

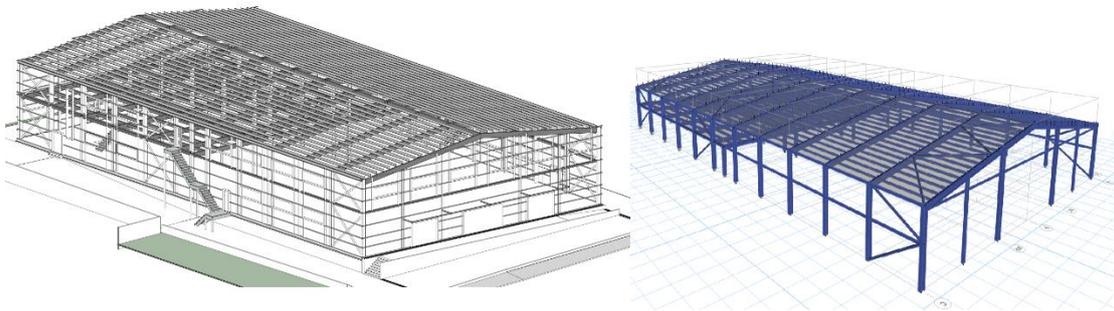


Μεταλλικά Κτήρια Τύπου Portal Frame

1. Εισαγωγή

Τα μεταλλικά κτήρια τύπου *portal frame* αποτελούν μία από τις πλέον διαδεδομένες μορφές μεταλλικών φορέων για κτήρια με ανάγκες μεγάλων ανοιγμάτων. Πρόκειται για μεταλλικά πλαίσια παραλαβής ροπής, με άκαμπτους κόμβους στη σύνδεση υποστυλώματος-δοκού καθώς και στην κορυφή. Η μορφή αυτή επιτρέπει την κατασκευή μεγάλων ανοιγμάτων της τάξης των 20–40 m χωρίς ενδιάμεσες κολώνες, ενώ με κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να επιτευχθούν και ακόμη μεγαλύτερα ανοίγματα.

Λόγω των πλεονεκτημάτων τους, τα *portal frames* εφαρμόζονται ευρέως σε βιομηχανικά κτήρια, βιοτεχνικά, αποθήκες και κέντρα *logistics*, συνεργεία, εργαστήρια και παραγωγικές μονάδες, καθώς και σε κτήρια με γερανογέφυρες. Η απλότητα του σχεδιασμού, της μορφολογίας, η δυνατότητα προκατασκευής των μελών, η οικονομία κατασκευής και η ευελιξία στη μελλοντική επέκταση καθιστούν τα *portal frames* ιδιαίτερα ελκυστική λύση για σύγχρονες κατασκευές.



Εικόνα 1: Portal frame model design (Αριστερά-Revit model, Δεξιά-ETABS model)

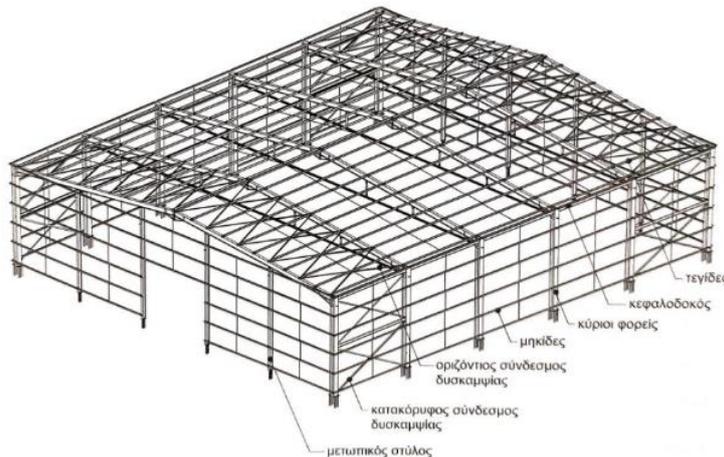
2. Βασικές αρχές σχεδιασμού portal frame

2.1 Τυπική γεωμετρία και μορφολογία

Η τυπική γεωμετρία ενός *portal frame* περιλαμβάνει συνήθως επαναλαμβανόμενα επίπεδα πλαίσια ανά 5–8 m κατά μήκος του κτηρίου. Η στέγη μπορεί να είναι μονόριχτη ή δίριχτη, με συνήθη κλίση της τάξης του 5–10°, η οποία εξασφαλίζει επαρκή απορροή όμβριων υδάτων και οικονομία υλικού.



