σκυροδέματα θεμελιώδης σημασία έχουν οι μεταβολές της αντοχής σε θλίψη. Αυτές οι μεταβολές των αντοχών σε θλίψη συναρτήσεϊ των θερμοκρασιών, ποικίλουν ανάλογα με τα είδη των αδρανών, τις περιεχόμενες υγρασίες, το λόγο τσιμέντου προς αδρανή, τα είδη και τα μεγέθη της φόρτισης καθώς και το εάν οι δοκιμασίες γίνονται σε θερμά ή ψυχρά χρονικά σημεία. Για παράδειγμα τα σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή παρουσιάζουν μικρότερες πτώσεις των θλιπτικών αντοχών τους σε σχέση με αυτά από πυριτικά αδρανή, όπως αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην γραφική παράσταση (Διάγραμμα 1).



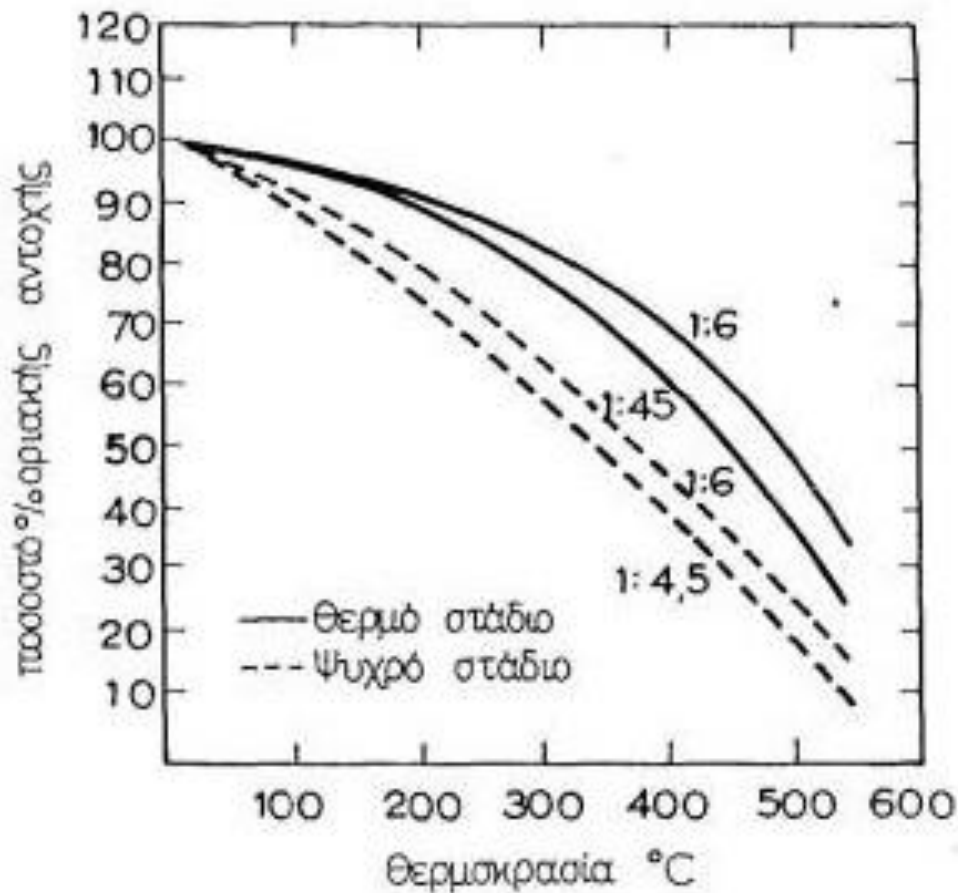
Διάγραμμα 1: Μεταβολή της αντοχής σε θλίψη σκυροδεμάτων με διάφορα αδρανή συναρτήσεως της θερμοκρασίας (Fire Security Technical, 2004).

Δοκίμια που φορτίζονται κατά τη θέρμανση και με μικρότερες αναλογίες τσιμέντου προς αδρανή εμφανίζουν ευνοϊκότερες συμπεριφορές όπως αποτυπώνεται στην γραφική παράσταση (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 2: Επιρροή φόρτισης και αναλογίας τσιμέντου - αδρανών στην αντοχή σε θλίψη (Fire Security Technical, 2004).

Δοκίμια που βρίσκονται στο θερμό στάδιο έχουν ευνοϊκότερες συμπεριφορές οριακών αντοχών θλίψης σε σχέση με δοκίμια που βρίσκονται στο ψυχρό στάδιο, όπως αποτυπώνεται στην γραφική παράσταση (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Αντοχή σε θλίψη σε θερμό και ψυχρό στάδιο (Fire Security Technical, 2004).

Όλες οι πειραματικές δοκιμές που έχουν γίνει καταλήγουν στο γεγονός ότι μέχρι τους 200° C δεν υφίστανται σοβαρές μειώσεις των αντοχών του σκυροδέματος, ενώ από τους 400° C και πάνω επέρχονται πολύ γρήγορα σημαντικές μειώσεις των αντοχών σε θλίψη. Παρόμοιες μειώσεις υφίστανται και για τα μέτρα ελαστικότητας. Υπό καθεστώς συνεχούς θέρμανσης τα σκυροδέματα υφίστανται ιδιαίτερα χαρακτηριστικές επιφανειακές θραύσεις – αποσχίσεις, οι οποίες μερικές φορές έχουν εκρηκτικές μορφές. Οι αποσχίσεις αυτές μπορεί να οφείλονται: α) σε θραύσεις των αδρανών όταν αυτά είναι πυριτικά, β) στις διαφορετικές θερμικές διαστολές των επιφανειακών στρωμάτων του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα τις ρηγματώσεις και τις αποσχίσεις τους και γ) στην ανάπτυξη μεγάλων πιέσεων ατμών στους πόρους του σκυροδέματος, σε επίπεδα παράλληλα προς την επιφάνειά του, οδηγώντας σε εκρηκτικές θραύσεις των εξωτερικών στρωμάτων.

Τον κύριο λόγο στις θερμικές και μηχανικές ιδιότητες των σκυροδεμάτων παίζουν οι πυκνότητες των εκάστοτε περιεχόμενων υλικών, οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από τη φύση των αδρανών. Σκυροδέματα με πυκνά αδρανή έχουν ειδικά βάρη που κυμαίνονται από 2,0 t/m³ έως 2,4 t/m³, ενώ με αραιά αδρανή έχουν ειδικά βάρη από 1,0 t/m³ έως 1,5t/m³.

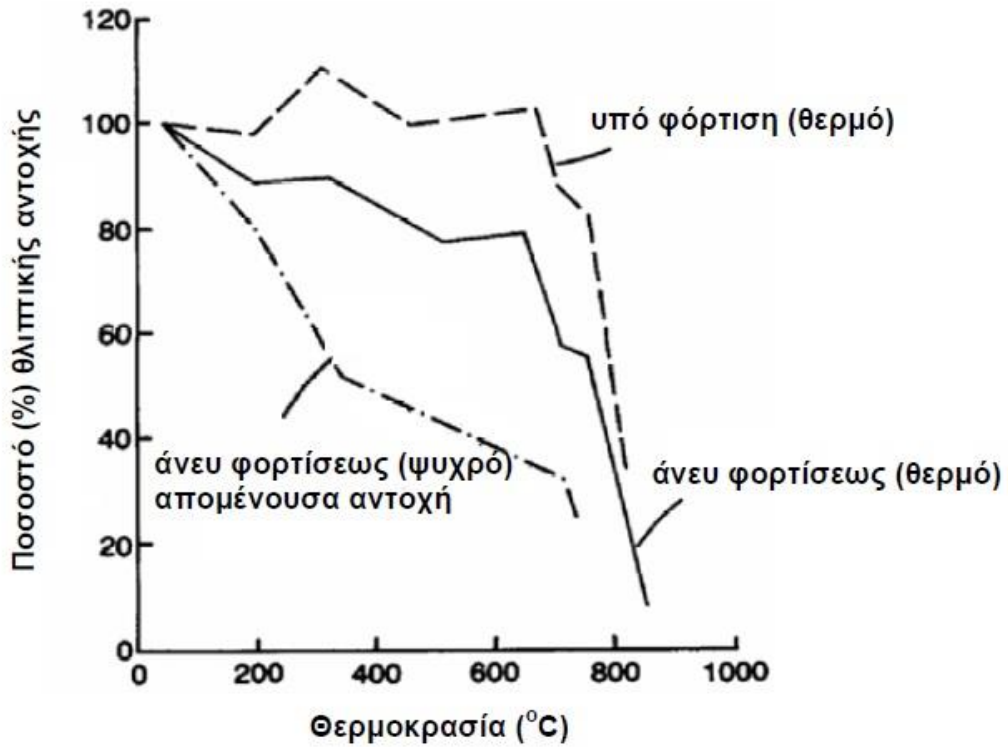


Εικόνα 10: Επιφανειακές Ζημιές Οπλισμένου Σκυροδέματος

Συνοψίζοντας τα σκυροδέματα όταν υποβάλλονται σε υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια μια πυρκαγιάς, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Μετά την πυρκαγιά και την επαναφορά των σκυροδεμάτων σε φυσιολογικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, τα μηχανικά χαρακτηριστικά δεν επιστρέφουν στις αρχικές τιμές τους. Έτσι υποβαθμίζονται οι μηχανικές αντοχές και ιδιότητές τους, καθιστώντας επικίνδυνο το οικοδόμημα.

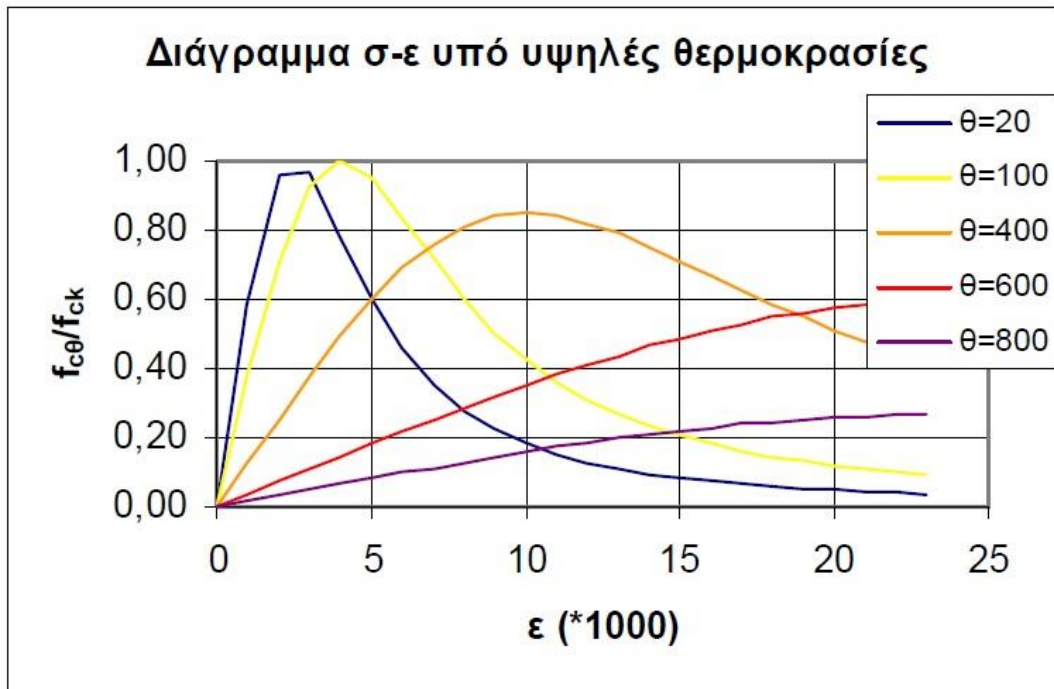
Πιο συγκεκριμένα, οι θλιπτικές αντοχές των σκυροδεμάτων μειώνονται όταν αυξάνονται οι θερμοκρασίες, κυρίως λόγω εσωτερικών ρηγματώσεων που προκαλούν οι θερμάνσεις του νερού, των ανομοιόμορφων θερμοκρασιακών κατανομών καθώς και λόγω των προκαλούμενων φυσικοχημικών αντιδράσεων

(ασβεστοποιήσεις). Αυτές οι μειώσεις εξαρτώνται τόσο από το περιεχόμενο είδος των αδρανών όσο και από τις στάθμες των φορτίσεων.



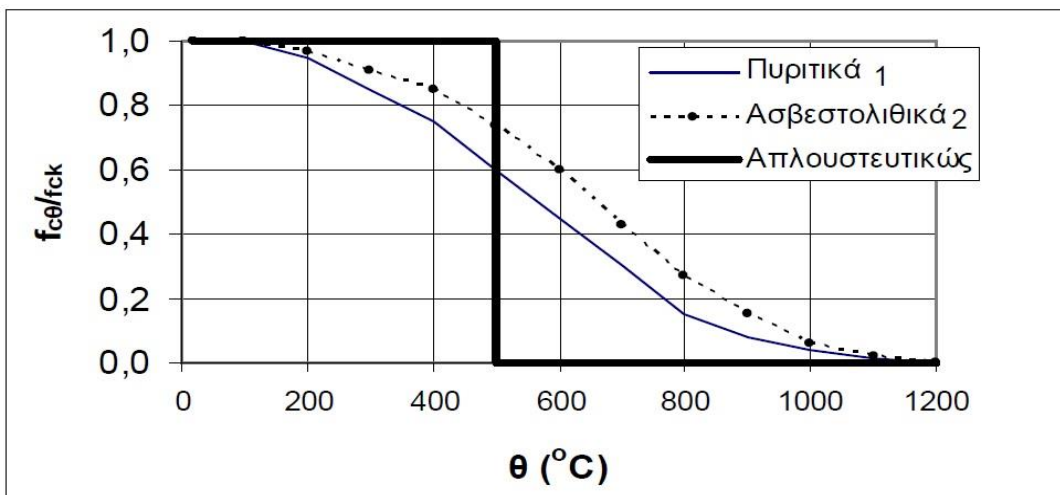
Διάγραμμα 4:

Ποσοστιαία μεταβολή θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος ασβεστολιθικών αδρανών (Bazant et al., 1996)



Διάγραμμα 11:

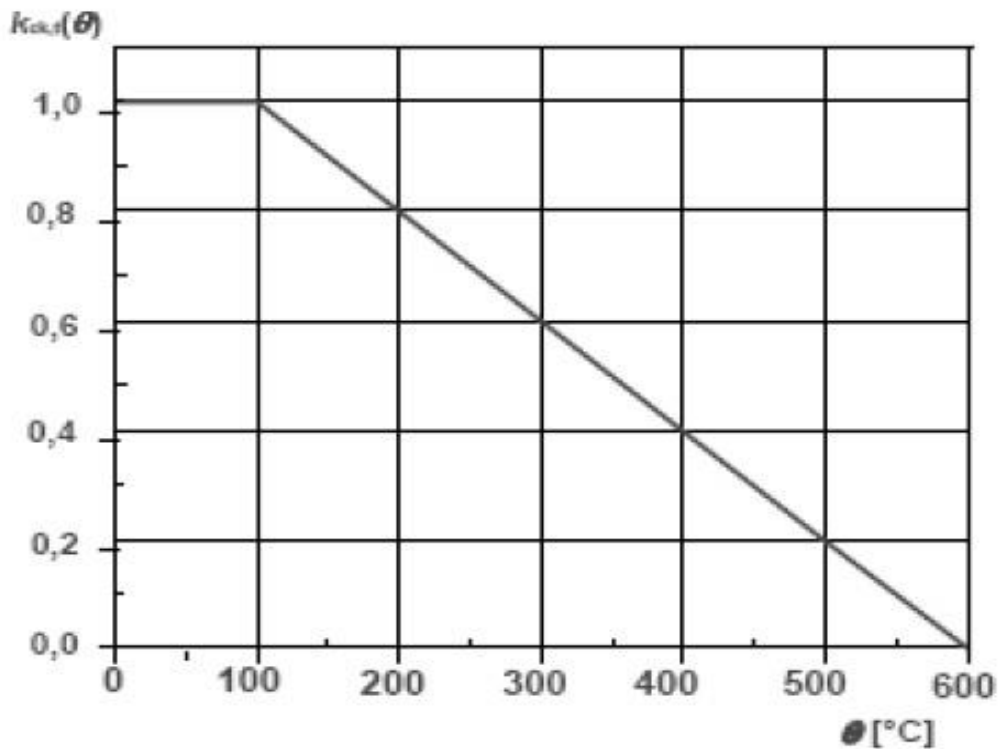
Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδεμάτων ασβεστολιθικών αδρανών, υπό υψηλές θερμοκρασίες (Ευρωκώδικας 2).



Διάγραμμα 6: Μεταβολή του συντελεστή $K_c(\theta)$ συναρτήσει των θερμοκρασιών, (Ευρωκώδικας 2).

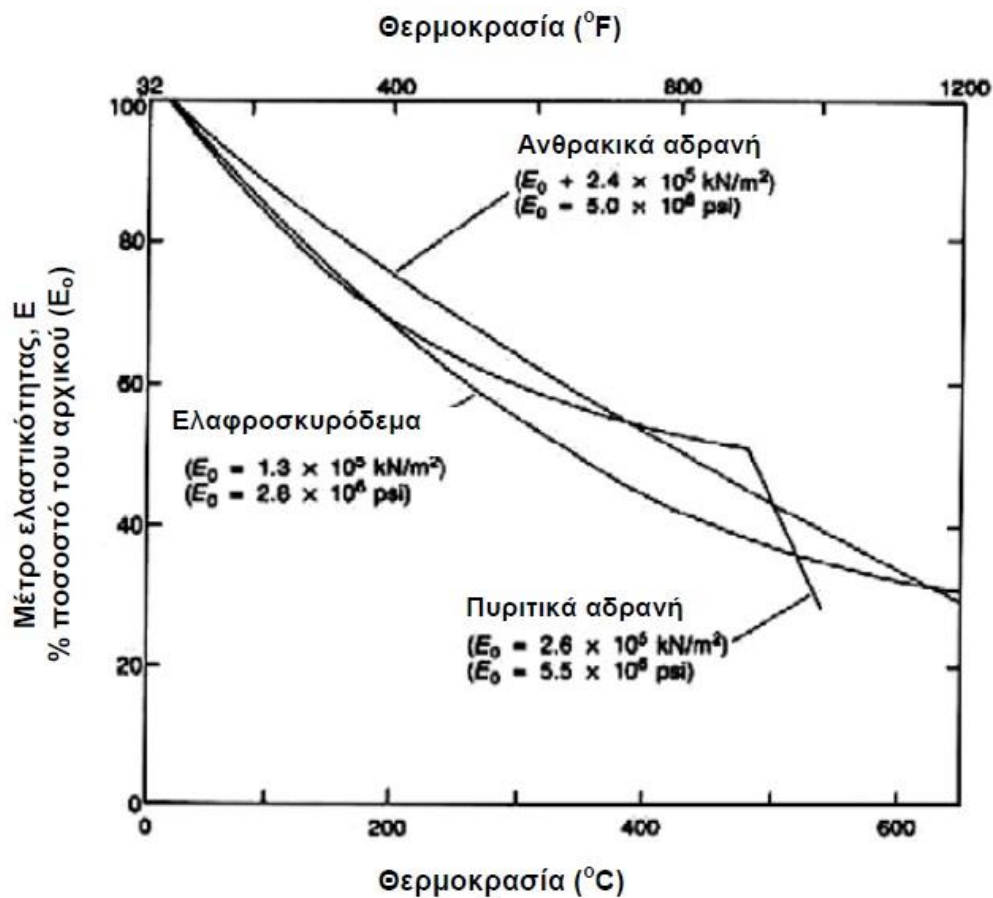
Οι εφελκυστικές αντοχές μειώνονται περισσότερο από τις θλιπτικές αντοχές διότι είναι περισσότερο ευαίσθητες στις μικρό-ρηγματώσεις. Πιο αναλυτικά και όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα, οι εφελκυστικές αντοχές είναι σταθερές

έως τους 100 °C και μειώνονται γραμμικά όσο αυξάνονται οι θερμοκρασίες μέχρι τους 600 °C όπου και μηδενίζονται.



Διάγραμμα 7: Μεταβολή του συντελεστή $K_{ck,t}(\theta)$ Εφελκυστικής Αντοχής συναρτήσει της θερμοκρασίας (θ), (Ευρωκώδικας 2).