Η μορφολογία του φορέα επηρεάζει άμεσα την οριζόντια δυσκαμψία και τις μετακινήσεις. Οι άκαμπτοι κόμβοι οδηγούν στην ανάπτυξη σημαντικών ροπών, ιδίως στη βάση των υποστυλωμάτων και στις συνδέσεις δοκού-υποστυλώματος, γεγονός που καθιστά συχνά απαραίτητη τη χρήση ενισχύσεων τύπου *haunches*.



Εικόνα 2: Στοιχεία τυπικού μονώροφου μεταλλικού κτηρίου

2.2 Οριζόντια δυσκαμψία και στατική λειτουργία

Ο φέρων οργανισμός των μεταλλικών κτηρίων τύπου portal frame λειτουργεί ως καμπτικό πλαίσιο παραλαβής ροπής, στο οποίο οι καμπτικές ροπές και οι τέμνουσες δυνάμεις αναπτύσσονται κυρίως στα υποστυλώματα και στις τεγίδες, ενώ οι αξονικές δυνάμεις είναι κατά κανόνα δευτερεύουσες. Η στατική λειτουργία του φορέα και η πλευρική του δυσκαμψία προκύπτουν από τη γεωμετρική διαμόρφωση των πλαισίων, τη δυσκαμψία των κύριων φερόντων στοιχείων και τη συμμετοχή των δευτερευόντων στοιχείων στη συνολική συμπεριφορά.

Ο φέρων οργανισμός ενός τυπικού μεταλλικού κτηρίου αποτελείται από κύρια και δευτερεύοντα μέλη, τα οποία συνεργάζονται για την ανάληψη και τη μεταφορά των κατακόρυφων και οριζόντιων δράσεων προς τη θεμελίωση. Οι κύριοι φορείς είναι τα μεταλλικά πλαίσια τύπου portal frame, διατεταγμένα συνήθως σε ίσες αποστάσεις κατά μήκος του κτηρίου, τα οποία παραλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία (ίδιο βάρος, χιόνι, κινητά φορτία, φορτία εξοπλισμού) καθώς και τις οριζόντιες δράσεις από άνεμο ή σεισμό.

Η διαμόρφωση των κύριων μελών με μεταβαλλόμενη διατομή επιτρέπει την ορθολογική αξιοποίηση του χάλυβα, χωρίς υποβάθμιση της φέρουσας ικανότητας, υπό την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του EN 1993-1-1 ως προς την αντοχή, την κατηγορία διατομών και τους ελέγχους τοπικού και ολικού λυγισμού. Τη συνολική δυσκαμψία του φορέα καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό οι άκαμπτοι κόμβοι σύνδεσης υποστυλώματος με τη δοκό στέγης, μέσω των οποίων εξασφαλίζεται η μεταφορά καμπτικών ροπών και η καμπτική



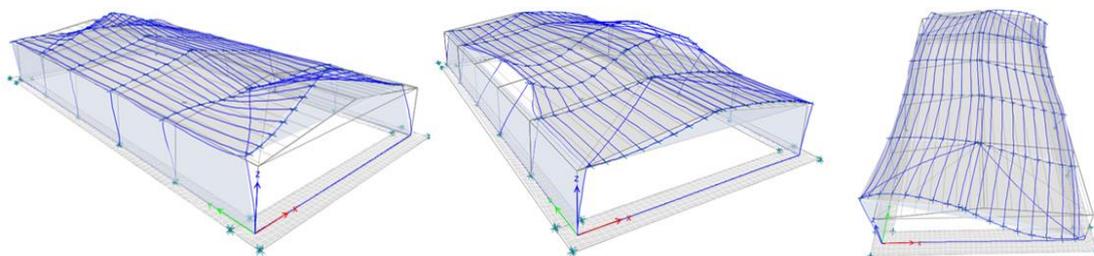
λειτουργία του πλαισίου. Οι κόμβοι αυτοί πρέπει να σχεδιάζονται με επαρκή αντοχή, δυσκαμψία και πλαστιμότητα, ώστε να αποφεύγονται ψαθυροί μηχανισμοί αστοχίας.

Τα φορτία της στέγης μεταφέρονται στους κύριους φορείς μέσω των τεγίδων, οι οποίες γεφυρώνουν τα ανοίγματα μεταξύ των πλαισίων και καταπονούνται κυρίως σε κάμψη. Οι τεγίδες μπορούν να διαμορφώνονται ως αμφιέριστα στοιχεία ή ως συνεχείς δοκοί. Αντίστοιχα, οι όψεις του κτηρίου διαμορφώνονται με μηκίδες, οι οποίες στηρίζουν τα στοιχεία πλευρικής επένδυσης και μεταφέρουν τις ανεμοπιέσεις και αναρροφήσεις στα κύρια φέροντα στοιχεία.

Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας τοποθετούνται συνήθως στο επίπεδο της στέγης και μεταφέρουν τις οριζόντιες δράσεις προς τα κατακόρυφα συστήματα αντιστήριξης, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν τα φορτία στη θεμελίωση. Κατά μήκος του κτηρίου, οι κεφαλοδοκοί συνδέουν τα υποστυλώματα και συμβάλλουν στη συνεργασία τους υπό οριζόντια φόρτιση, βελτιώνοντας τη συνολική δυσκαμψία και κατανομή των εντάσεων. Στα μετωπικά φαντώματα τοποθετούνται μετωπικά υποστυλώματα, τα οποία παραλαμβάνουν κυρίως ανεμογενείς δράσεις.

Ο σχεδιασμός των κύριων μελών πραγματοποιείται με έλεγχο των οριακών καταστάσεων αστοχίας (ULS), που περιλαμβάνουν την αντοχή των διατομών, την αλληλεπίδραση ροπής-αξονικής δύναμης ($M-N$ interaction), τον λυγισμό των υποστυλωμάτων και τον στρεπτοκαμπτικό λυγισμό (LTB) των δοκών στέγης. Παράλληλα, ελέγχονται οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (SLS), με έμφαση στον περιορισμό των κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων (sway), σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών.

Τέλος, η πλευρική δυσκαμψία του συστήματος δεν προκύπτει αποκλειστικά από τα κύρια πλαίσια, αλλά ενισχύεται από τα δευτερεύοντα στοιχεία και την επένδυση. Η συνεργασία των τεγίδων, των μηκίδων και των στοιχείων επικάλυψης με τον φέροντα οργανισμό, μέσω της δράσης του *stressed skin*, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στον περιορισμό των οριζόντιων μετακινήσεων, υπό την προϋπόθεση ότι λαμβάνεται ρητά υπόψη στον σχεδιασμό και στη λεπτομέρεια των συνδέσεων.



Εικόνα 3: Μεταφορικές και στρεπτικές ιδιομορφές portal frame – ETABS



2.3 Τυπικές συνδέσεις σε μεταλλικά portal frames

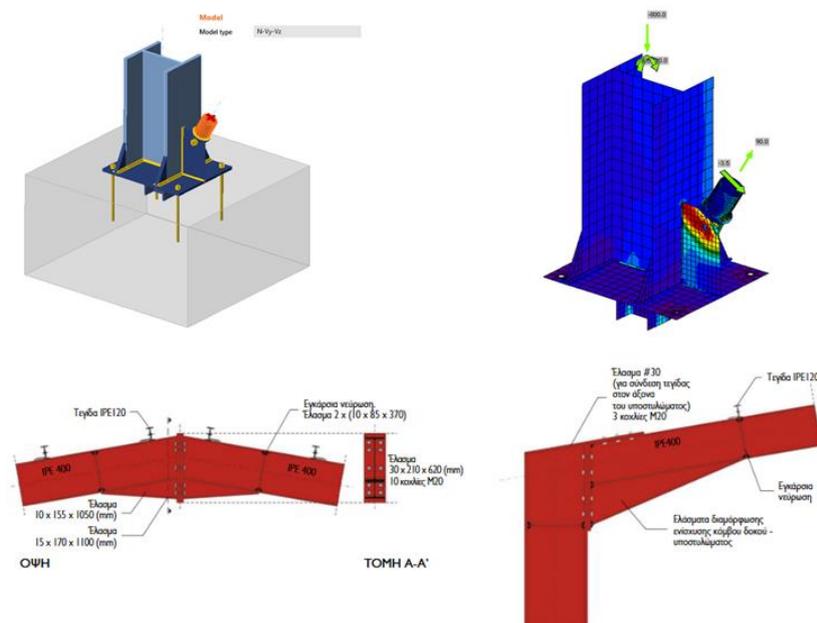
Οι συνδέσεις αποτελούν κρίσιμο στοιχείο της στατικής λειτουργίας των portal frames, καθώς καθορίζουν τον τρόπο μεταφοράς των εσωτερικών δυνάμεων.