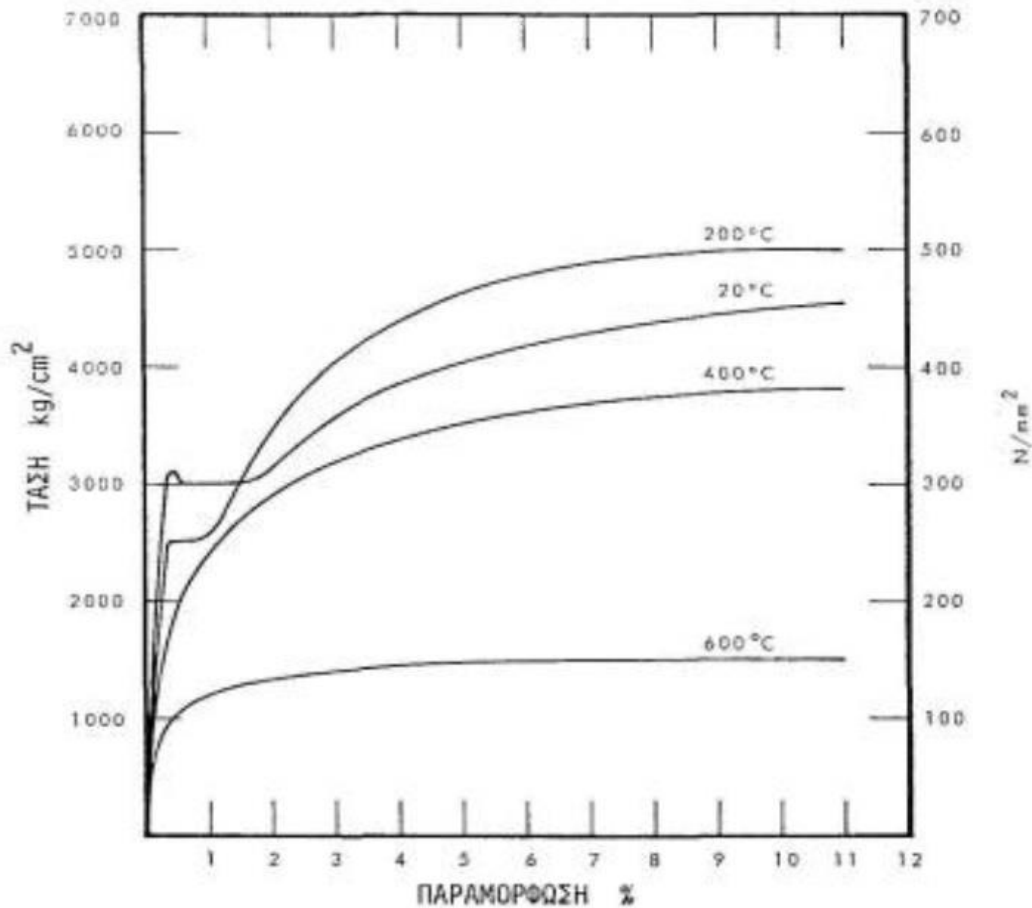
Τα μέτρα ελαστικότητας είναι μία ακόμα από τις μηχανικές ιδιότητες των σκυροδεμάτων τα οποία μειώνονται με την αύξηση των θερμοκρασιών. Αυτές οι μειώσεις οφείλονται κυρίως στις θραύσεις των δεσμών στις μικροδομές των τσιμεντοπολτών όταν αυξάνονται οι θερμοκρασίες, καθώς και στις αυξήσεις των βραχυπρόθεσμων ερπυσμών εξαιτίας του ότι τα αδρανή παραλαμβάνουν μεγαλύτερες τάσεις καθώς οι περιεχόμενες ποσότητες νερού εξατμίζονται. Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζονται χαρακτηριστικά οι μειώσεις των μέτρων ελαστικότητας καθώς μεγαλώνουν οι θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 8: Μεταβολή Μέτρων Ελαστικότητας σκυροδεμάτων συναρτήσει της θερμοκρασίας (Bazant et al., 1996).

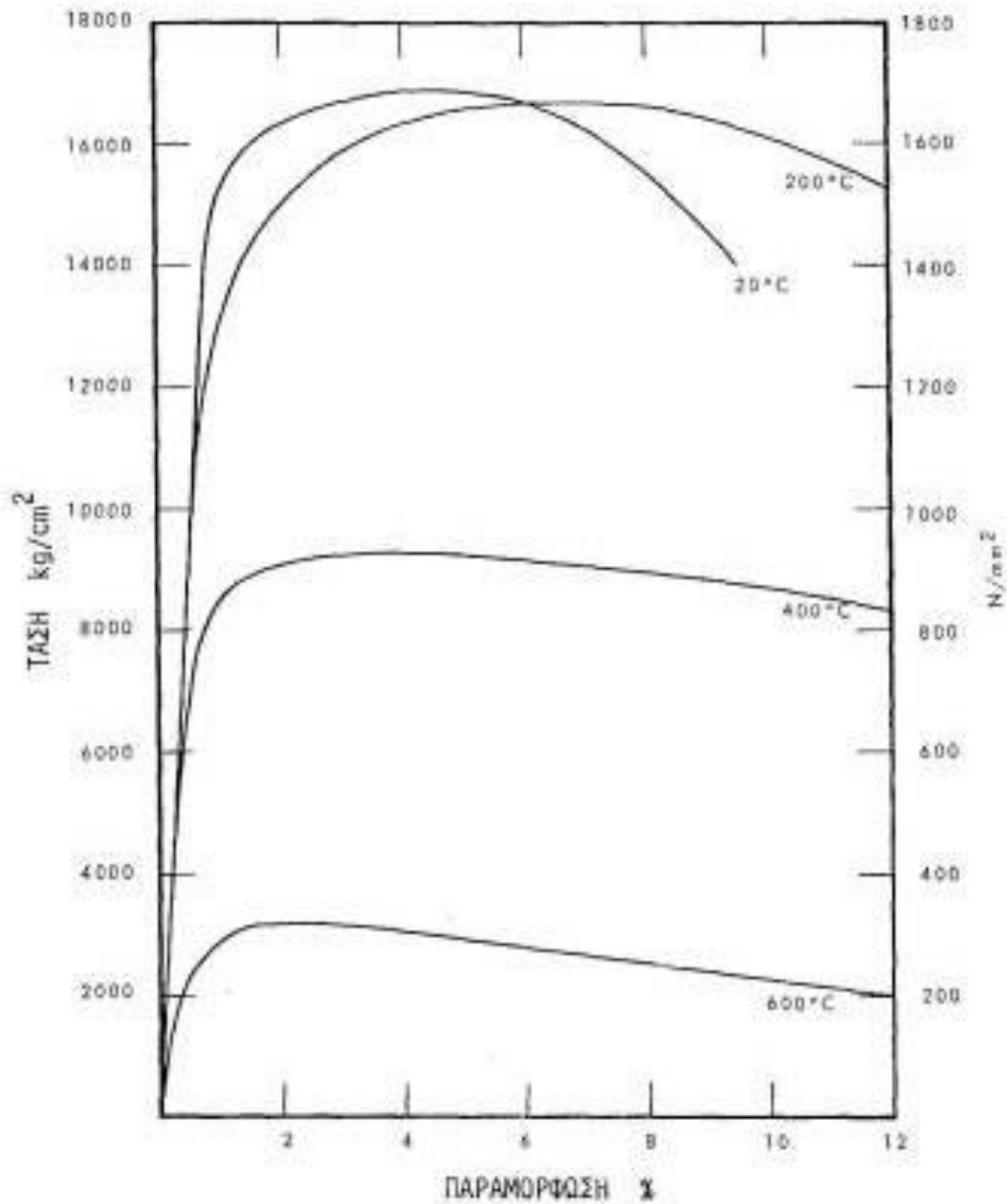
ΧΑΛΥΒΑΣ: Σε αντίθεση με τα σκυροδέματα οι χάλυβες παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα, όταν εκτεθούν σε πάρα πολύ υψηλές θερμοκρασίες λόγω περιστατικών φωτιάς/πυρκαγιάς. Στις κατασκευές, οι χάλυβες συναντώνται είτε σαν στοιχεία των φερόντων οργανισμών σε ποικιλία διατομών, είτε σαν οπλισμοί των σκυροδεμάτων σε μορφές ράβδων ή καλωδίων (προεντεταμένα σκυροδέματα), είτε ως ξεχωριστά σύνθετα δομικά στοιχεία. Συνηθέστερες μορφές που συναντώνται είναι οι μαλακοί χάλυβες είτε καθαρών είτε ενισχυμένων κραμάτων, που χρησιμοποιούνται σαν δομικοί χάλυβες διαφόρων στοιχείων όπως

στύλοι, δοκοί καθώς και ράβδοι οπλισμού. Χάλυβες υψηλών αντοχών χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο είτε σαν κράματα αυτοσκληρυθέντων χαλύβων, είτε ως ψυχρών ελάσεων, είτε θερμικών κατεργασιών. Στην παρακάτω γραφική παράσταση (Διάγραμμα 9) απεικονίζονται οι τυπικές καμπύλες τάσεων/παραμορφώσεων των μαλακών χαλύβων σε διάφορες τιμές θερμοκρασιών.



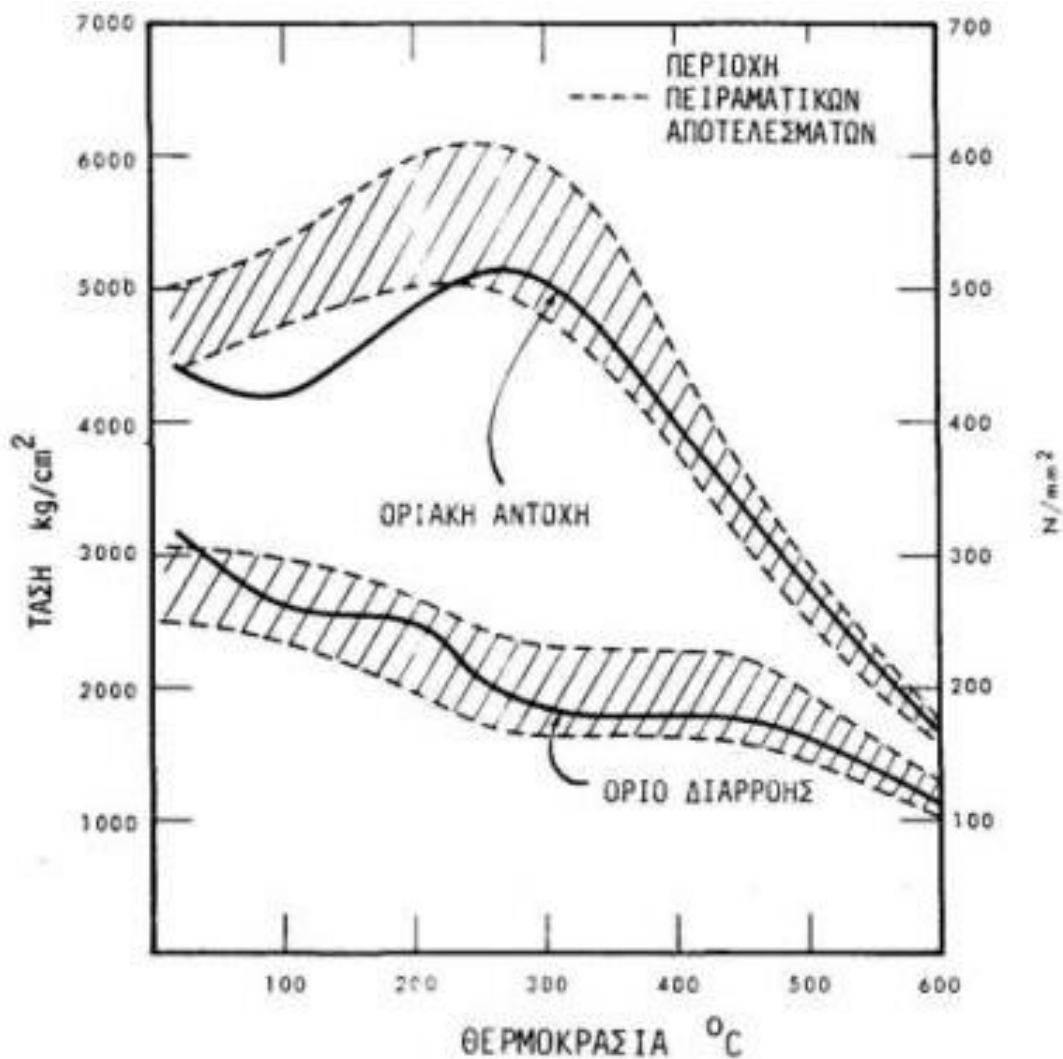
Διάγραμμα 9: Τάσεις – παραμορφώσεις μαλακού χάλυβα (ASTM A36) για διάφορες θερμοκρασίες (Fire Security Technical, 2004).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 10) απεικονίζονται οι αντίστοιχες καμπύλες για προεντεταμένους χάλυβες ψυχρής ελάσεως (ASTM A421). Εδώ δεν υπάρχει καθαρά διακεκριμένο όριο αναλογίας και όριο διαρροής, οπότε χρησιμοποιείται σαν κύρια παράμετρος το όριο θραύσεως.



Διάγραμμα 10: Καμπύλες παραμορφώσεων και τάσεων προεντεταμένου χάλυβα (Fire Security Technical, 2004).

Στη επόμενη γραφική παράσταση (Διάγραμμα 11) διαγράφονται οι μεταβολές των ορίων διαρροής και των ορίων θραύσεως (οριακές αντοχές) μαλακού χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 11: Όρια διαρροής και θραύσεως μαλακού χάλυβα (Fire Security Technical, 2004).

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι για τους μαλακούς χάλυβες όταν η θερμοκρασία ανέβει στους 200 °C, τα όρια θραύσης αυξάνονται γύρω στο 10% και ισούνται με αυτά της θερμοκρασίας δωματίου στους 350 °C. Με την αύξηση της θερμοκρασίας γύρω στους 550 °C τα όρια αντοχής αρχίζουν περαιτέρω να μειώνονται και να φθάνουν περίπου στο 50% των αρχικών ορίων.

Τα όρια διαρροής έχουν πιο ομαλές μεταπτώσεις στο 40% των αρχικών τιμών τους σε θερμοκρασίες γύρω στους 550 °C. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως οι 550 °C είναι η κρίσιμη θερμοκρασία για τους χάλυβες, πάνω από την οποία αρχίζουν οι

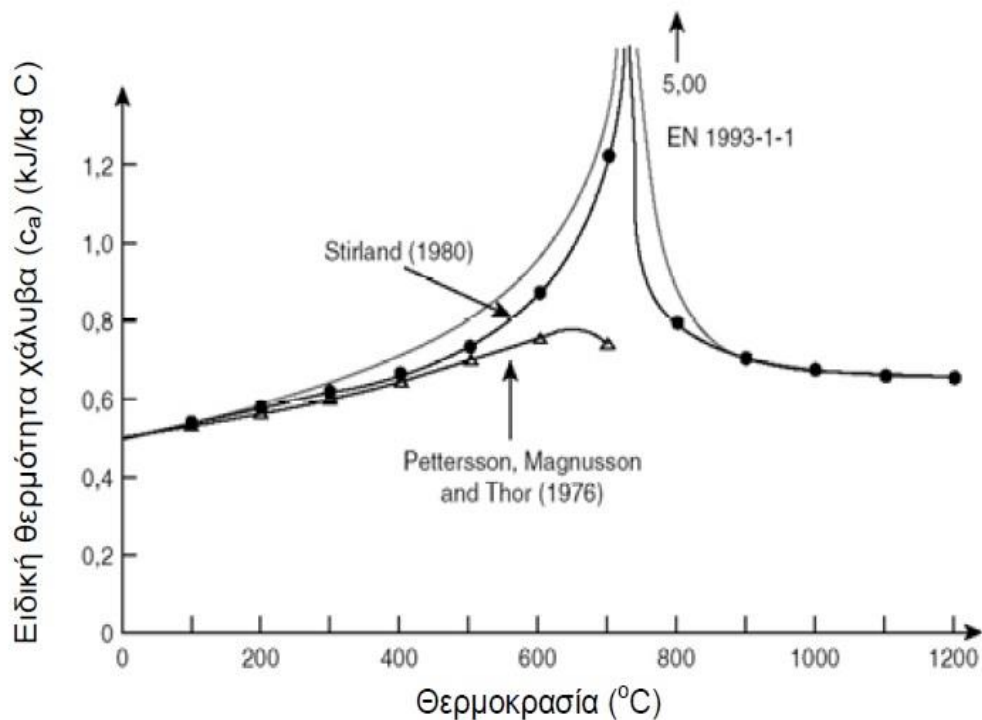
αστοχίες των δομικών στοιχείων. Παρόμοιες συμπεριφορές παρουσιάζουν και ράβδοι από κράματα χαλύβων υψηλών αντοχών.

Εν αντιθέσει οι προεντεταμένοι χάλυβες ψυχρής ελάσεως παρουσιάζουν ταχύτατες μειώσεις των οριακών αντοχών τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε θερμοκρασίες 400 °C όπου χαρακτηρίζονται κρίσιμες για αυτά τα είδη χάλυβα, παρατηρούνται μειώσεις των ορίων αντοχής κατά 50%. Επιπρόσθετα ένα χαρακτηριστικό των χαλύβων ψυχρής ελάσεως και θερμικής επεξεργασίας είναι πως δεν δύναται να ανακτήσουν τις αρχικές τους αντοχές μετά από απόψυξη.

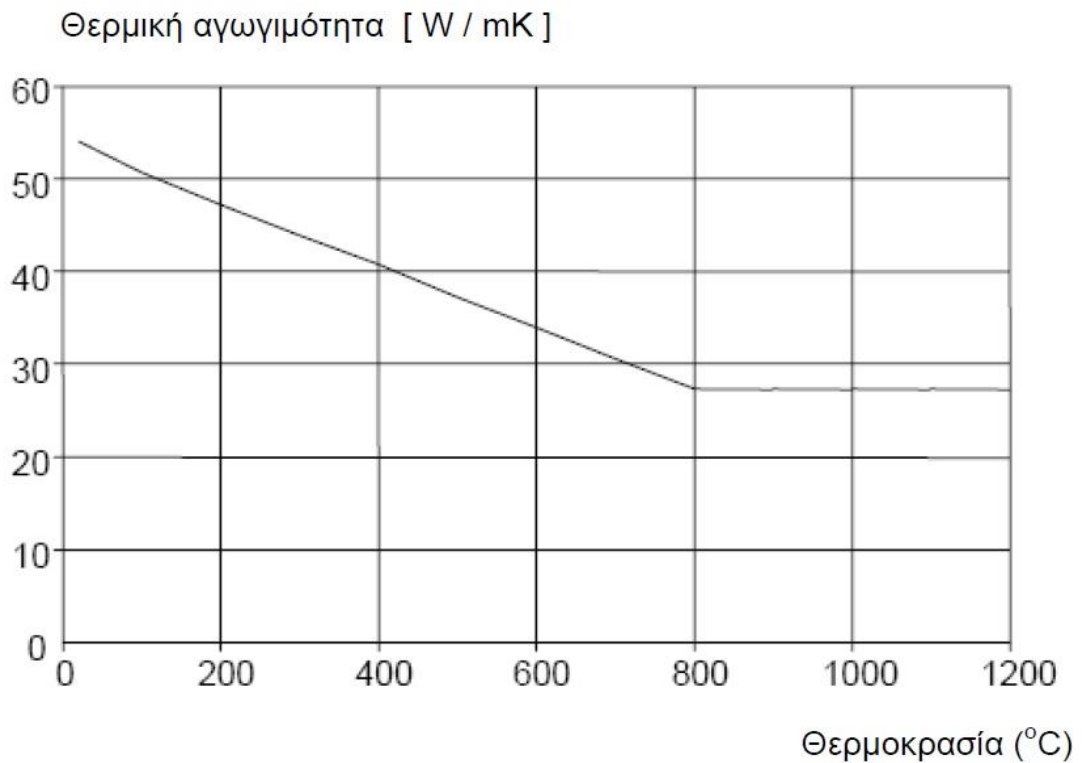
Οι θερμικές αγωγιμότητες των χαλύβων είναι υψηλές σε σχέση με αυτές των σκυροδεμάτων και εξαρτώνται από τα είδη τους. Αντίθετα οι θερμικές ικανότητες είναι χαμηλές και ανεξάρτητες από τα είδη των χαλύβων. Έτσι όταν οι χάλυβες εκτίθενται σε φωτιά ανεβάζουν τη θερμοκρασία γρήγορα σ' όλη τη μάζα των διατομών τους. Δεδομένου του ότι οι κρίσιμες θερμοκρασίες των χαλύβων κυμαίνονται γύρω στους 400-550 °C και πως στις περισσότερες πυρκαγιές οι θερμοκρασίες αγγίζουν τους 800 °C και τους 1000 °C, βγαίνει σαν συμπέρασμα ότι οι άμεσες εκθέσεις των χαλύβων στις φωτιές είναι πάρα πολύ επικίνδυνες.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πόσο σημαντικό είναι το πάχος επικάλυψης του σιδηρού οπλισμού στα οπλισμένα σκυροδέματα, καθώς και όλες οι τεχνικές που εφαρμόζονται ώστε να προστατευτούν τα διάφορα είδη χάλυβα από τις φωτιές. Κυριότερες μέθοδοι είναι οι ενσωματώσεις των χαλύβων, ιδιαίτερα όταν αποτελούν στοιχεία των φερόντων οργανισμών των κτηρίων, μέσα σε υλικά που λειτουργούν θερμομονωτικά. Τα υλικά αυτά μπορούν να αποτελούν αναπόσπαστα συνθετικά των διατομών όπως για παράδειγμα εγκιβωτισμοί χάλυβα με εκτοξευόμενα σκυροδέματα, ή προστατευτικά περιβλήματα όπως οι θερμομονωτικές πλάκες. Σύγχρονες μέθοδοι προστασίας είναι να ψύχονται τα στοιχεία με νερό (ιδιαίτερα κτίρια μεγάλου ύψους), η ψύξη με καταιονητήρες (sprinklers), καθώς και οι διαφόρων τύπων αφρώδεις θερμομονωτικές επαλείψεις.