Οι αρθρωτές συνδέσεις (*pin connections*) χρησιμοποιούνται κυρίως σε δευτερεύοντα στοιχεία και σε ορισμένες βάσεις υποστυλωμάτων. Μεταφέρουν κυρίως τέμνουσες δυνάμεις, επιτρέποντας την ελεύθερη περιστροφή, και συμβάλλουν στη μείωση των καμπτικών ροπών στα συνδεόμενα μέλη.

Οι συνδέσεις ροπής (*moment connections*) αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό των portal frames και απαντώνται κυρίως στους κόμβους δοκού-υποστυλώματος και στην κορυφή του πλαισίου. Οι συνδέσεις αυτές μεταφέρουν σημαντικές καμπτικές ροπές και απαιτούν τη χρήση end plates και ισχυρών συγκολλήσεων ή κοχλιώσεων, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής αντοχή και δυσκαμψία.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, και ιδίως σε κτήρια με μικρότερα ανοίγματα ή όπου η πλευρική δυσκαμψία εξασφαλίζεται από ανεξάρτητα συστήματα αντιστήριξης, εφαρμόζονται συνδέσεις ημιάκαμπτης συμπεριφοράς (*semi-rigid connections*). Οι συνδέσεις αυτές διαθέτουν πεπερασμένη δυσκαμψία και αντοχή σε ροπή, η οποία λαμβάνεται ρητά υπόψη στη στατική ανάλυση, επηρεάζοντας τόσο την κατανομή των ροπών όσο και τις οριζόντιες μετακινήσεις του φορέα.

Σε συστήματα πλευρικής δυσκαμψίας με διαγώνιους συνδέσμους (*bracings*), χρησιμοποιούνται συνδέσεις με *gusset plates*, οι οποίες επιτρέπουν την αξιόπιστη ένωση των διαγωνίων με τα κύρια μέλη. Οι συνδέσεις αυτές πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να παραλαμβάνουν αξονικές δυνάμεις εφελκυσμού και θλίψης και, σε σεισμικές περιοχές, να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις υπεραντοχής και πλαστιμότητας των κανονισμών.



Εικόνα 4: Λεπτομέρειες σύνδεσης μεταλλικών μελών



3. Συμπεριφορά μεταλλικών κατασκευών έναντι ανέμου

Ο άνεμος αποτελεί συχνά τη δυσμενέστερη δράση για τα μεταλλικά κτήρια τύπου portal frame και σε πολλές περιπτώσεις, κυριαρχεί στη διαστασιολόγηση των μελών. Λόγω του μικρού ίδιου βάρους των μεταλλικών κατασκευών, οι ανεμογενείς δράσεις οδηγούν σε αυξημένες οριζόντιες μετακινήσεις, γεγονός που επηρεάζει τόσο τη συνολική ευστάθεια όσο και τη λειτουργικότητα του κτηρίου.

Οι αυξημένες πλευρικές μετατοπίσεις υπό ανεμοφόρτιση συνεπάγονται την ανάπτυξη σημαντικών ροπών ανατροπής στη βάση των υποστυλωμάτων, αυξημένες απαιτήσεις σε συστήματα αντιστήριξης και αυξημένες απαιτήσεις στις αγκυρώσεις της θεμελίωσης. Για τον λόγο αυτό, ο έλεγχος των οριζόντιων μετακινήσεων (sway) αποτελεί βασικό κριτήριο σχεδιασμού, όχι μόνο για λόγους αντοχής και ευστάθειας, αλλά και για την προστασία των μη φερόντων στοιχείων και των επενδύσεων.

Πέραν των θετικών πιέσεων, ο άνεμος προκαλεί και αρνητικές πιέσεις (αναρρόφηση), κυρίως στη στέγη και στα κατακόρυφα τοιχεία. Τα φαινόμενα αναρρόφησης μπορεί να οδηγήσουν σε ανύψωση της στέγης, αποκόλληση στοιχείων επένδυσης και αυξημένες καμπτικές καταπονήσεις στα δευτερεύοντα στοιχεία, όπως οι τεγίδες και οι μηκίδες. Η επίδραση αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε ελαφριές στέγες με μεταλλικά πάνελ ή λαμαρίνες, όπου ο σχεδιασμός των συνδέσεων και των αγκυρώσεων καθίσταται καθοριστικός για την ασφάλεια του συστήματος.