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ: Με τις εκθέσεις των οπλισμών των σκυροδεμάτων στις υψηλές θερμοκρασίες μια πυρκαγιάς, επηρεάζονται τα όρια διαρροής, οι εφελκυστικές αντοχές και οι παραμορφώσεις θραύσεως των χαλύβων. Επίσης είναι πολύ δυνατόν να εμφανιστούν φαινόμενα ερπυσμών, χαλαρώσεων, καθώς και μεταβολές στις μικρό-δομές των χαλύβων. Οι συμπεριφορές των χαλύβων κατά τις εκθέσεις σε υψηλές θερμοκρασίες εξαρτώνται από τις θερμοκρασίες και τους χρόνους εκθέσεων, τις συστάσεις και τις μεθόδους παραγωγής τους. Έπειτα από την επαναφορά των θερμοκρασιών σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οι παραπάνω μεταβολές παραμένουν είτε αίρονται μερικώς. Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται οι μεταβολές των ειδικών θερμοτήτων χάλυβα σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα των Pettersson, Magnusson και Thor (1976) και του Stirland (1980), καθώς οι μεταβολές των θερμικών αγωγιμοτήτων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EN 1993-1-2.

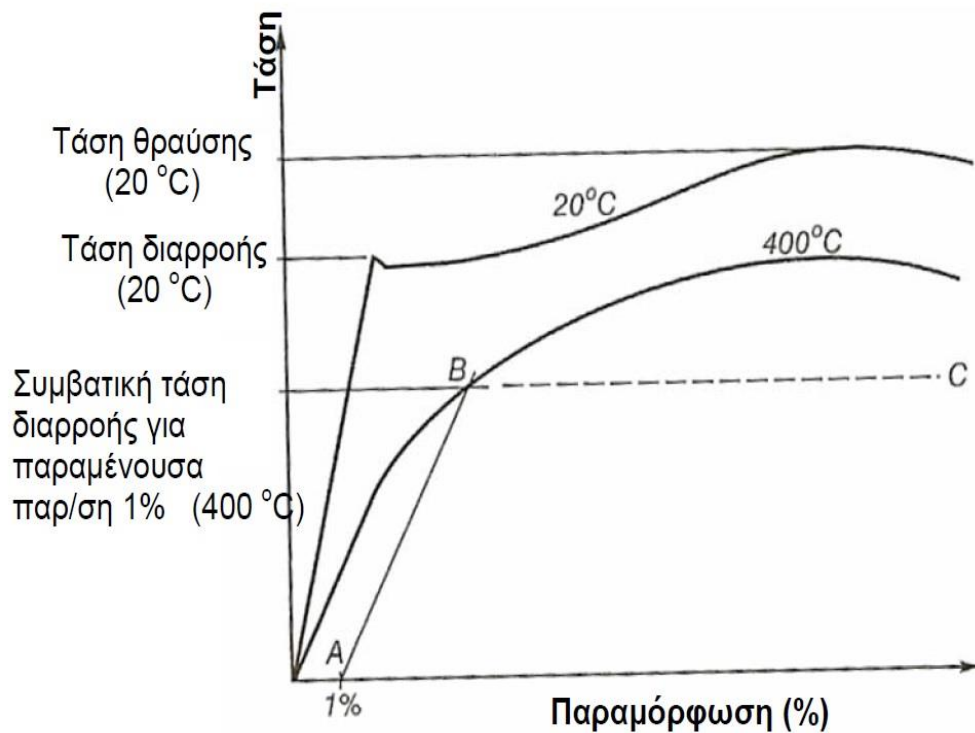


Διάγραμμα 12: Μεταβολές Ειδικής Θερμότητας χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας (Ευρωκώδικας EN 1993-1-1).



Διάγραμμα 13: Μεταβολή Θερμικής Αγωγιμότητας χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας (Ευρωκώδικας EN 1993-1-2).

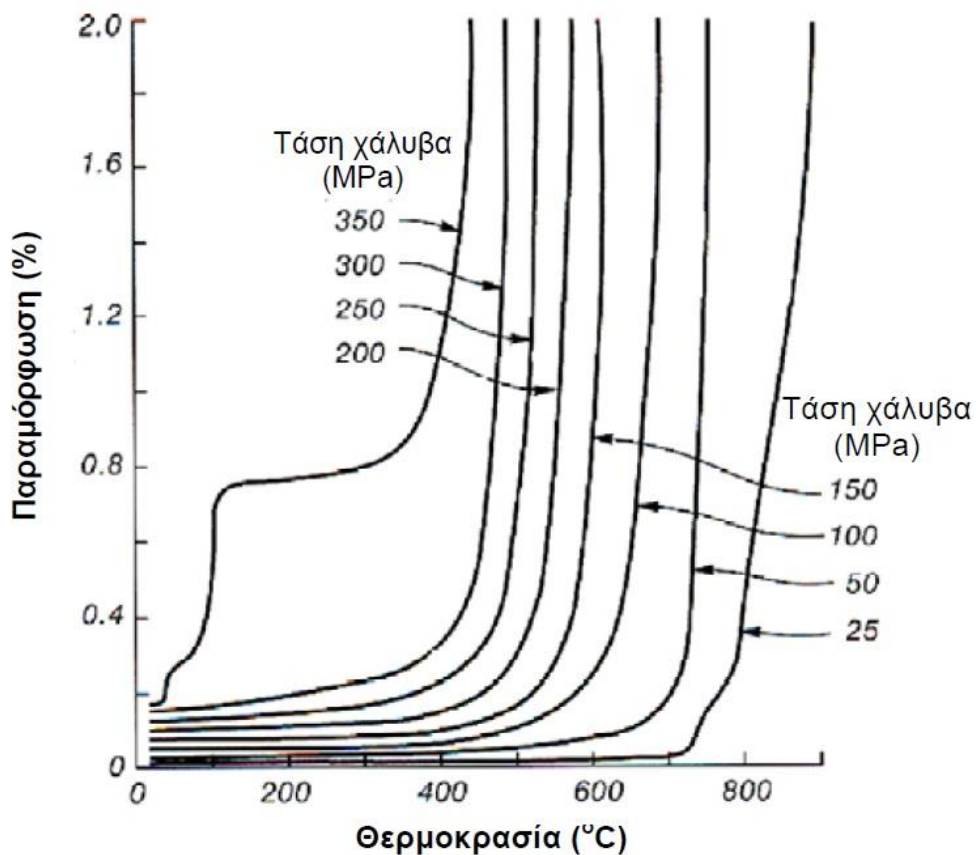
Οι αντοχές και τα μέτρα ελαστικότητας των χαλύβων των οπλισμών των σκυροδεμάτων μειώνονται όσο αυξάνονται οι θερμοκρασίες εκθέσεων. Για θερμοκρασίες έως 200 °C περίπου, οι μειώσεις είναι πολύ μικρές. Όσο όμως αυξάνονται οι θερμοκρασίες τόσο μεγαλώνουν και οι μειώσεις φθάνοντας μέχρι και στο 60% των αρχικών τιμών τους για θερμοκρασίες 600 °C. Οι ρυθμοί μειώσεων των αντοχών αυξάνονται για θερμοκρασίες υψηλότερες των 600 °C, όπου λόγω των μεταβολών μικρογραφικών μορφών στους χάλυβες και των μειώσεων συνάφειας των σκυροδεμάτων, είναι πολύ πιθανό τα δομικά στοιχεία των κατασκευών να υποστούν σοβαρές βλάβες. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές καμπυλώσεις των οπλισμών των σκυροδεμάτων όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 14:

Διάγραμμα Τάσεων Παραμορφώσεων χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος (Πρακτικός Οδηγός ΤΕΕ, 2008).

Οι παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού σε κανονικές συνθήκες είναι πολύ μικρές για τους χάλυβες, αλλά για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 500 °C μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Το 1988 διαπιστώθηκε από τους Kirby και Preston πως οι παραμορφώσεις λόγω ερπυσμών εξαρτώνται ιδιαίτερα από τις θερμοκρασίες και τα μεγέθη των τάσεων. Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζονται οι βαθμοί παραμόρφωσης των δομικών χαλύβων συναρτήσει των θερμοκρασιών.



Διάγραμμα 15: Διάγραμμα παραμορφώσεων δομικού χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας και ρυθμού θερμάνσεως = 10 °C/min (Kirby et al., 1988, Πρακτικός Οδηγός ΤΕΕ, 2008).

Έπειτα από τις εκθέσεις των οπλισμών των σκυροδεμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες και την επιστροφή τους στις συνήθεις θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος συνοψίζονται οι συμπεριφορές των χάλυβων.

Έως 500 °C:

- Ανάκτηση των μηχανικών ιδιοτήτων που είχαν πριν από τις εκθέσεις τους σε υψηλές θερμοκρασίες για τους χάλυβες θερμής έλασης με περαιτέρω θερμική κατεργασία (ΘΕ-Θ) και τους χάλυβες θερμής έλασης χωρίς περαιτέρω θερμική κατεργασία (ΘΕ-Χ).
- Σημαντικές μειώσεις των παραμορφώσεων θραύσης (ϵ_u) για χάλυβες ψυχρής κατεργασίας (ΨΚ). Αυτές οι μεταβολές οφείλονται στα φαινόμενα εργογηράνσεως (strain aging) των υλικών, που έχουν ως αποτέλεσμα μικρές αυξήσεις των εφελκυστικών αντοχών, αυξήσεις των ορίων διαρροών, μειώσεις

ολκιμότητας και μειώσεις παραμορφώσεων θραύσης. Οι μειώσεις ολκιμότητας επιφέρουν και αντίστοιχες μειώσεις πλαστιμότητας των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

500 – 600 °C:

- Μερική απώλεια αντοχών για χάλυβες ΘΕ-Θ.
- Σχεδόν καμία πρακτική απώλεια για χάλυβες ΘΕ-Χ.
- Ανάλογα με τους βαθμούς ψυχρής κατεργασίας οι χάλυβες ΨΚ είναι πιθανόν να απωλέσουν σχεδόν όλη την επιπρόσθετη αντοχή που είχαν αποκτήσει και να υποβαθμιστούν σε χάλυβες κατηγορίας S200. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η θερμοκρασία των 500 °C είναι η κατώτερη όπου πιθανόν θεωρητικά μπορεί να προκληθούν ανακρυσταλλώσεις του υλικού, μεταβάλλοντας τις μηχανικές ιδιότητες.

Μεγαλύτερες των 650 °C:

- Οι χάλυβες ΘΕ-Χ δεν υφίστανται καμία πρακτική απώλεια έως τους 723 °C.
- Οι υπόλοιποι χάλυβες θα απωλέσουν ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά των αντοχών τους, από αυτά που είχαν απωλέσει στις προηγούμενες εκθέσεις από 500 – 650 °C. Οι τελικές απώλειες μπορούν να φτάσουν ακόμα και χαμηλότερα του 50% των αρχικών.

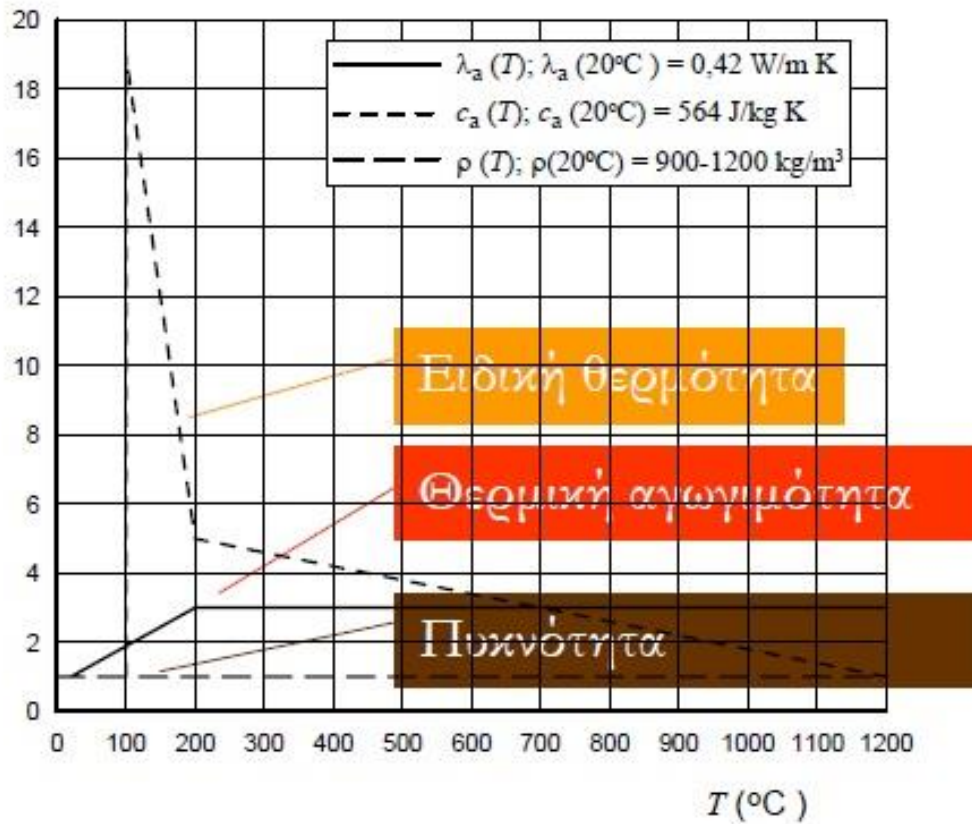
ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ: Οι οπτοπλινθοδομές ή οι κοινώς λεγόμενες τοιχοποιίες αποτελούν ένα από τα αρχαιότερα δομικά υλικά. Παρόλο αυτά οι γνώσεις γύρω από τις μηχανικές συμπεριφορές τους και οι αποκρίσεις κτηρίων φέρουσας τοιχοποιίας είναι σχετικά περιορισμένες. Οι λόγοι είναι η εμφάνιση νέων δομικών υλικών, οι σχετικά μικρές αντοχές των οπτοπλινθοδομών και οι ίδιες οι ποικιλομορφίες του υλικού. Πιο συγκεκριμένα η εισαγωγή στην οικοδομική μηχανική του χάλυβα και του σκυροδέματος προσέφεραν νέα, ισχυρότερα και πιο ευέλικτα υλικά. Μειώθηκαν έτσι τα κόστη του φέροντος οργανισμού και σταδιακά οδήγησαν τις οπτοπλινθοδομές να αναλαμβάνουν τον ρόλο των οργανισμών πλήρωσης.

Οι σχετικά μικρές αντοχές και οι ψαθυρές συμπεριφορές των οπτοπλινθοδομών ανάγκασαν να αυξηθούν οι διατομές και κατά συνέπεια τα κόστη του φέροντος οργανισμού. Καθώς και να περιορίζονται οι αριθμοί των ορόφων που μπορούν να κατασκευαστούν ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλές συχνότητες σεισμικότητας. Οι ποικιλομορφίες και οι πολυμορφίες των οπτοπλινθοδομών συνέβαλαν σημαντικά ώστε να περιοριστεί η δομική χρησιμότητά τους. Τα βασικά συστατικών της τοιχοποιίας είναι οι πλίνθοι και τα κονιάματα σύνδεσης. Οι πλίνθοι αποτελούνται από μία πληθώρα υλικών, μεγεθών, σχημάτων και τρόπων κατεργασίας. Τα κονιάματα σύνδεσης παρουσιάζουν μία ευρεία γκάμα συνθέσεων και αντοχών. Μπορεί όμως και να απουσιάζουν τελείως ως συστατικό, δημιουργώντας έτσι τις χαρακτηριστικές ξηρολιθοδομές.

Επιπρόσθετα ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην ποικιλομορφία είναι και ο τρόπος δόμησης – πλέξης της εκάστοτε οπτοπλινθοδομής. Όλα αυτά συνέβαλαν στο να γίνεται σχεδόν εμπειρικά ο σχεδιασμός των κτηρίων με φέροντα οργανισμό έως και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Οι γνώσεις των πολιτικών μηχανικών σχετικά με τις μηχανικές ιδιαιτερότητες και συμπεριφορές των οπτοπλινθοδομών, τις δομές και τις συμπεριφορές των κτηρίων φερουσών τοιχοποιιών ήταν ανεπαρκείς, εμπειρικές και επιφανειακές μέχρι σχετικά πρόσφατα. Τα τελευταία χρόνια μόνο αρκετές χώρες μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα απέκτησαν κανονισμούς κατασκευών φέρουσας τοιχοποιίας, ενώ

εντάχθηκαν στα πανεπιστήμια προπτυχιακά προγράμματα σπουδών για κατασκευές φερουσών τοιχοποιιών.

Οι αντοχές σε δυνάμεις θλίψης των οπτοπλινθοδομών σε υψηλές θερμοκρασίες είναι παρόμοιες με αυτές των σκυροδεμάτων. Τα ολόσωμα τούβλα συμπεριφέρονται πολύ καλύτερα σε καταστάσεις πυρκαγιάς σε σύγκριση με τα ισομεγέθη διάτρητα ή κοίλα. Οι φέρουσες τοιχοποιίες παραμορφώνονται κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς από τις διαστολές των επιφανειακών στρωμάτων που βρίσκονται στη μεριά των υψηλών θερμοκρασιών της φωτιάς. Αυτές οι παραμορφώσεις είναι πολλές φορές υπαίτιες για την κατάρρευση των φέρουσων οπτοπλινθοδομών παρά η μείωση των αντοχών τους σε δυνάμεις θλίψης. Στις περισσότερες περιπτώσεις πάντως οι οπτοπλινθοδομές θεωρούνται πυράντοχα δομικά στοιχεία και μπορούν με κατάλληλες επισκευές και κατασκευές να αντισταθούν ακόμη και σε πολύ σοβαρές περιπτώσεις πυρκαγιάς. Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις απεικονίζονται οι θερμικές και μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 6.

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

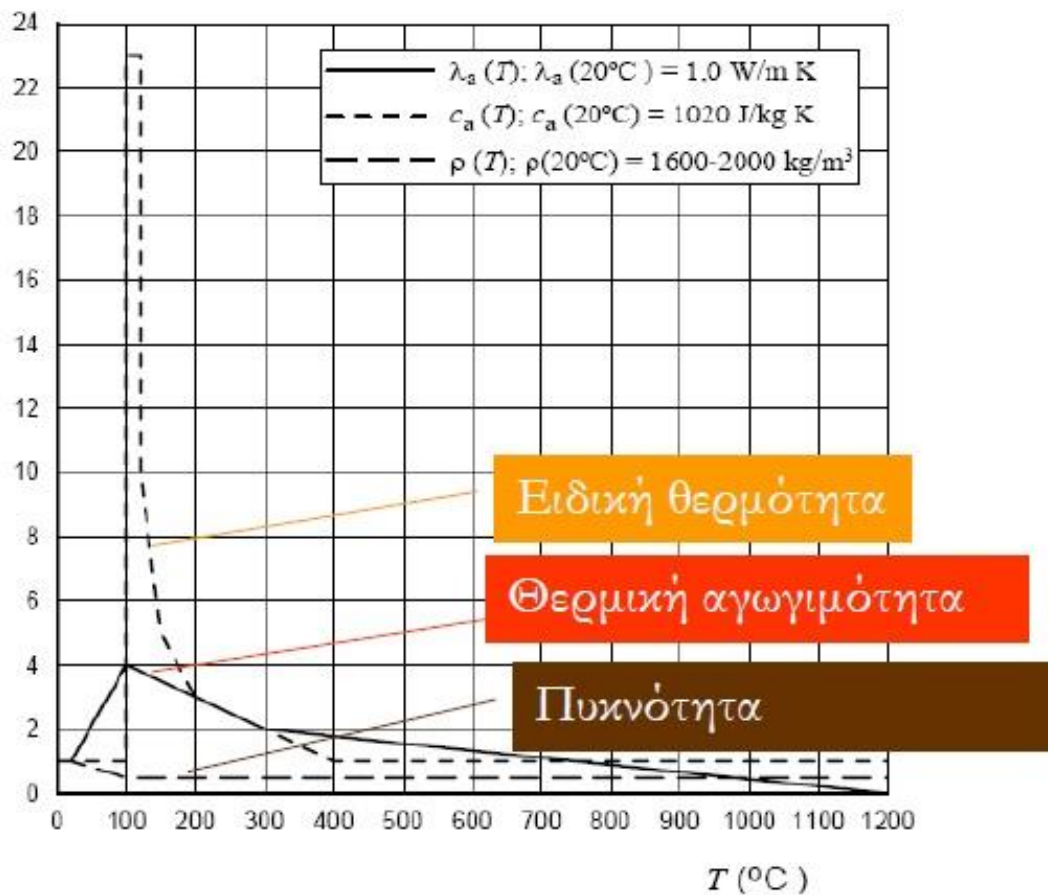
Διάγραμμα 16: Θερμικές Ιδιότητες Οπτόπλινθων πυκνότητας 900 – 1200 kg/m³ _ Ευρωκώδικας 6 (σχήμα D.1.a).

Επί του κατακόρυφου άξονα αναγράφονται οι λόγοι των τιμών των μεγεθών της εκάστοτε θερμοκρασίας T προς της τιμή στην θερμοκρασία των 20°C , όπου:

λ_a : θερμική αγωγιμότητα,

c_a : ειδική θερμότητα,

ρ : πυκνότητα.



Διάγραμμα 17: Θερμικές Ιδιότητες Άσβεστο-Πυριτικών Λίθων πυκνότητας 1600 – 2000 kg/m³ _ Ευρωκώδικας 6 (σχήμα D.1.b).

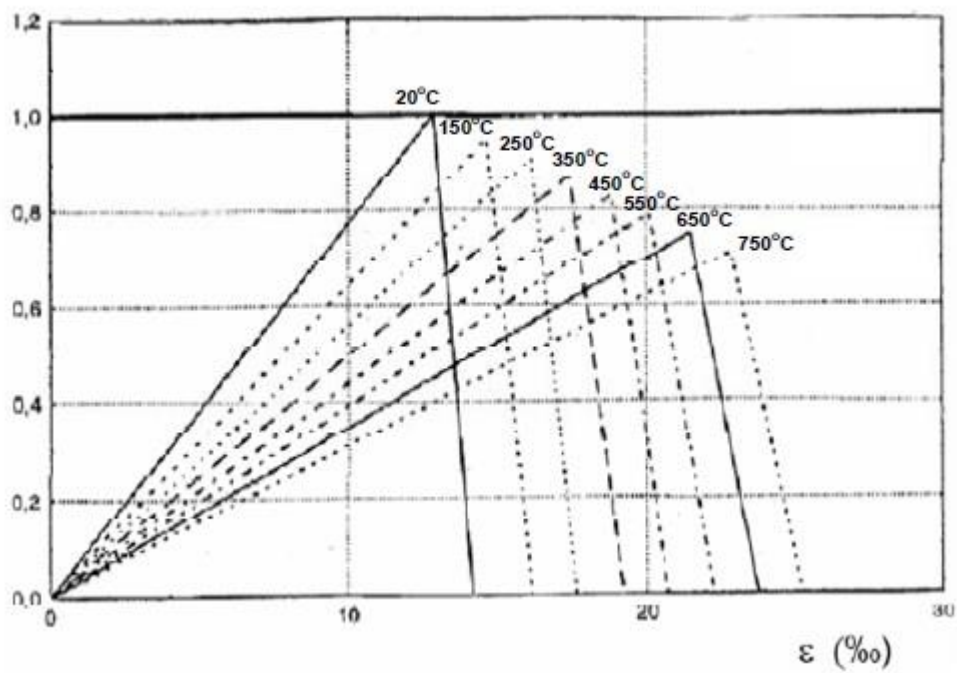
Επί του κατακόρυφου άξονα αναγράφονται οι λόγοι των τιμών των μεγεθών της εκάστοτε θερμοκρασίας T προς της τιμή στην θερμοκρασία των $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπου:

λ_a : θερμική αγωγιμότητα

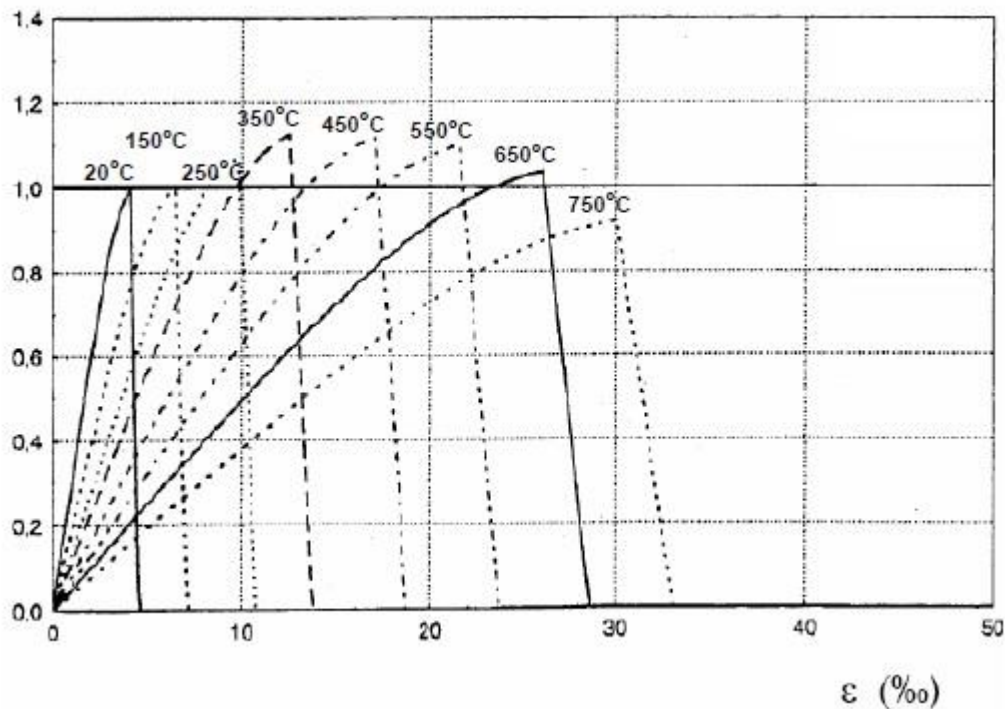
c_a : ειδική θερμότητα

ρ : πυκνότητα

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ: Μετά περίπου τους $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ οι οπτόπλινθοι αρχίζουν να χάνουν τις θλιπτικές αντοχές τους καθώς και τα αντίστοιχα μέτρα ελαστικότητάς τους. Οι ασβεστόλιθοι χάνουν τις θλιπτικές αντοχές τους στους $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπου μειώνονται αντίστοιχα τα μέτρα ελαστικότητάς τους σε θλίψη, ενώ παράλληλα αυξάνονται σε μεγάλο βαθμό οι παραμορφώσεις θραύσεως.



Διάγραμμα 18: Διαγράμματα Τάσεων Παραμορφώσεων Οπτόπλινθων αντοχής 12-20 N/mm² και πικνότητας 900-1200 kg/m³ _ Ευρωκώδικας 6 (σχήμα D.2.b).

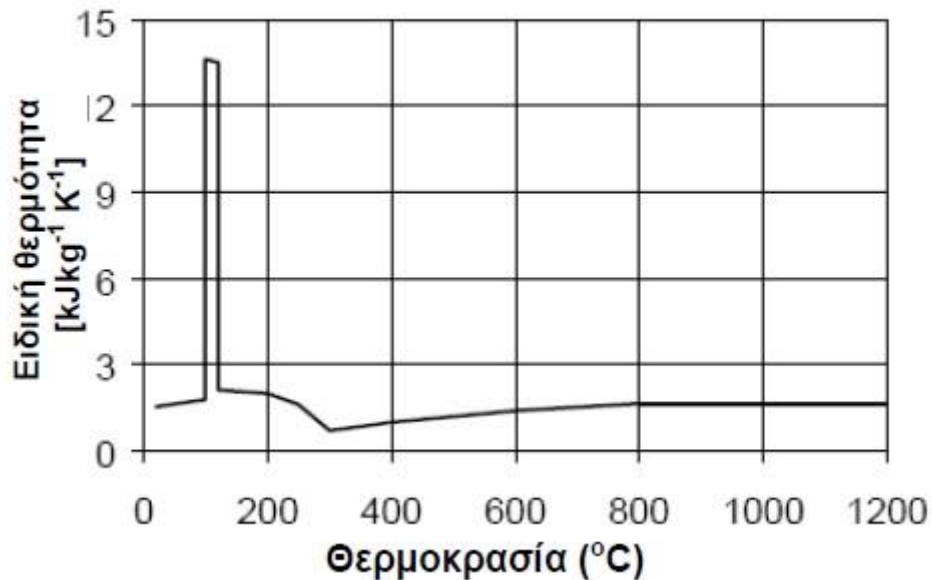


Διάγραμμα 19: Διαγράμματα Τάσεων Παραμορφώσεων Ασβεστόλιθων αντοχής 12-20 N/mm² και πυκνότητας 1600-2000 kg/m³ _ Ευρωκώδικας 6 (σχήμα D.2.d).

ΞΥΛΟ: Εδώ και πολλούς αιώνες ένα υλικό ευρύτατα διαδεδομένο στις κατασκευές κτηρίων είναι το ξύλο. Είναι ένα οργανικό οικοδομικό υλικό διότι παράγεται από τα δέντρα που είναι ζωντανοί οργανισμοί. Τα δέντρα κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες, τα πλατύφυλλα από τα οποία παράγονται οι «σκληρές ξυλείες» (hardwood) και τα κωνοφόρα τα οποία παράγουν τις «μαλακές ξυλείες» (softwood). Οι μεγαλύτερες ποσότητες δομικής ξυλείας παράγονται από τα κωνοφόρα δέντρα και ιδιαίτερα από τα έλατα και τα πεύκα.

Το ξύλο αποτελεί και αυτό ένα από τα αρχαιότερα υλικά δόμησης, ενώ παράλληλα είναι και το πιο εύχρηστο από τα υπόλοιπα διότι βρίσκεται και κατεργάζεται πολύ εύκολα. Για πάρα πολλούς αιώνες αποτελούσε ίσως το πιο διαδεδομένο υλικό δόμησης σχεδόν σε όλες της περιοχές της γης και συναντάται σε κατασκευές από την αρχαία Ελλάδα, έως την μεσαιωνική Ευρώπη και την Ιαπωνία. Στις μέρες μας η τεχνολογική πρόοδος έχει δημιουργήσει πολλές καινούργιες και αξιόπιστες κατηγορίες βιομηχανικής ξυλείας, οδηγώντας στην αναβίωση των ξύλινων κατασκευών.

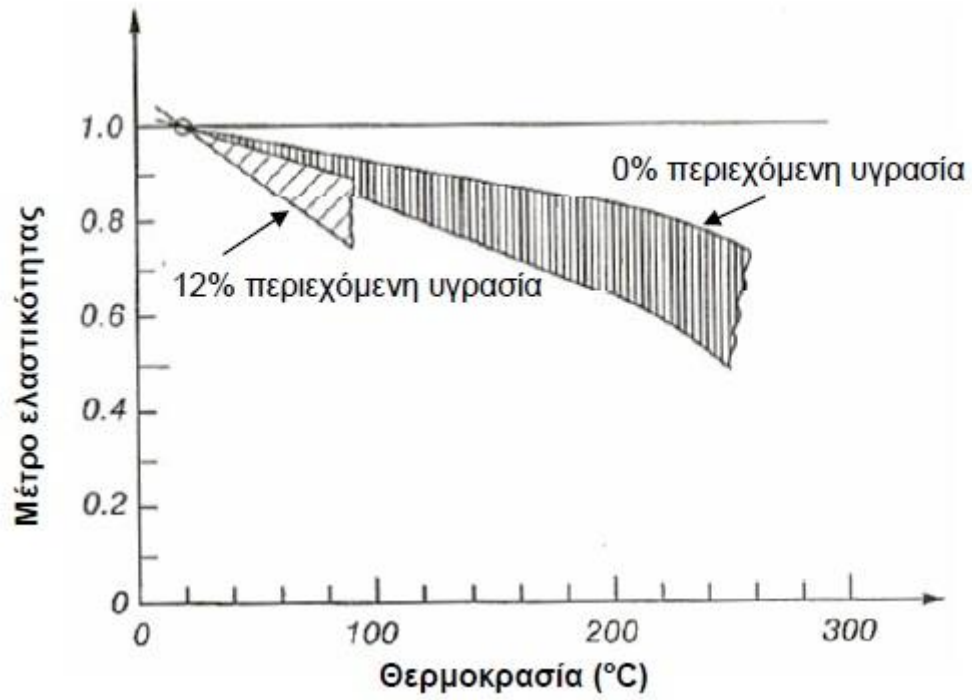
διάγραμμα (Διάγραμμα 21) απεικονίζεται η μεταβολή της ειδικής θερμότητας συναρτήσει των εκάστοτε θερμοκρασιών.



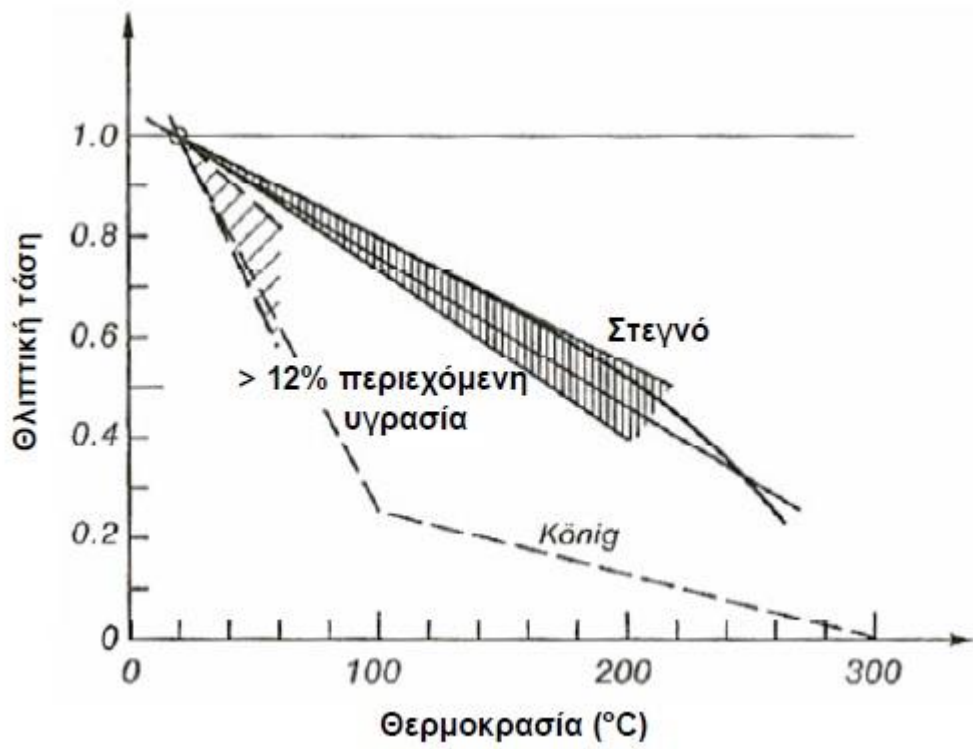
Διάγραμμα 21: Ειδική Θερμότητα Ξύλου _ Ευρωκώδικας 5.

- Στους 200 °C επέρχονται θερμικές αποσυνθέσεις (πυρόλυση).
- Στους 300 °C επέρχονται απανθакώσεις.

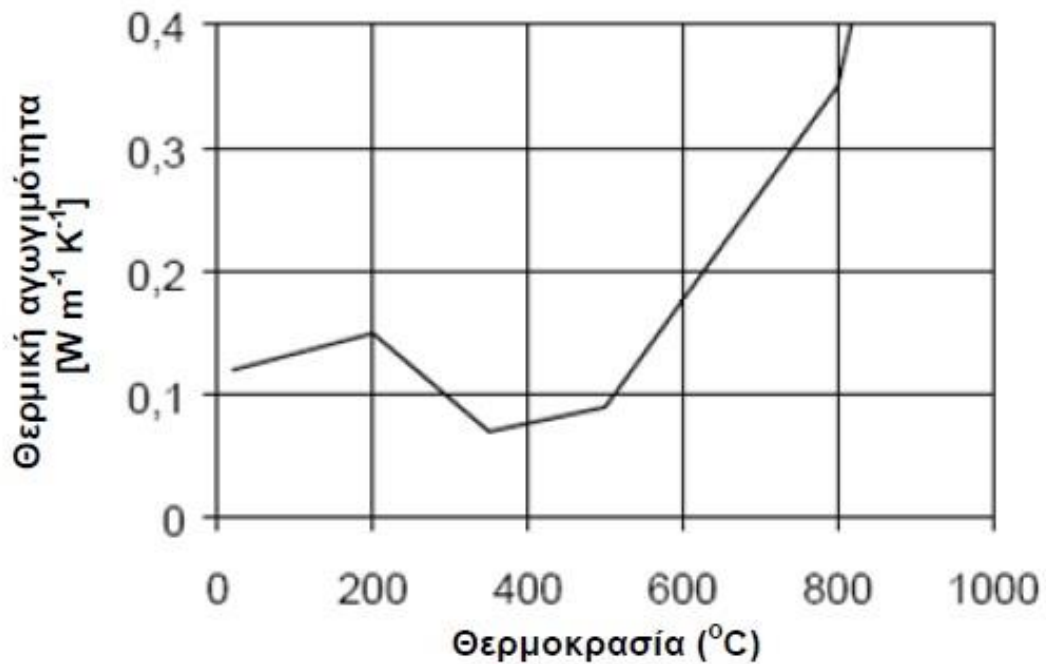
Οι αυξήσεις των θερμοκρασιών μαζί με τις περιεχόμενες υγρασίες επηρεάζουν κάποιες πολύ χαρακτηριστικές μηχανικές ιδιότητες του ξύλου, μειώνοντας τα μέτρα ελαστικότητας, τις θλιπτικές καθώς και τις καμπτικές αντοχές όπως φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 22: Μείωση Μέρου Ελαστικότητας (Buchanan, 2001).



Διάγραμμα 23: Μείωση Θλιπτικής Αντοχής (Buchanan, 2001).



Διάγραμμα 25: Θερμική Αγωγιμότητα _ Ευρωκώδικας 5.

Έρευνες που διεξήχθησαν γύρω από τις ταχύτητες απανθράκωσης, οι οποίες εξαρτιόντουσαν από τα ποσά ακτινοβολίας της φωτιάς, έδωσαν τιμές γύρω στα 4mm ανά λεπτό. Σε αυτές τις πρότυπες δοκιμασίες πυραντίστασης οι ταχύτητες αυτές έδωσαν μεγέθη μεταξύ των 30 mm - 50 mm/ανά ώρα. Καθώς καίγεται το ξύλο παράγονται μεγάλες ποσότητες καπνών και σαν οργανικό υλικό λόγω ατελούς καύσης δημιουργεί μονοξειδίο του άνθρακα που είναι ιδιαίτερο τοξικό καυσαέριο. Οικοδομικές ξυλείες οι οποίες είναι διαμορφωμένες σε πλάκες διαδίδουν ευκολότερα και γρηγορότερα τη φωτιά. Γι' αυτούς τους λόγους αναπτύχθηκαν διάφοροι μέθοδοι οι οποίοι χρησιμοποιούν διάφορα υλικά που είτε επαλείφονται επιφανειακά, είτε εμποτίζονται στη μάζα της ξυλείας, δυσκολεύοντας τις αναφλέξεις και επιβραδύνοντας τις επιφανειακές διαδόσεις της φωτιάς.

3. ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα δομικά στοιχεία κατασκευών και τα στοιχεία μηχανών μπορεί να αποτύχουν στην εκτέλεση των λειτουργιών για τις οποίες χρησιμοποιούνται, δηλαδή μπορεί να υποστούν αστοχία (failure), με τρεις κυρίως τρόπους: i) Λόγω υπερβολικής ελαστικής παραμόρφωσης. ii) Λόγω πλαστικής ροής ή υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης. iii) Λόγω θραύσης. Η πλήρης κατανόηση των πιθανών τρόπων αστοχίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον σωστό και ασφαλή σχεδιασμό δομικών στοιχείων. Αξίζει, λοιπόν, να εξετασθεί λίγο αναλυτικότερα καθένας από τους παραπάνω πιθανούς λόγους αστοχίας. Η αστοχία ενός δομικού στοιχείου κατασκευών ή ενός στοιχείου μηχανών λόγω υπερβολικής ελαστικής παραμόρφωσης μπορεί να εμφανιστεί με δύο μορφές: α) υπερβολική ελαστική παραμόρφωση κάτω από συνθήκες στατικής ισορροπίας, όπως για παράδειγμα είναι η ελαστική κάμψη μίας δοκού υπό την επίδραση σταδιακά αυξανόμενου φορτίου και β) λυγισμός (buckling) στοιχείων που δέχονται θλιπτικά αξονικά φορτία (π.χ. ράβδοι), κάτω από συνθήκες ασταθούς στατικής ισορροπίας.