Οι μεταβαλλόμενες ανεμοπιέσεις μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε τοπικό λυγισμό λεπτότοιχων στοιχείων, όπως τεγίδες, μηκίδες και στοιχεία επικάλυψης, ιδιαίτερα όταν δεν εξασφαλίζεται επαρκής πλευρική στήριξη. Η σωστή διάταξη και στήριξη των δευτερευόντων στοιχείων είναι επομένως κρίσιμη για τη διατήρηση της ευστάθειάς τους υπό ανεμοφόρτιση.

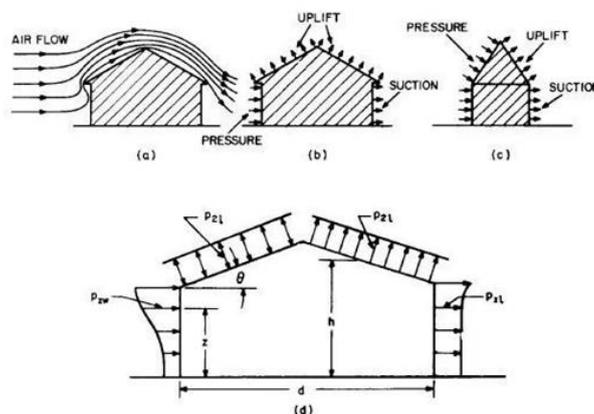


FIGURE 3.1 Effects of wind on a low building with pitched roof. (a) Airflow at the building. (b) Wind applies inward pressure against the windward wall, suction on the leeward wall, and uplift over all of a roof with slight slopes. (c) With a steep roof, inward pressure acts on the windward side of the roof and uplift only on the leeward side. (d) Pressure distribution along walls and roof assumed for design of wind bracing of a building.



Οι μεταλλικές κατασκευές χαρακτηρίζονται επίσης από σχετικά μικρή απόσβεση, γεγονός που τις καθιστά πιο ευαίσθητες σε δυναμικές επιδράσεις του ανέμου. Υπό ορισμένες συνθήκες, ιδιαίτερα σε κατασκευές μεγάλων ανοιγμάτων, με λεπτά φέροντα στοιχεία ή εκτεταμένες στέγες, είναι δυνατόν να αναπτυχθούν φαινόμενα δυναμικής ταλάντωσης. Οι επιδράσεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό, ώστε να αποφεύγονται προβλήματα κόπωσης, δυσλειτουργίας ή ενόχλησης των χρηστών.

Οι πλευρικές μετακινήσεις του φορέα λόγω ανεμοφόρτισης οδηγούν σε αυξημένες εντατικές καταστάσεις στις συνδέσεις, οι οποίες συχνά καθορίζουν τη διαστασιολόγηση και τη λεπτομέρειά τους, ιδίως στους κόμβους της στέγης και στις βάσεις των υποστυλωμάτων.



Εικόνα 6: Τοπικός λυγισμός λόγω ανεμοπίεσης

4. Συμπεριφορά μεταλλικών κατασκευών έναντι σεισμικών δράσεων

Οι μεταλλικές κατασκευές παρουσιάζουν γενικά ευνοϊκή συμπεριφορά έναντι σεισμικών δράσεων, κυρίως λόγω της υψηλής πλαστιμότητας και του μικρού ίδιου βάρους του χάλυβα. Η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων παραμορφώσεων πριν την αστοχία επιτρέπει την απορρόφηση και διάχυση της σεισμικής ενέργειας μέσω ελεγχόμενων μηχανισμών, περιορίζοντας τον κίνδυνο αιφνίδιων ψαθυρών καταρρεύσεων. Το μικρό ίδιο βάρος των μεταλλικών κατασκευών συνεπάγεται μειωμένες αδρανειακές δυνάμεις κατά τη σεισμική διέγερση και, κατ' επέκταση, χαμηλότερες σεισμικές απαιτήσεις σε σύγκριση με βαρύτερα δομικά συστήματα.

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, οι μεταλλικές κατασκευές παρουσιάζουν ευαίσθησιες υπό σεισμική φόρτιση. Η ευστάθεια των λεπτότοιχων στοιχείων αποτελεί βασικό ζήτημα, καθώς μπορεί να εκδηλωθεί τοπικός λυγισμός πέλματος ή κορμού και στρεπτοκαμπτικός λυγισμός δοκών, ιδιαίτερα όταν αναπτύσσονται μεγάλες οριζόντιες μετακινήσεις. Η εκδήλωση των μηχανισμών αυτών περιορίζει την πλαστιμότητα των μελών, όταν δεν πληρούνται οι απαιτήσεις πλευρικής στήριξης και κατηγοριοποίησης των διατομών.