Η αστοχία ενός δομικού στοιχείου λόγω υπερβολικής ελαστικής παραμόρφωσης μπορεί να είναι εξίσου επιζήμια και καταστροφική για μία μηχανή ή γενικότερα για μία κατασκευή, όσο θα ήταν ακόμη και αν αυτό έσπαγε τελείως. Για παράδειγμα, ένας περιστρεφόμενος άξονας που είναι αρκετά εύκαμπτος ώστε να εμφανίζει πολύ μεγάλη ελαστική παραμόρφωση, μπορεί να προκαλέσει πολύ γρήγορη φθορά των εδράνων κυλίσεως (ρουλεμάν) στα οποία στηρίζεται. Επίσης, θα μπορούσε να φανταστεί κανείς ότι σε όλες τις μηχανές υπάρχει μία πληθώρα εξαρτημάτων που λειτουργούν σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Εάν κάποιο από αυτά εμφανίζει πολύ μεγάλη ελαστική παραμόρφωση, τότε είναι πολύ πιθανό να αρχίσει να ακουμπάει σε γειτονικά εξαρτήματα, εμποδίζοντας έτσι την ομαλή λειτουργία της μηχανής και δημιουργώντας κίνδυνο καταστροφής (υπερθέρμανση και φθορά λόγω τριβών, κ.λ.π.). Η συμπεριφορά των υλικών σε ελαστική

παραμόρφωση καθορίζεται και εξαρτάται αποκλειστικά από το μέτρο ελαστικότητας (E) και όχι από την αντοχή του κάθε υλικού (π.χ. όριο διαρροής).

Όπως είναι γνωστό από την τεχνολογία υλικών, το μέτρο ελαστικότητας ενός υλικού εξαρτάται άμεσα από το είδος των χημικών δεσμών μεταξύ των ατόμων του υλικού. Όσο ισχυρότεροι είναι οι χημικοί δεσμοί, τόσο μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας έχει το υλικό. Μεγάλο μέτρο ελαστικότητας σημαίνει ότι το υλικό παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση σε ελαστικές παραμορφώσεις. Επειδή δεν μπορούμε να παρέμβουμε τεχνητά στο είδος των χημικών δεσμών, δεν μπορούμε να βελτιώσουμε και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού, σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη δυσκαμψία πρέπει να επιλέγονται υλικά με υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Αστοχία λόγω πλαστικής διαρροής ή υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης εμφανίζεται όταν τα εξωτερικά φορτία που καταπονούν ένα δομικό στοιχείο ή στοιχείο μηχανών είναι αρκετά μεγάλα, ώστε οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υλικό να υπερβούν το όριο διαρροής του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την πλαστική παραμόρφωση του δομικού στοιχείου, δηλαδή την μόνιμη αλλαγή των διαστάσεων ή/και του σχήματός του, γεγονός που μπορεί να το καταστήσει ανίκανο να συνεχίσει να λειτουργεί ομαλά και με ασφάλεια.

Όσον αφορά τα όλκιμα μέταλλα, κάτω από συνθήκες στατικής φόρτισης και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, η πλαστική διαρροή σπάνια οδηγεί σε θραύση, διότι εμφανίζεται το φαινόμενο της εργοσκλήρυνσης (*workhardening*), που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η πλαστική παραμόρφωση του υλικού, τόσο υψηλότερη τάση απαιτείται για να συνεχιστεί περαιτέρω η παραμόρφωση. Η αστοχία λόγω υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης εξαρτάται από το όριο διαρροής (*yield-stress*) σε συνθήκες μονοαξονικής φόρτισης (εφελκυσμού ή θλίψης). Σε πιο περίπλοκες εντατικές καταστάσεις και πάλι το όριο διαρροής είναι η κυρίαρχη παράμετρος, προσαρμοσμένο όμως σε κάποια ειδικά κριτήρια πλαστικής διαρροής όπου τα πιο σημαντικά από αυτά είναι το κριτήριο μέγιστης διατμητικής τάσης (ή κριτήριο Tresca) και το κριτήριο στροφικής ενέργειας (ή κριτήριο Von Mises). Τέλος, η εμφάνιση αστοχίας λόγω υπερβολικής πλαστικής παραμόρφωσης αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν η θερμοκρασία λειτουργίας του δομικού στοιχείου είναι υψηλή. Τότε, ελλείπει του φαινομένου της εργοσκλήρυνσης, τα μεταλλικά υλικά

παρουσιάζουν συνεχώς αυξανόμενη πλαστική παραμόρφωση ακόμη και κάτω από σταθερή τάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ερπυσμός (creep) και μία πρώτη επαφή μαζί του έγινε στο μάθημα της τεχνολογίας υλικών.

Αστοχία λόγω θραύσης (fracture) εμφανίζεται όταν σε ένα υλικό προϋπάρχουν ή δημιουργούνται ρήγματα (cracks), τα οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μηχανικής καταπόνησης προωθούνται, ακαριαία ή σταδιακά, και οδηγούν στην καταστροφή του δομικού στοιχείου. Η θραύση είναι ένας πολύ επικίνδυνος τρόπος αστοχίας, ειδικά στα ψαθυρά (brittle) υλικά, διότι συμβαίνει ακαριαία και πολλές φορές χωρίς να δώσει προηγουμένως κάποια προειδοποιητική ένδειξη. Μεγάλες καταστροφές κατασκευών, με πολλά ανθρώπινα θύματα και υλικές ζημιές, έχουν συμβεί με τον τρόπο αυτό.

Στα όλκιμα (ductile) υλικά η κατάσταση είναι καλύτερη, διότι εκεί της θραύσης προηγείται συνήθως εκτεταμένη πλαστική παραμόρφωση, η οποία μπορεί να γίνει ευκολότερα αντιληπτή και να οδηγήσει στην πρόληψη της καταστροφικής θραύσης. Η θραύση στα μεταλλικά υλικά εμφανίζεται γενικά με δύο μορφές: α) ακαριαία ψαθυρή θραύση και β) σταδιακή θραύση ή κόπωση (fatigue). Η ξαφνική ψαθυρή θραύση εμφανίζεται στα ψαθυρά υλικά, χωρίς να έχει προηγηθεί σχεδόν καθόλου πλαστική παραμόρφωση σε αυτά. Ψαθυρή θραύση μπορεί να εμφανιστεί και σε όλκιμα μεταλλικά υλικά, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Το συνηθέστερο παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι οι απλοί ανθρακούχοι χάλυβες κατασκευών, οι οποίοι σε χαμηλές θερμοκρασίες (συνήθως κάτω από 0 °C) παρουσιάζουν μια μετάβαση από όλκιμη σε ψαθυρή συμπεριφορά, γεγονός που καθιστά πιθανή μια ξαφνική θραύση τους χωρίς να έχει προηγηθεί σημαντική πλαστική παραμόρφωσή τους. Η μετάβαση από όλκιμη σε ψαθυρή θραύση ευνοείται από την μείωση της θερμοκρασίας όπως αναφέρθηκε, αλλά και από την αύξηση του ρυθμού φόρτισης, δηλαδή του πόσο γρήγορα εφαρμόζεται μία δύναμη επάνω στο δομικό στοιχείο.

Για παράδειγμα, ενώ όταν ένα φορτίο μεγέθους F εφαρμοστεί σιγά-σιγά σε ένα υλικό τότε αυτό δεν υφίσταται θραύση, μπορεί το ίδιο φορτίο F όταν εφαρμοστεί με μεγάλη ταχύτητα (π.χ. σαν κρουστικό φορτίο) να οδηγήσει το ίδιο υλικό σε

ψαθυρή θραύση. Για την ανάλυση προβλημάτων ψαθυρής θραύσης υπάρχει μία ισχυρή θεωρία που ονομάζεται θραυστομηχανική (fracture mechanics).

3.1 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα βασίζονται στη σύμπραξη του σκυροδέματος και των ενσωματωμένων οπλισμών χάλυβα. Η επιτυχής αλληλεπίδραση αυτών των δύο υλικών, επιτυγχάνεται μέσω συνδυασμένων δράσεων μηχανισμών που δεν επιτρέπουν τις σχετικές ολισθήσεις μεταξύ των ράβδων του οπλισμού και του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Αυτές οι συνάψεις των υλικών προσομοιάζονται μέσω δημιουργίας διατμητικών τάσεων στις διεπιφάνειες σκυροδέματος – χάλυβα και ονομάζονται τάσεις συνάψεως. Μειωμένες δυνατότητες ανάπτυξης τάσεων συνάψεως επιφέρουν μείωση της φέρουσας ικανότητας των στοιχείων. Αντίστοιχες μειώσεις είναι πολύ πιθανό να προκληθούν έπειτα από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως οι περιπτώσεις πυρκαγιάς.

Παρόλο που τα πρότυπα παρέχουν από απλούς έως περίπλοκους κανόνες χρήσης, είναι σημαντικό να κατανοηθούν οι ιδιότητες των σκυροδεμάτων όταν υποβάλλονται σε φωτιά, διότι τα σκυροδέματα αλλάζουν με εξαιρετικά περίπλοκους τρόπους κατά τη διάρκεια περιστατικών πυρκαγιάς. Σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, μπορεί να αυξηθούν πολύ οι θερμοκρασίες και να προκαλέσουν φυσικοχημικές αλλαγές στο σκυρόδεμα, όπως αφυδάτωση με ξήρανση του σκυροδέματος και απανθράκωση. Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν συρρικνώσεις, απώλειες αντίστασης και ακαμψία των υλικών. Η αφυδάτωση και η απανθράκωση είναι ενδοθερμικές αντιδράσεις, οι οποίες απορροφούν ενέργεια και επομένως επιβραδύνουν τη θέρμανση. Συνεπώς, συμβαδίζουν με την απορρόφηση της θερμότητας που επιβραδύνει τη θέρμανση του υλικού που εκτίθεται στη φωτιά.

Μόλις οι θερμοκρασίες υπερβούν τους 100° C, εμφανίζονται φαινόμενα αφυδάτωσης και εξάτμισης στις θερμαινόμενες επιφάνειες. Εάν οι τριχοειδείς

πόροι είναι πολύ μικροί, η συσσώρευση πίεσης των ατμών μπορεί να προκαλέσει εφελκυστικές τάσεις στο σκυροδέμα σε αυτό το σημείο, ώστε να ξεπεραστούν τα όρια αντίστασης του σκυροδέματος. Το φαινόμενο γίνεται ακόμη πιο έντονο επειδή η υγρασία του σκυροδέματος είναι υψηλή και η άνοδος της θερμοκρασίας είναι πολύ γρήγορη. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τις απορρίψεις θραυσμάτων σκυροδέματος από τις επιφάνειες των στοιχείων άλλοτε με περισσότερο και άλλοτε με λιγότερο βίαιο τρόπο.

Στο σκυροδέμα, η απώλεια αντίστασης προκύπτει κυρίως από το σχηματισμό εσωτερικών ρωγμών και την υποβάθμιση / αποσύνθεση της πάστας του τσιμέντου. Η πάστα στην πραγματικότητα συστέλλεται ενώ παράλληλα διογκώνονται τα περιεχόμενα κοκκία. Εκτός από αυτές τις εσωτερικές ρωγμές, σε αυτές τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες πυρκαγιάς παρατηρούνται επίσης σχηματισμοί ρωγμών μεταξύ της πάστας του τσιμέντου και των αδρανών. Έτσι από τη σημαντική αύξηση των θερμοκρασιών εμφανίζονται αρκετοί μετασχηματισμοί στην πάστα του τσιμέντου, προκαλώντας απώλεια συνοχής.



Εικόνα 14: Εκτεταμένη Αποσύνθεση Σκυροδέματος



Εικόνα 15: Εκτεθειμένοι Σιδηροπλισμοί

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Για ένα δομικό στοιχείο που εκτίθεται σε πυρκαγιά και στις τέσσερις πλευρές του, το σκυρόδεμα θερμαίνεται γρήγορα επιφανειακά και θέλει να διογκωθεί (Brüls and Vandeveld 2000). Αυτή η διόγκωση παρεμποδίζεται από τον πυρήνα του στοιχείου, ο οποίος παραμένει κρύος. Έτσι παρατηρείται ότι εφαρμόζονται εσωτερικές εφελκυστικές τάσεις στον πυρήνα και επιφανειακές πιέσεις συμπίεσης επί των πλευρών του στοιχείου.

Καθώς οι θερμικές καταπονήσεις υπερτίθενται των τάσεων που προκύπτουν από τα εφαρμοζόμενα φορτία, το εξωτερικό του σκυροδέματος, του οποίου η αντίσταση μειώνεται καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες, υπόκειται σε εξαιρετικά υψηλές καταπονήσεις. Αυτές οι τάσεις, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αφυδάτωση των εξωτερικών πλευρών και την διαστολή των ράβδων, εξηγούν τις εκρήξεις του σκυροδέματος, τις βίαιες απορρίψεις θραυσμάτων καθώς και τις θραύσεις ράβδων οπλισμού.

Αυτές οι εκρήξεις αφορούν κυρίως τις ενισχυμένες γωνίες επικάλυψης και των επιφανειακών όψεων των στηλών σκυροδέματος. Τα απορριπτόμενα θραύσματα μειώνουν τα τμήματα των στηλών και αυξάνουν την κάμψη επειδή η

εκκεντρότητα του φορτίου αυξάνεται τοπικά. Μάλιστα, τα εκτεθειμένα σημεία θερμαίνονται γρηγορότερα από αυτά που παραμένουν προστατευμένα από το σκυρόδεμα.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΚΘΕΣΕΙΣ

Το σκυρόδεμα αλλάζει με εξαιρετικά περίπλοκους τρόπους κατά τη διάρκεια περιστατικών πυρκαγιάς. Πιο συγκεκριμένα:

Θερμοκρασίες < 100° C: Αυτές τις θερμοκρασίες δεν προσβάλουν το σκυρόδεμα, οπότε δημιουργούνται απλές διογκώσεις – επεκτάσεις.

Θερμοκρασίες > 100° C: Το σκυρόδεμα χάνει το νερό που δεν είναι χημικά δεσμευμένο και εξατμίζεται από τους τριχοειδείς πόρους.

Θερμοκρασίες 100° C – 800° C: Το σκυρόδεμα χάνει το χημικά δεσμευμένο νερό του.

Θερμοκρασίες > 300° C: Η πάστα του σκυροδέματος συστέλλεται ενώ οι κόκκοι του διαστέλλονται. Μεγάλης διάρκειας έκθεση σε αυτές τις θερμοκρασίες μειώνει σημαντικά την αντίσταση στην πρόσφυση και το σκυρόδεμα αρχίζει να διαλύεται.

Θερμοκρασίες 400° C – 600° C: Το υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ διασπάται σε οξείδιο του ασβεστίου CaO και νερό H_2O . Το νερό εξατμίζεται προκαλώντας φαινόμενα τοπικού ξεφλουδίσματος.

Θερμοκρασίες $\pm 575^\circ \text{C}$: Αυθόρμητος μετασχηματισμός του χαλαζία α σε χαλαζία β που συμβαδίζει με μια αύξηση στον όγκο του σκυροδέματος.

Θερμοκρασίες > 700° C: Ο μετασχηματισμός του ασβεστόλιθου CaCO_3 σε οξείδια του ασβεστίου CaO και διοξείδιο του άνθρακα CO_2 ξεκινά.

Θερμοκρασίες 1150° C– 1200° C: Το σκυρόδεμα αρχίζει να λιώνει. Πρώτα η πάστα τσιμέντου και έπειτα τα σκύρα.

Θερμοκρασίες 1300° C–1400° C: Σύνδεση του ασβέστη με SiO_2 και Al_2O_3 . Το σκυρόδεμα εμφανίζεται ως τηγμένη μάζα.

Η απόδοση των κατασκευών από σκυρόδεμα σε συνθήκες πυρκαγιάς έχει γενικά αξιολογηθεί με βάση αρκετά απλοποιημένους κανόνες που παρέχονται από τους κώδικες πρακτικής και κυρίως ασχολούνται με τις ελάχιστες γεωμετρικές απαιτήσεις όσον αφορά το πάχος και την ποιότητα σκυροδέματος. Ωστόσο, ατυχήματα υπό συνθήκες πυρκαγιάς, αποκάλυψαν ένα ορισμένο επίπεδο ευπάθειας των κατασκευών σκυροδέματος στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες, που αναπτύσσονται κατά της διάρκεια της φωτιάς και έδειξαν ότι οι ισχύοντες κανονισμοί είναι δυνητικά ανεπαρκείς για να καλύψουν αυτήν την πτυχή του σχεδιασμού. Κατά συνέπεια, και λαμβάνοντας υπόψη ότι το σκυρόδεμα δεν είναι ούτε καύσιμο, ούτε σημαντικά ευαίσθητο σε ζητήματα σταθερότητας, ο σχεδιασμός των κατασκευών ενσωματώνει παραδοσιακούς κανονισμούς σε μια αρκετά απλοποιημένη μορφή, παρέχοντας κυρίως ελάχιστο πάχος και επικάλυψη σκυροδέματος για την αντιμετώπιση των συνθηκών πυρκαγιάς.

Σε αυτά τα επίπεδα απλότητας, ορισμένοι κώδικες είναι προς το παρόν διαθέσιμοι με συγκεκριμένες και πολύ λεπτομερείς διατάξεις σχετικά με τη σχεδιαστική προσέγγιση των κατασκευών από σκυρόδεμα ώστε να αντέχουν σε καταστάσεις πυρκαγιάς, όπως ο κώδικας EN 1992-1-2. Με αυτό τον τρόπο καλύπτεται ένας μεγάλος αριθμός απλουστευμένων και προηγμένων σχεδιαστικών διαδικασιών. Δυστυχώς, η ιεραρχία αυτών των διαδικασιών, καθώς και ποια είναι η πιο κατάλληλη διαδικασία για μια δεδομένη κατάσταση είναι μερικές φορές ασαφής σχεδιαστικά. Επιπλέον, πιθανότατα να μην είναι μάλλον απαραίτητο να πραγματοποιηθούν πολύπλοκες και λεπτομερείς αναλύσεις για όλους τους τύπους των δομών, αλλά τα επίπεδα βελτίωσης σε συνθήκες πυρκαγιάς μπορούν να προσαρμοστούν στην σημαντικότητα κάθε κατασκευής και την αξία της για την κοινωνία.

Παρόλο που οι κατασκευές από σκυρόδεμα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε συνθήκες πυρκαγιάς σε σύγκριση με ξύλινες και μεταλλικές κατασκευές, έχουν συμβεί και έχουν αναφερθεί καταρρεύσεις κατασκευών σκυροδέματος. Αυτές οφείλονται στις ζημιές που έχουν προκληθεί στους φέροντες οργανισμούς των κτηρίων εξαιτίας της έκθεσής τους σε πολύ υψηλές

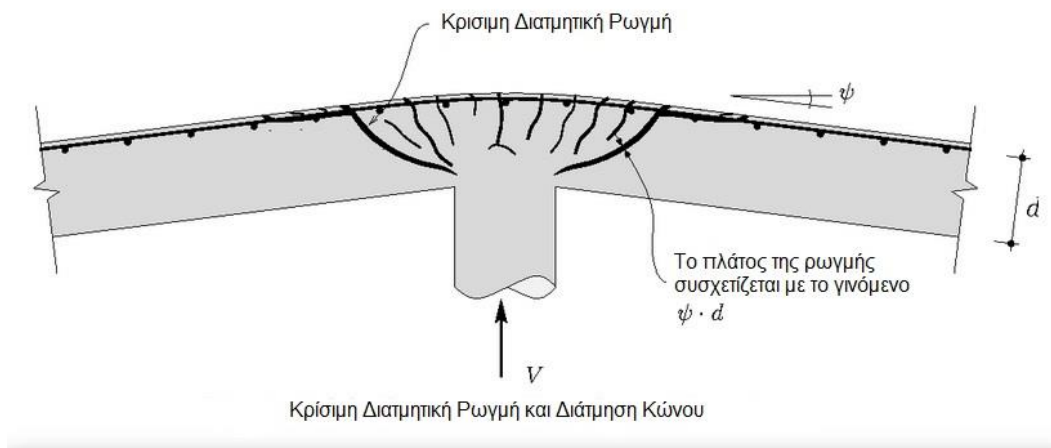
θερμοκρασίες. Οι πιο σημαντικές από αυτές αναφέρονται παρακάτω καθιστώντας τρωτές τις συγκεκριμένες κατασκευές.

➤ Αστοχίες στις κολώνες από διατμητικές τάσεις λόγω υπερβολικών πλευρικών μετατοπίσεων. Είναι πιθανών ένα από τα πιο γνωστά προβλήματα αστοχίας κατασκευών σκυροδέματος που αναφέρονται έπειτα από συμβάντα πυρκαγιάς (για παράδειγμα η πυρκαγιά στην αποθήκη της Γάνδης, Feb 2007). Οι αστοχίες στις κολώνες προκαλούνται λόγω υπερβολικής μετατόπισης έπειτα από την θέρμανση της άνω πλάκας. Κτήρια που έχουν μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των αρθρώσεων στοιχείων του φέροντος οργανισμού και με περιορισμένες ικανότητες παραμορφώσεων των υποστυλωμάτων είναι τα πιο ευαίσθητα. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι παρόλο που οι προαναφερθείσες έμμεσες δράσεις, όπου η συμπίεση στις δοκούς που μετατρέπεται σε διάτμηση τάση στις κολώνες, είναι συνήθως επιζήμιες για τις κολώνες (εκτός και εάν ακολουθούνται ειδικοί κανόνες κατασκευής), ενώ λειτουργούν ευεργετικά για τις δοκούς (Vecchio & Collins, 1988).

➤ Αστοχίες στις κολώνες που προκαλούνται από δευτερογενείς αιτίες. Όπως οι χαλύβδινες έτσι και οι κολώνες σκυροδέματος είναι ευαίσθητες σε συνθήκες πυρκαγιάς (Kodur & McGrath, 2003), όπου η επακόλουθη μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών επιφέρει μείωση της φέρουσας ικανότητας. Επί του παρόντος, ο σχεδιασμός βασίζεται σε τεχνικές προδιαγραφές οι οποίες συνήθως περιλαμβάνουν ως παράμετρο τη διάρκεια της φωτιάς για τον καθορισμό των ελάχιστων απαιτούμενων διαστάσεων.

➤ Αστοχίες πλακών του φέροντος οργανισμού με περιορισμένες ικανότητες παραμόρφωσης. Έπειτα από συμβάντα πυρκαγιάς έχουν αναφερθεί διατρήσεις πλακών με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα ο χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων στο Gretzenbach στην Ελβετία (Muttoni et al. 2008). Αξιολογήσεις αυτών των περιπτώσεων και των συμπεριφορών διάτρησης έπειτα από συμβάντα πυρκαγιάς δείχνουν ότι τέτοιες αστοχίες συνήθως εμφανίζονται στις συζεύξεις των κολώνων με τις πλάκες (Bamonte et al. 2012). Οι περιορισμένες ικανότητες παραμόρφωσης προκαλούνται κυρίως λόγω της αύξησης δυσκαμψίας των κολώνων που βρίσκονται κοντά στην πηγή της πυρκαγιάς. Αυτό έχει ως συνέπεια την

υπερβολική τοπική υπερφόρτωση και καταπόνηση του φέροντος οργανισμού καθώς και μιας μη ομοιόμορφης κατανομής της θέρμανσης. Αντιθέτως, σοβαρές συνθήκες πυρκαγιάς σε επίπεδες πλάκες με επαρκή ικανότητα παραμόρφωσης (για παράδειγμα ενισχυμένες διατμητικά πλάκες οδήγησε σε αστοχίες του σκυροδέματος αλλά χωρίς να προκαλούν την πλήρη κατάρρευση της κατασκευής.



Εικόνα 16: Λεπτομέρεια ανάπτυξης δυνάμεων διάτρησης επίπεδης πλάκας γκαράζ στάθμευσης στο Gretzenbach (Ελβετία 2004).

➤ Απώλεια ικανοτήτων διπλής καμπυλότητας των μελών του κελύφους ενισχύσεως ενός φέροντος οργανισμού. Τέτοια στοιχεία έχουν αναφερθεί ως ιδιαίτερα ευαίσθητα σε συνθήκες πυρκαγιάς. Οι αστοχίες των δομών του κελύφους δεν σχετίζονται με την υποβάθμιση των αντοχών του υλικού, αλλά στην απώλεια συνθηκών διπλής καμπυλότητας από τις επιβληθείσες πιέσεις που προήλθαν από τη θέρμανση της μίας επιφάνειας. Έτσι τα κελύφη δεν συμπεριφέρονται πλέον ως μεμβράνες, αλλά πρέπει να φέρουν ταυτόχρονα τις ροπές κάμψης και τις διατμητικές δυνάμεις στις διαθέσιμες διαστάσεις. Η ενίσχυση λοιπόν που είναι σχεδιασμένη να συμπεριφέρεται ως μεμβράνη, δεν επαρκεί για να διασφαλιστεί η ικανότητα μεταφοράς φορτίου.

ΖΗΜΙΕΣ ΥΠΟ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Γίνεται αντιληπτό πως οι αστοχίες σκυροδέματος σχετίζονται κυρίως με τη δομική συμπεριφορά των στοιχείων του φέροντος οπλισμού που έχουν εύθραυστη

συμπεριφορά (αύξηση καμπυλότητας ή περιττές δυνάμεις), παρά με την υποβάθμιση των υλικών. Έτσι αυτή η πτυχή έρχεται σε αντίθεση με την παραδοσιακή προσέγγιση των κωδικών που παρέχουν τα ελάχιστα πάχη των δομικών στοιχείων, αλλά δεν παρέχουν κανόνες σχετικά με την ικανότητα παραμόρφωσης ή των δομικών απαιτήσεων. Επιπλέον, μια άλλη βασική πτυχή των συνθηκών πυρκαγιάς είναι οι μεγάλες μετατοπίσεις που προκαλούνται από τις θερμικές διαστολές, η οποία έρχεται σε αντίθεση με τις συνηθισμένες παραδοχές σχετικά με τις αστικές δομές (κατασκευές σκυροδέματος), όπου οι μετακινήσεις είναι πολύ μικρές και οι συνθήκες ισορροπίας δεν επηρεάζονται από τις παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων.

ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΕΙΣ: Οι αποφλοιώσεις των σκυροδεμάτων που εκτίθενται στις υψηλές θερμοκρασίες των πυρκαγιών έχουν παρατηρηθεί τόσο σε συνθήκες εργαστηρίων όσο και σε πραγματικές περιπτώσεις. Δύο κύρια είδη αποφλοιώσεων έχουν παρατηρηθεί τα οποία είναι οι εκρηκτικές αποφλοιώσεις και οι επιφανειακές αποσπάσεις σκυροδεμάτων.

Οι εκρηκτικές αποφλοιώσεις εμφανίζονται σχεδόν αποκλειστικά στα υποστυλώματα, στις δοκούς και στις διαδοκίδες μέσα σε ένα περιορισμένα εύρη τάσεων και ποσοστών υγρασίας.

Γενικά κάνουν την εμφάνισή τους μέσα στα πρώτα 30 λεπτά μιας πυρκαγιάς και εν συνεχεία ακολουθούνται από διαδοχικές σειρές διαρρήξεων, που κάθε μια προκαλεί αφαιρέσεις τοπικών στρωμάτων σκυροδέματος οι οποίες είναι μικρού βάθους. Άλλοι τύποι αποφλοιώσεων, οι οποίοι συχνά αποκαλούνται και ως αποσπάσεις, είναι μη βίαιοι βαθμιαίοι διαχωρισμοί, όπου εμφανίζονται κυρίως στις άκρες των δοκών και των υποστυλωμάτων.



Εικόνα 17: Αποφλοιώση Σκυροδέματος

Μερικές φορές οι τύποι των αδρανών επηρεάζουν τα είδη και τους τρόπους που γίνονται οι αποφλοιώσεις. Σκυροδέματα που περιέχουν ασβεστολιθικά αδρανή διαχωρίζονται συνήθως σε λεπτά στρώματα, με τα επίπεδα της θραύσης να διαπερνούν τα αδρανή. Στον αντίποδα σκυροδέματα που περιέχουν φυσικά αδρανή μπορεί να θρυμματιστούν γύρω από τα αδρανή αποκαλύπτοντας μια επιφάνεια με “εκτεθειμένα αδρανή”.

Οι αποφλοιώσεις που οδηγούν στις απώλειες κομματιών σκυροδέματος από τα δομικά στοιχεία των κτηρίων κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, καταστρέφουν τη πάχη των επικαλύψεων και επιφέρουν την έκθεση των βαθύτερων στρωμάτων του σκυροδέματος στις μέγιστες θερμοκρασίες της πυρκαγιάς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνονται τα ποσοστά μετάδοσης των θερμοτήτων στα εσωτερικά στρώματα της κατασκευής και πιο συγκεκριμένα στον οπλισμό των δομικών στοιχείων, επιφέροντας με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερες ζημιές.

Αξιοσημείωτα περιστατικά αποφλοιώσεων έχουν παρατηρηθεί και μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν, κατά τη διάρκεια εξέλιξης μια πυρκαγιάς ή μετά την κατάσβεσή της, κατά τη διάρκεια της ψύξης των σκυροδεμάτων των δομικών στοιχείων.

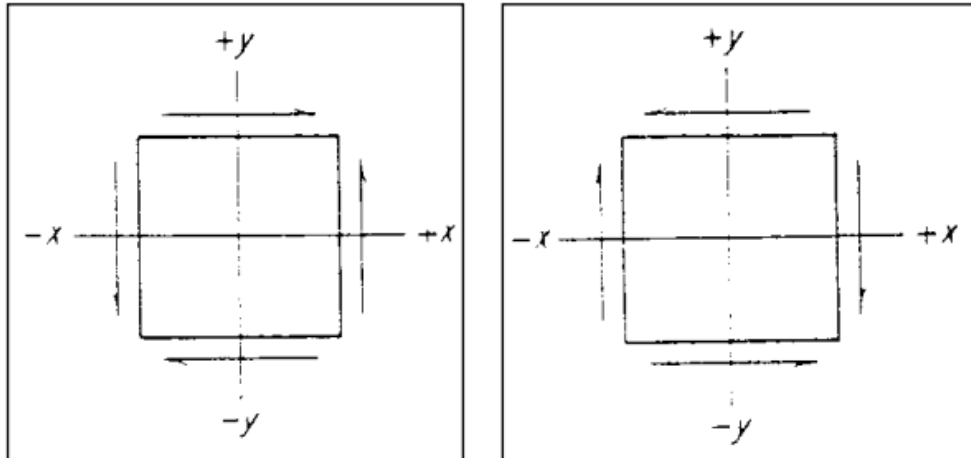


Εικόνα 18: Θραύση Ράβδων Οπλισμού Πλάκας

ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ – ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΙ: Σε καταστάσεις υψηλών θερμοκρασιών, οι ανεμπόδιστες θερμικές διαστολές των χαλύβδινων οπλισμών είναι σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές των περισσότερων τύπων σκυροδέματος. Υψηλές θερμικές τάσεις και ρηγματώσεις γύρω από τους χάλυβες των δομικών στοιχείων και ιδιαίτερα στα υπεροπλισμένα μέλη των δομικών στοιχείων είναι τα αποτελέσματα συνθηκών υψηλών θερμοκρασιών. Η τάση για παρουσίαση ρωγμών σε αυτά τα σημεία των μελών ήταν υπαρκτή και πριν από την πυρκαγιά, λόγω των υφιστάμενων συστολών λόγω ξήρανσης, καμπτικών φορτίσεων, κλπ. αλλά επιταχύνθηκε εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Επιπρόσθετα, οι θερμικές ασυμβατότητες των αδρανών και του τσιμέντου προκαλούν τάσεις που οδηγούν συχνά σε ρηγματώσεις.

ΤΑΣΕΙΣ: Η τάση σχ ονομάζεται ορθή τάση (normal stress), ενώ οι τάσεις τ_{xy} και τ_{xz} ονομάζονται διατμητικές τάσεις (shear stresses). Ας σημειωθεί ότι ο δείκτης x στον παραπάνω συμβολισμό των τάσεων δηλώνει ότι οι τάσεις ενεργούν επάνω σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο προς τον άξονα x . Ο δεύτερος δείκτης στις

διατμητικές τάσεις υποδηλώνει την διεύθυνση προς την οποία επενεργούν οι τάσεις αυτές. Έτσι, για παράδειγμα, το σύμβολο τ_{xy} σημαίνει ότι πρόκειται για διατμητική τάση που επενεργεί επάνω σε ένα επίπεδο κάθετο προς τον άξονα x και η διεύθυνσή της είναι παράλληλη προς τον άξονα y . Αντίστοιχα, το σύμβολο τ_{xz} σημαίνει ότι πρόκειται για διατμητική τάση που επενεργεί επάνω σε ένα επίπεδο κάθετο προς τον άξονα x και η διεύθυνσή της είναι παράλληλη προς τον άξονα z . Όσον αφορά το πρόσημο των συνιστωσών της τάσης, έχει επικρατήσει οι ορθές τάσεις να θεωρούνται θετικές όταν προκαλούν εφελκυσμό (tension) σε ένα σώμα και αρνητικές όταν προκαλούν θλίψη (compression). Μία διατμητική τάση θεωρείται θετική όταν επενεργεί στη “θετική” έδρα ενός στοιχειώδους κύβου και έχει φορά προς την θετική διεύθυνση του άξονα συντεταγμένων. Επίσης, θετική είναι μία διατμητική τάση όταν επενεργεί στην “αρνητική” έδρα ενός στοιχειώδους κύβου και έχει φορά προς την αρνητική διεύθυνση του άξονα συντεταγμένων. Για παράδειγμα, όλες οι διατμητικές τάσεις που φαίνονται στο Σχ. 1 είναι θετικές. Αρνητική θεωρείται μία διατμητική τάση όταν επενεργεί στη “θετική” έδρα ενός στοιχειώδους κύβου και έχει φορά προς την αρνητική διεύθυνση του άξονα συντεταγμένων, ή όταν επενεργεί στην “αρνητική” έδρα ενός στοιχειώδους κύβου και έχει φορά προς την θετική διεύθυνση του άξονα συντεταγμένων.



Σχήμα 1: Διαμητικές τάσεις

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ: Οι επιδράσεις των τάσεων στα στερεά σώματα ονομάζονται παραμορφώσεις (strains). Μια ορθή τάση θα προκαλέσει και την αντίστοιχη ορθή παραμόρφωση (normal strain). Ας υποθέσουμε ότι υπάρχει η πακτωμένη κυλινδρική ράβδος του Σχήματος 2, επάνω στην οποία τοποθετούνται δύο σημάδια που έχουν μεταξύ τους απόσταση L_o . Εάν επί της ράβδου εφαρμοστεί μία εφελκυστική δύναμη P , η απόσταση μεταξύ των δύο σημαδιών θα έχει μεταβληθεί και θα έχει αυξηθεί κατά ένα μέγεθος u και θα ισούται με $L_f = L_o + u$. Αυτή η ποσότητα u που μεταβάλλει την απόσταση ονομάζεται επιμήκυνση (elongation). Η ποσότητα ϵ που περιγράφεται από την σχέση της Εξίσωσης 1:

$$\frac{L_f - L_o}{L_o} = \frac{L_o + u - L_o}{L_o} = \frac{u}{L_o}$$

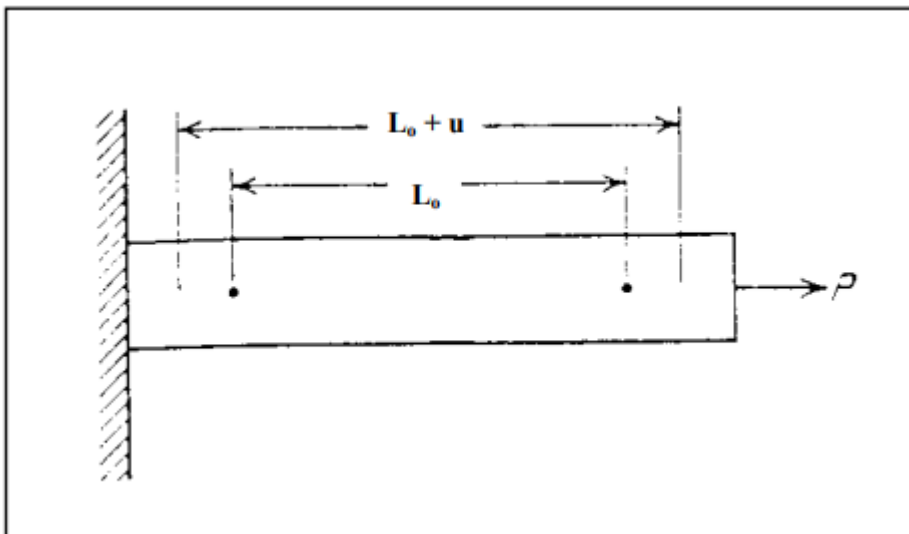
Εξίσωση 1: Εξίσωση επιμήκυνσης

ονομάζεται ορθή παραμόρφωση και με τον τρόπο που ορίζεται από την εξίσωση λέγεται ονομαστική ορθή παραμόρφωση ή απλώς ονομαστική παραμόρφωση (nominal ή engineering strain).

Εάν η παραμόρφωση ε ορίζεται από την σχέση της Εξίσωσης 2, όπου L_o το αρχικό μήκος και L_f το τελικό μήκος αντιστοίχως, τότε ονομάζεται πραγματική ορθή παραμόρφωση (true strain).

$$\varepsilon = \int_{L_o}^{L_f} \frac{dL}{L} = \ln\left(\frac{L_f}{L_o}\right)$$

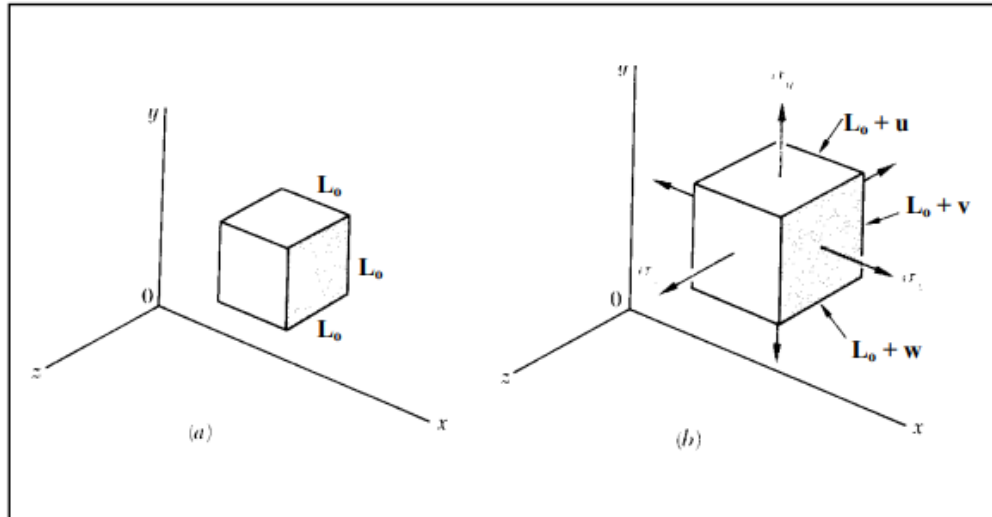
Εξίσωση 2: Εξίσωση πραγματικής ορθής παραμόρφωσης



Σχήμα 2: Πακτωμένη Ράβδος

Οι ορθές παραμορφώσεις και ως εκ τούτου οι ορθές τάσεις που τις προκαλούν, ευθύνονται για τις μεταβολές των γραμμικών διαστάσεων των σωμάτων όπως για παράδειγμα το μήκος μίας ράβδου ή το μήκος και το πλάτος ενός λεπτού ελάσματος κ.τ.λ. Για παράδειγμα στον κύβο του Σχήματος 3 με πλευρές αρχικού μήκους έστω L_o , ασκούνται αντίστοιχα οι ορθές τάσεις σ_x , σ_y και σ_z . Υπό από την

επίδραση αυτών των ορθών τάσεων, τα αρχικά μήκη των ακμών του κύβου έχουν επιμηκυνθεί κατά u , v και w , αντίστοιχα (όπου οι επιμηκύνσεις $u \neq v \neq w$).



Σχήμα 3: Πακτωμένος κύβος

Η ορθή παραμόρφωση, εκφρασμένη είτε σαν ονομαστική είτε σαν πραγματική παραμόρφωση, σαν φυσικό μέγεθος αντιπροσωπεύει το πηλίκο μηκών (τελικό μήκος/αρχικό μήκος) και επομένως δεν έχει μονάδες μέτρησης. Είναι, δηλαδή, ένα αδιάστατο μέγεθος. Επίσης, έχει επικρατήσει κατά σύμβαση, οι ορθές παραμορφώσεις να θεωρούνται θετικές όταν εκφράζουν εφελκυσμό (επιμήκυνση) και αρνητικές όταν εκφράζουν θλίψη (επιβράχυνση) των γραμμικών διαστάσεων ενός στερεού σώματος.

3.2 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Μετά από συμβάντα πυρκαγιών που έχουν συμβεί σε κτήρια ή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, συχνά υπάρχουν πολλαπλοί τύποι βλαβών στα δομικά υλικά των στοιχείων. Η κατανόηση των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών και των επιπτώσεων που έχουν οι θερμοότητες σε αυτές τις ιδιότητες είναι σημαντικές πτυχές της εκτίμησης των βλαβών. Οι δομικοί χάλυβες μπορούν να ανακτήσουν σχεδόν το 100% των ιδιοτήτων που είχαν πριν την έκθεσή τους σε θερμοκρασίες, όταν αυτές δεν θα υπερβούν τους 720 °C (1330 °F). Οι δομικοί χάλυβες αποτελούνται συνήθως από χάλυβες θερμής έλασης και χαμηλού άνθρακα διαφορετικής αντοχής. Οι ιδιότητες αυτών των χαλύβων αλλάζουν με την αύξηση της θερμοκρασίας και μπορεί να συμβούν φαινόμενα διαβρώσεων, δια-στατικών αλλαγών, μειώσεις αντοχών καθώς και μόνιμων αλλαγών στη μεταλλική μικροδομή των υλικών.

ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ

Οι δομικοί χάλυβες είναι υψηλών αντοχών και χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολυώροφα κτήρια και γέφυρες λόγω των πλεονεκτημάτων υψηλής αντοχής και επαρκής ολκιμότητας που διαθέτουν. Αυτού του είδους ο χάλυβας αναφέρεται συνήθως σε χάλυβες ισχύων ονομαστικών τάσεων διαρροής ίσων ή μεγαλύτερων από 460MPa. Τέτοιοι είναι οι χάλυβες Κίνας όπως οι Q460, οι Q550 και οι Q690, οι χάλυβες Ευρώπης όπως οι S460 και S690, καθώς και οι χάλυβες Αυστραλίας όπως οι BISPLATE80. Οι χάλυβες υψηλής αντοχής (High Strength Steels: HSS) παράγονται χρησιμοποιώντας ειδικές χημικές συνθέσεις και διαδικασίες κατασκευής. Και οι δυο αυτές πτυχές επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητές τους και στις υψηλές θερμοκρασίες αλλά και μετά από την ψύξη, και ιδιαίτερα την υπολειμματική αντοχή και την ολκιμότητα των δομικών μελών.

Καθώς οι χάλυβες HSS εξισώνουν το σχεδιασμό ελαφρύτερων δομικών στοιχείων, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αναπτύσσονται εσωτερικά υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα στοιχεία χάλυβα που έχουν σχεδιαστεί με συμβατικό χάλυβα. Επομένως, χάλυβες μικρού πάχους, μαζί με τις σοβαρές

επιδράσεις των υψηλών θερμοκρασιών στις μηχανικές ιδιότητες των HSS, αυξάνουν την ευπάθεια τέτοιων κατασκευών στη φωτιά. Επιπλέον, η επαναχρησιμοποίηση και αποκατάσταση αυτών των κατασκευών είναι πιο δύσκολη λόγω των χαμηλών υπολειμματικών μηχανικών ιδιοτήτων των HSS μετά την περίοδο ψύξης.

Οι χάλυβες HSS και πολύ υψηλής αντοχής (Very High Strength Steels: VHSS) έχουν αποκτήσει σημαντική προσοχή τα τελευταία χρόνια. Οι αυξημένες απαιτήσεις στις οικοδομικές κατασκευές επιβάλλουν την ανάγκη χρησιμοποίησης υλικών με βελτιωμένες ιδιότητες. Οι HSS συμβάλλουν ώστε να χρησιμοποιούνται χάλυβες μειωμένων διατομών, με αποτέλεσμα οι κατασκευές να είναι ελαφρύτερες, με μεγαλύτερες αναλογίες αντοχής προς βάρος, μεγαλύτερα ύψη διάκενου, κάνοντας ευκολότερη την κατασκευή και την επιθεώρηση. Για αυτούς τους λόγους επιλέγονται σε μεγάλο βαθμό οι χάλυβες HSS στην κατασκευή γεφυρών και πολυώροφων κτηρίων. Οι VHSS έχουν πρόσφατα εισαχθεί στον κατασκευαστικό τομέα, ενώ ήδη χρησιμοποιούνται ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία, λόγω της υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό και στην ικανότητα απορρόφησης ενέργειας (Azhari et al., 2015).

Τα τελευταία 20 χρόνια, χάλυβες υψηλής αντοχής έχουν ξεκινήσει και εφαρμόζονται στην κατασκευή πολλών γνωστών κτιρίων σε ολόκληρο τον κόσμο. Για παράδειγμα, χρησιμοποιήθηκαν χάλυβες S460 και S690 για την κατασκευή του κτηρίου της Sony στο Βερολίνο. Χρησιμοποιήθηκε χάλυβας BISPLATE 80 για την κατασκευή του αρχοντικού Latitude που βρίσκεται στο Σίδνεϋ. Για την κατασκευή του εθνικού σταδίου της Κίνας στο Πεκίνο όπου πραγματοποιήθηκε η τελετή έναρξης των Ολυμπιακών Αγώνων του 2008 χρησιμοποιήθηκε χάλυβας Q460.

Ωστόσο, οι εφαρμογές με χάλυβες υψηλής αντοχής εξακολουθούν να είναι περιορισμένες σε σύγκριση με εκείνες του μαλακού χάλυβα. Αυτό συνήθως οφείλεται στο ότι δεν υπάρχουν αποδεκτές μέθοδοι σχεδιασμού πυρασφάλειας σε δομές κατασκευής με χάλυβες υψηλής αντοχής, συμπεριλαμβανομένης και της αξιολόγησης και της συμπεριφοράς αξιολόγησης της δομής μετά από περιστατικά πυρκαγιάς. Στην πραγματικότητα, ορισμένες χαλύβδινες κατασκευές μπορεί να

διασωθούν μετά την κατάσβεση των πυρκαγιών είτε από έλλειψη αποθηκευμένων καύσιμων υλών, είτε από την έγκαιρη πυρόσβεση (Fan et al., 2017 - Lou et al., 2018 – Zhang and Wang, 2018). Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι χαλύβδινες δομές μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν εάν η δομική ακεραιότητα τους δεν έχει επηρεαστεί. Προκειμένου να εκτιμηθεί η δομική απόδοση των χαλύβδινων κατασκευών μετά την πυρκαγιά, είναι απαραίτητο να γίνουν κατανοητές οι μηχανικές ιδιότητες και οι τρόποι συμπεριφοράς των μελών του χάλυβα μετά την φωτιά (Qiang et al., 2018).

Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναφερθεί μηχανικές ιδιότητες χάλυβα Q460 υψηλής αντοχής, χάλυβας S460, χάλυβας S690, χάλυβας S960 μετά από πυρκαγιά. Τα ευρήματα έδειξαν ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες μεταξύ διαφορετικών ειδών χάλυβα, ακόμη και για τους χάλυβες με παρόμοια ονομαστική τιμή ορίου διαρροής. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αποδοθεί κυρίως στο γεγονός ότι οι χημικές συνθέσεις διαφέρουν για τα διαφορετικά ήδη χάλυβα καθώς και οι διαφορετικές διαδικασίες παραγωγής στις εκάστοτε εταιρείες (Li et al., 2019).

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ

Οι ιδιότητες των δομικών χαλύβων προκύπτουν τόσο από τις χημικές τους συνθέσεις όσο και από τις μεθόδους κατασκευής τους, καθώς και των μεθόδων επεξεργασίας τους κατά τα στάδια κατασκευής τους. Τα πρότυπα των προϊόντων υποδεικνύουν τα όρια για τις συνθέσεις, τις ποιότητες και τις αποδόσεις, τα οποία ενδιαφέρουν τους σχεδιασμούς των δομών. Για το σχεδιασμό, οι μηχανικές ιδιότητες προέρχονται από τις ελάχιστες τιμές που καθορίζονται από τα σχετικά πρότυπα των προϊόντων. Η δυνατότητα συγκόλλησης καθορίζεται από το χημικό περιεχόμενο του κράματος, το οποίο διέπεται από όρια στο πρότυπο προϊόντος. Η ανθεκτικότητα εξαρτάται από τον συγκεκριμένο και συνηθισμένο τύπο κράματος άνθρακα με χάλυβα, ο οποίος είτε είναι αδιάβροχος είτε ανοξειδωτός. Οι ιδιότητες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους σχεδιαστές κατά τον προσδιορισμό προϊόντων χάλυβα είναι οι παρακάτω:

- **ΔΥΝΑΜΗ:** Τα όρια διαρροής είναι τα πιο κοινά χαρακτηριστικά που χρειάζονται οι σχεδιαστές, καθώς είναι οι βάσεις που χρησιμοποιούνται για τους περισσότερους από τους κανόνες που χρησιμοποιούνται στους σχεδιαστικούς κώδικες. Στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα οι κύριοι χαρακτηρισμοί δομικών χαλύβων δομικών ανθράκων σχετίζονται με τις αντοχές αποδόσεων. Για παράδειγμα οι χάλυβες S355 είναι δομικοί χάλυβες οι οποίοι έχουν χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής 355 N/mm². Τα πρότυπα προϊόντων καθορίζουν επίσης τα επιτρεπόμενα εύρη τιμών για τις μέγιστες αντοχές εφελκυσμού (Ultimate Tensile Strength: UTS) και τα ελάχιστα UTS τα οποία σχετίζονται με ορισμένες πτυχές του σχεδιασμού.
- **ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ:** Ένα από τα κυριότερα φυσικά χαρακτηριστικά όλων των υλικών είναι ότι έχουν κάποιες ατέλειες. Στους χάλυβες αυτές οι ατέλειες συναντώνται υπό τη μορφή πολύ μικρών ρωγμών. Εάν οι χάλυβες δεν είναι αρκετά ανθεκτικοί, οι ρωγμές μπορούν να εξαπλωθούν πολύ γρήγορα, χωρίς κάποιες πλαστικές παραμορφώσεις και να οδηγήσουν στα λεγόμενα «εύθραυστα κατάγματα». Οι κίνδυνοι εύθραυστων καταγμάτων αυξάνονται με τα πάχη, τις εφελκυστικές τάσεις, τις αυξήσεις των τάσεων καθώς και με τις ψυχρές θερμοκρασιακές συνθήκες.
- **ΟΛΚΙΜΟΤΗΤΑ:** Η ολκιμότητα ή αλλιώς η ευπλαστότητα είναι μια τιμή μέτρησης, μοναδική για κάθε ένα υλικό, όπου προσδιορίζει το βαθμό τεντώματος ή επιμηκύνσεως μεταξύ της τιμής απόδοσης και του ενδεχόμενου σπασίματος υπό εφελκυστική τάση. Ο σχεδιασμός βασίζεται σε μια σειρά πτυχών της ολκιμότητας οι οποίες περιλαμβάνουν την αναδιανομή των τανύσεων σε οριακές καταστάσεις, τη σχεδίαση και τους αριθμούς της ομάδας μπουλονιών, τη μείωση του κινδύνου κοπώσεως και διαδόσεως ρωγμών, τις διαδικασίες συγκόλλησης κατά την κατασκευή, τις κάμψεις και το ίσιωμα. Τα πρότυπα για τους διάφορους βαθμούς χάλυβα «επιμένουν» σε μια ελάχιστη τιμή ολκιμότητας - ευπλαστότητας, οπότε εάν αυτές ορίζονται σωστά τότε οι όποιες παραδοχές των σχεδιασμών θα έχουν επαρκείς επιδόσεις συμπεριφοράς.
- **ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ:** Το σύνολο των δομικών χαλύβων είναι ουσιαστικά συγκολλησιμο. Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της συγκόλλησης αυτό προϋποθέτει πως θα υπάρξει μια τοπική τήξη του χάλυβα, ο

οποίος εν συνεχεία θα ψυχθεί. Η ψύξη υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να είναι αρκετά γρήγορη διότι η συγκόλληση μπορεί να είναι συνήθως σχετικά μικρή και η εισαγόμενη ποσότητα θερμότητας περιορισμένη. Έτσι το περιβάλλον υλικό, όπως για παράδειγμα η ίδια η δοκός, μπορεί να λειτουργήσει σαν μια μεγάλη «ψήκτρα», μειώνοντας απότομα την θερμοκρασία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σκλήρυνση της «ζώνης που επηρεάζεται από τη θερμότητα» (Heat Affected Zone: HAZ), η οποία με την σειρά της να επιφέρει μείωση σκληρότητας του υλικού. Όσο μεγαλύτερα είναι τα πάχη των υλικών, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι μειώσεις στις σκληρότητες.



Εικόνα 19: Συγκόλληση

Επίσης οι ευαισθησίες στην ευθραυστότητα εξαρτώνται κυρίως από τα στοιχεία των κραμάτων, αλλά όχι αποκλειστικά, από τις περιεκτικότητες σε άνθρακα. Αυτού του είδους η ευαισθησία μπορεί να εκφραστεί ως «Ισοδύναμη Αξία Χάλυβα» (Carbon Equivalent Value: CEV) προσδιορίζοντας τις τιμές άνθρακα στα διάφορα πρότυπα προϊόντων χάλυβα. Το Ευρωπαϊκό πρότυπο BS EN 10025 ορίζει τα υποχρεωτικά όρια CEV για όλα τα προϊόντα χάλυβα και βοηθά

στο να διασφαλίζονται ότι χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες προδιαγραφές για τις διαδικασίες συγκόλλησης.

- **ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ:** Μια ακόμη σημαντική ιδιότητα των χαλύβων είναι αυτή της πρόληψης των διαβρώσεων. Αν και διατίθενται ειδικά ανθεκτικοί χάλυβες στις διαβρώσεις, παρόλα αυτά δεν χρησιμοποιούνται συνήθως στις κατασκευές κτηρίων, με εξαίρεση τον «αδιάβροχο χάλυβα». Τα πιο συνηθισμένα μέσα παροχής προστασίας από τις διαβρώσεις στους κατασκευαστικούς χάλυβες είναι οι βαφές ή οι διαδικασίες γαλβανισμών των στοιχείων. Ο απαιτούμενος τύπος και βαθμός προστασίας της επικάλυψης εξαρτάται από τον βαθμό έκθεσης, τη θέση, τη διάρκεια ζωής του κλπ. Σε πολλές περιπτώσεις, σε ξηρές εσωτερικές συνθήκες δεν απαιτούνται επικαλύψεις προστασίας από τη διάβρωση εκτός από την κατάλληλη πυροπροστασία.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Ο χάλυβας αντλεί τις μηχανικές του ιδιότητες από ένα συνδυασμό χημικής σύνθεσης, θερμικής επεξεργασίας και διαδικασιών κατασκευής. Ενώ το κύριο συστατικό του χάλυβα είναι ο σίδηρος, η προσθήκη πολύ μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στις ιδιότητες του χάλυβα. Η ολκιμότητα μπορεί να ενισχυθεί ελαχιστοποιώντας τα επίπεδα του περιεχόμενου θείου, ενώ η ανθεκτικότητα μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη νικελίου. Η αντοχή του χάλυβα μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη κραμάτων όπως μαγγάνιο, νιόβιο και βανάδιο. Ωστόσο, αυτές οι προσθήκες κράματος μπορούν επίσης να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες, όπως ολκιμότητα, ανθεκτικότητα και ικανότητα συγκόλλησης. Επομένως οι χημικές συνθέσεις για κάθε προδιαγραφή χάλυβα είναι προσεκτικά ισορροπημένες και δοκιμάζονται κατά την παραγωγή του, ώστε να εξασφαλίζεται ότι επιτυγχάνονται οι κατάλληλες και ζητούμενες ιδιότητες.

Τα στοιχεία κράματος παράγουν επίσης μια διαφορετική απόκριση όταν το υλικό υποβάλλεται σε θερμικές επεξεργασίες που περιλαμβάνουν ψύξη με καθορισμένο ρυθμό από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία αιχμής. Η διαδικασία κατασκευής

μπορεί να περιλαμβάνει συνδυασμούς θερμικής επεξεργασίας και μηχανικής κατεργασίας που είναι κρίσιμης σημασίας για την απόδοση του χάλυβα. Η μηχανική εργασία πραγματοποιείται καθώς ο χάλυβας τυλίγεται ή μορφώνεται. Όσο περισσότερο τυλίγεται ο χάλυβας, τόσο πιο ισχυρός γίνεται. Αυτό το φαινόμενο είναι εμφανές στα πρότυπα υλικών, τα οποία τείνουν να προσδιορίζουν τη μείωση του ορίου διαρροής με το αυξανόμενο πάχος υλικού.

Ο χάλυβας ψύχεται καθώς τυλίγεται, με μια τυπική θερμοκρασία φινιρίσματος κύλισης περίπου 750 °C. Στη συνέχεια, ο χάλυβας που αφήνεται να κρυώσει φυσικά ονομάζεται ως υλικό «έλασης». Η ομαλοποίηση λαμβάνει χώρα όταν το υλικό έλασης θερμαίνεται στους 900 °C περίπου και διατηρείται σε αυτήν τη θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρόνο, προτού αφηθεί να κρυώσει φυσικά. Αυτή η διαδικασία καθαρίζει το μέγεθος των κόκκων και βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες, συγκεκριμένα τη σκληρότητα. Η κανονικοποιημένη έλαση είναι μια διαδικασία όπου η θερμοκρασία είναι πάνω από 900 °C μετά την ολοκλήρωση της έλασης. Αυτό έχει παρόμοια επίδραση στις ιδιότητες με την ομαλοποίηση, αλλά εξαλείφει την επιπλέον διαδικασία επαναθέρμανσης του υλικού. Οι χάλυβες που έχουν προκύψει από την παραπάνω διαδικασία έχουν την ένδειξη «N» ως χαρακτηριστικό κατασκευής.

Η χρήση χάλυβα υψηλού εφελκυσμού μπορεί να μειώσει τον όγκο του χάλυβα που απαιτείται, αλλά ο χάλυβας πρέπει να είναι σκληρός σε θερμοκρασίες λειτουργίας και θα πρέπει επίσης να εμφανίζει επαρκή ολκιμότητα ώστε να αντέχει στη διάδοση όλκιμων ρωγμών. Επομένως, οι χάλυβες υψηλότερης αντοχής απαιτούν βελτιωμένη ανθεκτικότητα και ολκιμότητα, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μόνο με καθαρούς χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας άνθρακα και με τη μεγιστοποίηση της βελτίωσης των κόκκων. Η εφαρμογή της θερμομηχανικής διαδικασίας κύλισης (Thermomechanical Rolling Process: TMR) είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό. Οι θερμομηχανικά κυλιόμενοι χάλυβες χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη χημική ιδιότητα του χάλυβα η οποία επιτρέπει χαμηλότερες θερμοκρασίες φινιρίσματος κύλισης περίπου 700 °C. Χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες δυνάμεις ώστε να κυλήσει και να τυλιχθούν οι χάλυβες σε αυτές τις χαμηλότερες θερμοκρασίες και οι ιδιότητες διατηρούνται εκτός εάν θερμανθούν

ξανά στους 650 °C. Οι θερμομηχανικά κυλιόμενοι χάλυβες έχουν την ένδειξη «M» ως χαρακτηριστικό κατασκευής.

Η διαδικασία σβήσιματος και σκλήρυνσης του χάλυβα ξεκινά με ένα ομαλοποιημένο υλικό στους 900 °C. Ψύχεται γρήγορα ή «σβήνεται» για την παραγωγή χαλύβων υψηλής δύναμης και σκληρότητας, αλλά χαμηλών αντοχών. Η ανθεκτικότητα αποκαθίσταται με επαναθέρμανση στους 600 °C, διατηρώντας τη θερμοκρασία για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια αφήνοντας την να κρυώσει φυσικά (διαδικασία: Tempering). Οι σβησμένοι και σκληρυμένοι χάλυβες έχουν την ένδειξη «Q» ως χαρακτηριστικό κατασκευής.

ΖΗΜΙΕΣ ΥΠΟ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Οι πυρκαγιές μπορούν να προκαλέσουν δομικές καταστροφές ή αστοχίες με πολλούς και διάφορους τρόπους, όπως θερμικές διαστολές των μεταλλικών μελών, καψίματα εύφλεκτων δομικών στοιχείων καθώς και υποβαθμίσεις άφλεκτων μελών. Επίσης προβλήματα μπορεί να προκληθούν από τους καπνούς των πυρκαγιών, καθώς και από τις μεγάλες ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται στις κατασβέσεις των πυρκαγιών οι οποίες είναι πολύ πιθανό να υπερφορτώσουν τις κατασκευές και να επιφέρουν μέχρι και την κατάρρευσή τους.

➤ **ΔΙΑΒΡΩΣΕΙΣ:** Κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, συνήθως καταναλώνονται τα προστατευτικά επιχρίσματα των υλικών όπως το χρώμα. Στη συνέχεια σχηματίζεται επιφανειακή διάβρωση στις εκτεθειμένες χαλύβδινες επιφάνειες. Η σκουριά προκύπτει από την οξείδωση του χάλυβα, η οποία είναι μια χημική αντίδραση και εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες από πυρκαγιά μπορεί να προκαλέσει θερμικά ενισχυμένες οξειδώσεις του χάλυβα. Επιπλέον, τα αέρια που δημιουργούνται από τη φωτιά συχνά περιέχουν χλωρίδια και άλλα δυνητικά διαβρωτικά χημικά από λιωμένα πλαστικά και άλλα υλικά. Σε περίπτωση που αναμένεται χλωριούχα ή οποιαδήποτε άλλη πυρκαγιά που προκαλεί επιθετική διάβρωση, κάθε διαβρωμένος χάλυβας θα πρέπει να εξετάζεται οπτικά για να προσδιοριστεί εάν η διατομή έχει επηρεαστεί

δυσμενώς. Επιπρόσθετα μπορούν να διεξαχθούν και επιφανειακοί έλεγχοι για τα επίπεδα χλωριδίων που τυχόν έχουν σχηματιστεί.

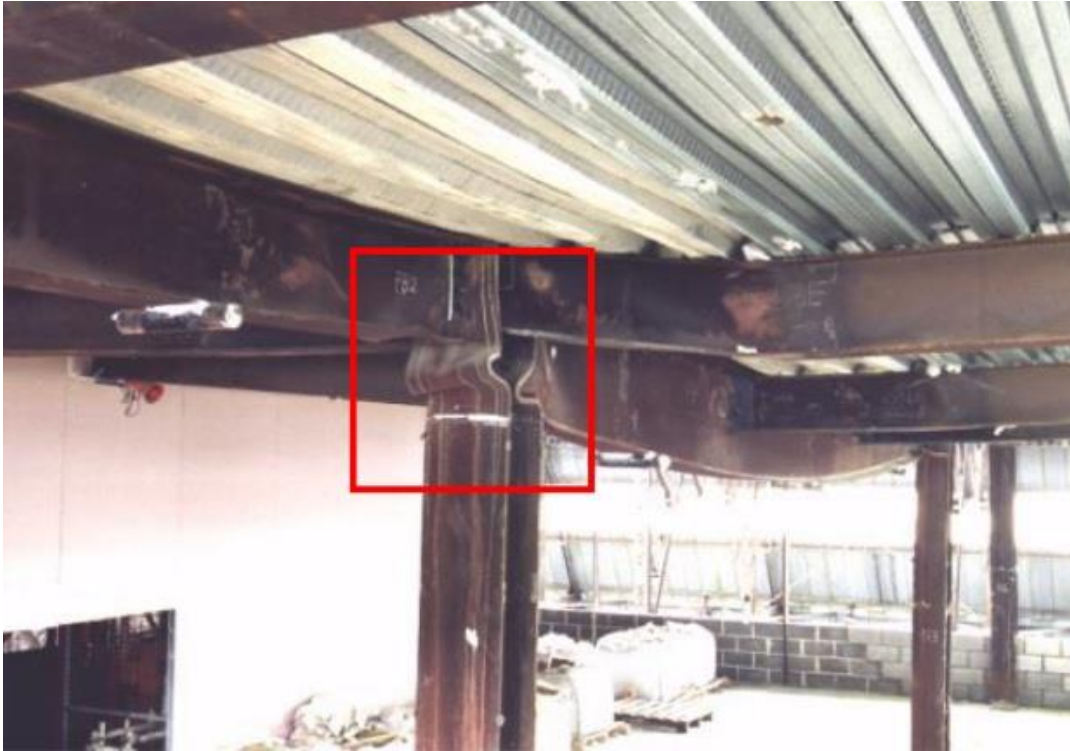


Εικόνα 20: Οξείδωση Μεταλλικού Στοιχείου

➤ **ΔΙΑΣΤΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ:** Καθώς αυξάνονται θερμοκρασίες, οι χάλυβες διαστέλλονται λόγω θερμικών διαστολών. Εάν δεν υπάρχουν άλλοι παράγοντες, αυτές οι αλλαγές είναι προσωρινές. Εάν ο χάλυβας συγκρατηθεί κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, τότε μπορεί να προκληθούν εσωτερικές τάσεις στα μεταλλικά εξαρτήματα που μπορούν να δημιουργήσουν τσακίσματα, θραύσεις κοχλιών σύνδεσης καθώς και άλλες μόνιμες παραμορφώσεις.



Εικόνα 21: Λυγισμός Διαγώνιων Ράβδων Χιαστί Συνδέσμων Δυσκαμψίας



Εικόνα 22: Τοπικός Λυγισμός των Κεφαλών Υποστυλωμάτων



Εικόνα 23: Τοπικός Λυγισμός Ελεύθερων Κάτω Πελμάτων Δοκών



Εικόνα 24: Θράυση Κοχλιών Σύνδεσης

➤ **ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ:** Καθώς η θερμοκρασία του χάλυβα αυξάνεται πάνω από τις συνήθεις θερμοκρασίες δωματίου, η αντοχή του χάλυβα μειώνεται. Πιο συγκεκριμένα:

- Στους 204° C (400° F) διατηρεί περίπου το 90% του ορίου διαρροής του.
- Στους 427° C (800° F), διατηρεί περίπου το 60% του ορίου διαρροής του.
- Στους 566° C (1050° F), διατηρεί μόνο περίπου το 50% του ορίου διαρροής του.

Αυτές οι απώλειες αντοχής λόγω αυξημένων θερμοκρασιών είναι συχνά προσωρινές.

➤ **ΑΛΛΑΓΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΔΟΜΩΝ:** Εάν ο χάλυβας θερμανθεί σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, μεταξύ 704° C (1300° F) και 843° C (1550° F) συνήθως για τα περισσότερα είδη δομικού χάλυβα και εν συνεχεία ψυχθεί γρήγορα με το νερό καταστολής κατά τη διάρκεια της πυρόσβεσης, μέρος της μικροδομής του χάλυβα θα μετατραπεί σε μαρτενσίτη . Ο μαρτενσίτης είναι μια σκληρή, αλλά εύθραυστη φάση χάλυβα. Εάν η θερμοκρασία έκθεσης του χάλυβα είναι μικρότερη

από τη θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται αυτός ο μετασχηματισμός, τότε οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα ουσιαστικά επιστρέφουν στις τιμές που είχαν πριν από την πυρκαγιά μετά την ψύξη, ανάλογα με το χρόνο έκθεσης και το ρυθμό ψύξης. Η έλλειψη παραμορφώσεων του μεταλλικού σκελετού ενός κτηρίου είναι μια οπτική ένδειξη ότι κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς ο χάλυβας δεν θερμάνθηκε σε θερμοκρασία επαρκή για να οδηγήσει στο σχηματισμό μαρτενσίτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα πιθανώς δεν μεταβλήθηκαν από τη φωτιά.

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Οι αξιολογήσεις των βλαβών διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Ποιοτικές αξιολογήσεις – Κρίση
- Ποσοτικές αξιολογήσεις – Αναλύσεις

Οι ποιοτικές αξιολογήσεις πρέπει να ξεκινούν από τις υπάρχουσες καταστάσεις πριν τα φαινόμενα των πυρκαγιών. Περιλαμβάνουν τους προσδιορισμούς των φύσεων των κατασκευών, τις προδιαγραφές των σχεδιασμών, σχέδια και κατασκευαστικές λεπτομέρειες των οικοδομημάτων καθώς και λοιπά δεδομένα των κτηρίων πριν την πυρκαγιά. Επιπρόσθετα μεγάλος όγκος στοιχείων μπορεί να σταχυολογηθεί μέσα από τις αναφορές των αντίστοιχων σχετικών εκθέσεων των συμβάντων των πυρκαγιών. Οι τρόποι εκδήλωσης, αύξησης, διάρκειας και οι μηχανισμοί που συνέβαλαν στην διάδοση των πυρκαγιών αποτελούν σημαντικά στοιχεία. Συνάμα καταθέσεις αυτοπτών μαρτύρων καθώς και των πυροσβεστών αποτελούν σημαντικές πηγές δεδομένων για την εκάστοτε πυρκαγιά (Concrete Society Fire Resistance Committee, 1984).

Εκτός από τις υψηλές θερμοκρασίες, οι χημικές δράσεις από τις εκλύσεις επικίνδυνων αερίων όπως για παράδειγμα HCl από πυρκαγιές πολυβινυλίου-χλωριδίου, μπορεί να προκαλέσουν μειώσεις στις ανθεκτικότητες των δομικών στοιχείων. Οι έλεγχοι και οι αξιολογήσεις μετά την πυρκαγιά για τον εντοπισμό των βλαβών γίνονται κυρίως για τους παρακάτω λόγους.

Εάν οι υφιστάμενες παραμορφώσεις είναι σε ανεκτά επίπεδα χωρίς να χρειάζεται να εφαρμοστούν ειδικά μέτρα.

Εάν οι υφιστάμενες παραμορφώσεις επηρεάζουν τις κατασκευές σημειακά ή γενικότερα δημιουργώντας προβλήματα στατικότητας και κατά επέκταση επιβιωσιμότητας.

Εάν οι παραμένουσες ρωγμές χρειάζονται επιδιορθώσεις ή όχι. Για παράδειγμα οι φέρουσες ικανότητες προεντεταμένων στοιχείων σκυροδέματος μειώνονται ως αποτέλεσμα των μειώσεων των ολισθήσεων ή των αγκυρώσεων σε περιπτώσεις αγκυρωμένων τενόντων ή ως αποτέλεσμα υποβάθμισης των συναφειών σε περιπτώσεις μη αγκυρωμένων τενόντων.

Έστω και αν τα δομικά στοιχεία έχουν υποστεί ελαφρές παραμορφώσεις, υψηλότερα έκκεντρα φορτία θα επιφέρουν θλιπτικές τάσεις, προκαλώντας ροπές και μεγαλύτερες επιδράσεις δεύτερης τάξεως. Πιο συγκεκριμένα τα άκαμπτα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής μειώνουν τις πιθανότητες παραμορφώσεων των βασικών δομικών στοιχείων. Επίσης αυτές οι ελαφρές παραμορφώσεις προκαλούν αναδιανομή των δυνάμεων που εφαρμόζονται δημιουργώντας επιπρόσθετες τάσεις που χαρακτηρίζονται ως επιδράσεις δεύτερης τάξεως, οι οποίες δεν έχουν υπολογιστεί στη στατική μελέτη.

Οι παραμορφώσεις που έχουν παραμείνει στην κατασκευή μετά την πυρκαγιά γεννούν νέες επιπρόσθετες δυνάμεις στα δομικά στοιχεία, προκαλώντας μεγαλύτερες και επικίνδυνες τάσεις στα σημεία στήριξης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να εμφανιστούν καμπτικές ροπές σε εγκάρσιες κατευθύνσεις, δυνάμεις στρέψης καθώς και επιδράσεις δεύτερης τάξεως. Πιο συγκεκριμένα αρθρώσεις, προεντεταμένες βίδες, κοχλίες υψηλών αντοχών κ.α. έχουν μια ιδιαίτερη ευαισθησία στις νέες δυνάμεις που προκαλούνται από τις μόνιμες

παραμορφώσεις. Ιδιαίτερα τα σημεία συνδέσεων που σύμφωνα με τη στατική μελέτη βρίσκονται σε περιοχές χαμηλής τάσης, είναι πολύ πιθανό να υποστούν πολύ υψηλές τάσεις εξαιτίας της αναδιανομής των ροπών.

4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Βάση των χρωματικών αλλαγών που συμβαίνουν στα δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος λόγω των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών, έχει καθιερωθεί ένας συντελεστής βλάβης πυρκαγιάς Df . Αναλόγως των θερμοκρασιακών κατανομών και αναπτύξεων σε κάθε δομικό στοιχείο ο συντελεστής παίρνει διαφορετικές τιμές.

Πιο συγκεκριμένα οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής είναι:

- $Df = 1.0$, όταν οι αναπτυχθέντες θερμοκρασίες στα δομικά στοιχεία δεν έχουν υπερβεί τους $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- $Df = 0.85$, όταν οι αναπτυχθέντες θερμοκρασίες στα δομικά στοιχεία κυμαίνονται ανάμεσα στους $100\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- $Df = 0.40$, όταν οι αναπτυχθέντες θερμοκρασίες στα δομικά στοιχεία κυμαίνονται ανάμεσα στους $300\text{ }^{\circ}\text{C} - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- $Df = 0$, όταν οι αναπτυχθέντες θερμοκρασίες στα δομικά στοιχεία έχουν υπερβεί τους $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Επιπρόσθετα έχει προστεθεί και καθιερωθεί ένας ακόμα συντελεστής βλάβης Db , ο οποίος αφορά τις υποβαθμίσεις συναφειών και αγκυρώσεων των οπλισμών. Οι συνάφειες δεν επηρεάζονται μόνο από τις θερμοκρασίες αλλά και από τους τύπους και τις διαμέτρους των ράβδων, τους τύπους των αδρανών, τις διαστάσεις των διατομών, τις θλιπτικές αντοχές των σκυροδεμάτων καθώς και των οπλισμών περισφίξεως.

Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής είναι:

- $Db = 0.7$, για αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες στους οπλισμούς ανάμεσα στους $100\text{ }^{\circ}\text{C} - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- $Db = 0.8$, για αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες στους οπλισμούς μικρότερες των $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ καθώς και για μικρών διαμέτρων ράβδους ($\leq \Phi 12$), για σκυροδέματα μικρών θλιπτικών αντοχών ($25\text{-}30\text{N/mm}^2$), για σκυροδέματα ασβεστολιθικών ή ελαφριών αδρανών και για χαλύβδινους σκελετούς με οπλισμούς περίσφιξης.

Στις κατασκευές που έχουν εκτεθεί σε πυρκαγιές υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες να παρουσιαστούν διάφορα είδη ρηγματώσεων. Οι μετακινήσεις που προκαλούνται από τις υψηλές θερμοκρασίες στις κατασκευές, συνήθως προκαλούν ρωγμές, οι οποίες μπορεί να είναι ιδιαίτερα σοβαρές διότι πολύ συχνά περνούν στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων και ιδιαίτερα εκεί που αλλάζουν οι διατομές. Επίσης είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο η εμφάνιση ρωγμών κατά μήκος των ράβδων των διαμήκων οπλισμών. Οι διαφορετικοί θερμικοί συντελεστές των αδρανών, των τσιμεντοκονιαμάτων και των οπλισμών προκαλούν εσωτερικές τάσεις, οδηγώντας στη δημιουργία εσωτερικών ρωγμών. Επιπρόσθετα οι φέρουσες ικανότητες των δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος υποβιβάζονται διότι οι αντοχές του σκυροδέματος, του χάλυβα και της συνάφειας αυτών των υλικών μειώνονται από τις επιδράσεις των υψηλών θερμοκρασιών.

4.2 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Οι πυρκαγιές μπορούν να επιφέρουν δομικές αστοχίες και καταστροφές με ποικίλους τρόπους όπως θερμικές διαστολές των μελών, καψίματα των εύφλεκτων δομικών στοιχείων καθώς και υποβαθμίσεις των άφλεκτων δομικών στοιχείων. Προβλήματα μπορούν να προκληθούν από τους καπνούς της πυρκαγιάς καθώς και από τις τεράστιες ποσότητες ύδατος που εφαρμόζονται ώστε να ελεγχθούν και να κατασβεστούν οι πυρκαγιές, οι οποίες υπερφορτώνουν τα πατώματα των κατασκευών οδηγώντας στην κατάρρευσή τους.

Οι άνοδοι των θερμοκρασιών που προκαλούνται από τις πυρκαγιές δημιουργούν θερμικές διαστολές σε όλα τα δομικά στοιχεία, οι οποίες με την σειρά τους προκαλούν αυξήσεις των τάσεων μιας και τα στοιχεία είναι περιορισμένα, οδηγώντας σε ενδεχόμενες καταρρεύσεις των κατασκευών. Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής θερμικής διαστολής στη διαμήκη κατεύθυνση του χυτοσιδήρου για θερμοκρασίες από $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ορίζεται από τον τύπο: $1.2 \cdot 10^{-5} k^{-1}$. Έτσι εάν ένα

μεταλλικό στοιχείο μήκους 10.00m εκτεθεί σε θερμοκρασίες των 400 °C, τότε το μήκος του θα μεγαλώσει 50mm. Επομένως γίνονται αντιληπτά τα μεγέθη των τάσεων που μπορεί να αναπτυχθούν, οι οποίες μπορεί να επιφέρουν την ολική καταστροφή των δομικών στοιχείων και κατά συνέπεια την κατάρρευση της κατασκευής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. A. H. Buchanan, “Structural Design for Fire Safety”, Wiley, Chichester, England, New York, 2001.
2. Aloïs Brûls, Paul Vandevelde, 2000. Sécurité contre l'incendie dans les bâtiments, partie 1 prévention passive, ISIB.
3. Azhari F, Heidarpour A, Zhao XL, Hutchinson CR, 2015. Mechanical properties of ultra-high strength (grade 1200) steel tubes under cooling phase of a fire: an experimental investigation. *Constr Build Mater* 93:841–850.
4. B. R. Kirby and R. R. Preston, “High Temperature Properties of Hot-rolled Structural Steels for Use in Fire Engineering Design Studies”, *Fire Safety Journal*, vol. 13, pp. 27-37, 1988.
5. Bamonte P., Fernández Ruiz M., Muttoni A., 2012. Punching shear strength of R/C slabs subjected to fire, 7th International Conference on Structures in Fire, Zurich, Switzerland, June 6-8, 2012, 10 p.
6. British Standards Institution CP3. Loading: Dead and Imposed Loads. Chapter V, Part 1, London, 1967, 20 pp.
7. Brûls A., Vandevelde P., 2000. Sécurité contre l'incendie dans les bâtiments, partie 1 prévention passive, May 2000, ISIB.
8. Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P., 2016. World fire statistics, CTIF, International Association of Fire and Rescue Services. No. 21.
9. Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P., 2017. World fire statistics, CTIF, International Association of Fire and Rescue Services. No. 22.
10. Bulletin, 2014. World fire statistics, The Geneva Association.
11. C. Stirland, British Steel Corporation Teesside Laboratories, letter dated June 28, 1982, and unpublished document entitled ‘Supporting technical data to the BSC proposed revision of Chapter 2 of the European recommendations for the design of steel structures exposed to the standard fire’ dated September, 1980, private communication.

12. Conception des bâtiments d'activités en béton, - Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique en béton, réf. B67, CIMBETON, March 2006.
13. Concrete Society Fire Resistance Committee. Assessment and Repair of Fire Damaged Concrete Structures. Draft Publication, Revision Techn. Rep. No. 15, Oct., 1984.
14. Construction et incendie : les solutions « Les constructions privées et industrielles, les infrastructures », AILG conference, 19 November 2004, Evolution de la réglementation belge en matière de sécurité incendie, M. Y. Picard (Federal Public Services Home Affairs).
15. FIB/BEC Report on Methods of Assessment of the Fire Resistance of Concrete
16. G.B. Lou, C.H. Wang, J. Jiang, et al., 2018. Fire tests on full-scale steel portal frames against progressive collapse, *J. Constr. Steel Res.* 145 (2018), pp. 137–152.
17. GDP (Gross Domestic Product), 2018. World bank national accounts data and OECD national accounts data files, available at: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (accessed 15 May 2020).
18. Kodur V., Mcgrath R., 2003. Fire endurance of high strength concrete columns, *Fire technology*, Vol. 39, No. 1, 2003, pp. 73-87.
19. L.L. Zhang, P.J. Wang, 2018. Simplified analysis method for catenary action of restrained cellular steel beams at elevated temperature considering strain reversal, *Fire Saf. J.* 95 (1) (2018), pp. 145–159.
20. Law, M., Fire-resistance requirements for buildings: a new approach. H. M. Stationary Office, Symp. No. 5, London, 1971, 15-29 pp.
21. Muttoni A. (Ed.), Fernández Ruiz M., Fürst A., Guandalini S., Hunkeler F., Moser K., Seiler H., 2008. Sécurité structurale des parkings couverts, Documentation D 0226 SIA, Société Suisse des ingénieurs et des architectes, Zürich, Switzerland, 2008, 105 p.

22. O. Petterson, S. E. Magnusson and J. Thor, “Fire Engineering Design of Steel Structures”, Publication No 50, Swedish Institute of Steel Construction, 1976.
23. Réaction au feu des produits de construction : le nouveau système européen, CSTB Magazine 145, January-February 2003.
24. S.G. Fan, L.L. Jia, X. Lyu, et al., 2017. Experimental investigation of austenitic stainless-steel material at elevated temperatures, *Constr. Build. Mater.* 155 (2018), pp. 267–285.
25. Schneider, U., *Behaviour of Concrete at High Temperatures*. D AfStb Heft 337,
26. Sécurité contre l'incendie dans les bâtiments, partie 1 prévention passive, Dr. Ir. Aloïs Brüls and Prof. Dr. Ir. Paul Vandevelde, May 2000, ISIB. *Structural Members*. Wexham Springs, Slough, 1975.
27. Vecchio F. J., Collins M.P., 1988. Predicting the response of reinforced concrete beams subjected to shear using modified compression field theory, *ACI Structural Journal*, Vol. 85, No. 3, 1988, pp. 258-268. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1982.
28. X. H. Qiang, N.D. Wu, X. Jiang, Y.F. Luo, 2018. Experimental and theoretical study on high strength steel extended endplate connections after fire, *Int. J. Steel Struct.* 18 (2018), pp. 609–634.
29. Y. Li, W.G. Li, X.H. Zhang, et al., 2019. Modeling of temperature dependent yield strength for stainless steel considering nonlinear behaviour and the effect of phase transition, *Constr. Build. Mater.* 159 (2018), pp. 147–154.
30. Z. Bažant, Y. Xiang, P. Prat, 1996. Microplane model for concrete: I. Stress-strain boundaries and finite strain. *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 122 (3) (1996), pp. 245-262.
31. Z. P. Bažant and M. F. Kaplan, “Concrete at High Temperatures: Material Properties and Mathematical Models”, Longman (Addison-Wesley), London, 1996.