Ιδιαίτερη σημασία έχει ο ρόλος των συνδέσεων, οι οποίες συγκεντρώνουν μεγάλες τέμνουσες και καμπτικές εντάσεις και αποτελούν συχνά το πιο ευάλωτο τμήμα του φορέα κατά τη σεισμική διέγερση. Η ανεπαρκής αντοχή ή δυσκαμψία των συνδέσεων μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη και ψαθυρή αστοχία, υποβαθμίζοντας τη συνολική σεισμική συμπεριφορά του φορέα.

Η σεισμική φιλοσοφία σχεδιασμού καθορίζεται από τον Ευρωκώδικα 8, ο οποίος επιβάλλει την εφαρμογή των αρχών του ικανοτικού σχεδιασμού. Ο φορέας πρέπει να διαθέτει προκαθορισμένες πλάστιμες ζώνες, όπως άκρα δοκών ή ειδικά σεισμικά στοιχεία, στις οποίες επιτρέπεται η ανάπτυξη πλαστικών παραμορφώσεων, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία οφείλουν να παραμένουν ουσιαστικά ελαστικά. Παράλληλα, απαιτείται ο έλεγχος των οριζόντιων μετακινήσεων και των φαινομένων δεύτερης τάξης (P-Δ), καθώς και η σαφής διαμόρφωση συστήματος παραλαβής πλευρικών φορτίων (LLRS).

Συνολικά, η σεισμική συμπεριφορά των μεταλλικών κατασκευών βασίζεται στη συνειδητή διαμόρφωση ενός ελεγχόμενου και προβλέψιμου μηχανισμού παραμόρφωσης, μέσω της ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων σε επιλεγμένα μέλη και της υπεραντοχής των υπολοίπων στοιχείων, ώστε η σεισμική ενέργεια να απορροφάται με ασφαλή και ελεγχόμενο τρόπο.

5. Μεταλλικές κατασκευές σε πυρκαγιά

Η αύξηση της θερμοκρασίας των μεταλλικών στοιχείων κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς προκαλεί ταχεία και έντονα μη-γραμμική υποβάθμιση της συμπεριφοράς του φέροντος οργανισμού. Η θερμική δράση επηρεάζει αρνητικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα, οδηγώντας σε σημαντική απομείωση της αντοχής, της δυσκαμψίας και του μέτρου ελαστικότητας, καθώς και στην ανάπτυξη μεγάλων παραμορφώσεων και απώλεια φέρουσας ικανότητας. Σε προχωρημένα στάδια, τα φαινόμενα αυτά μπορεί να οδηγήσουν στην εμφάνιση λυγισμού, στη δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων και τοπικών αστοχιών, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις είναι δυνατή η μερική ή και ολική κατάρρευση του φορέα, ιδίως σε λεπτότοιχα ή μη προστατευμένα μεταλλικά στοιχεία.

Η θερμική διαστολή των δομικών μελών, σε συνδυασμό με την απομείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα, οδηγεί στην ανάπτυξη έντονων εσωτερικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών. Οι δοκοί, οι τεγίδες και τα υποστυλώματα τείνουν να διαστέλλονται, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη θλιπτικών εντάσεων και μετακινήσεων, ενώ η ταυτόχρονη μείωση της δυσκαμψίας καθιστά τα μέλη ιδιαίτερα ευάλωτα σε λυγισμό, ακόμη και υπό σχετικά μικρές θερμικές παραμορφώσεις.

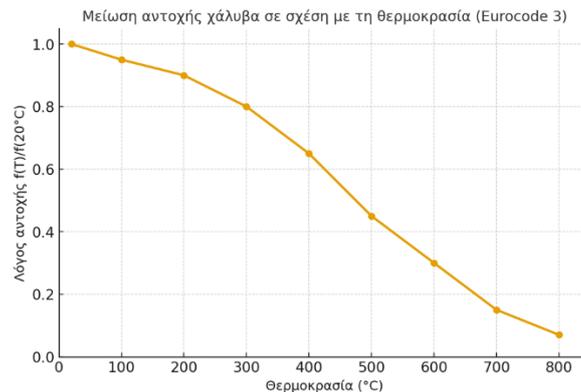
Οι συνδέσεις αποτελούν ένα από τα πιο ευάλωτα σημεία των μεταλλικών κατασκευών σε συνθήκες πυρκαγιάς. Η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει χαλάρωση κοχλιών ή παραμόρφωση των end plates. Ως αποτέλεσμα, ο φορέας χάνει σταδιακά τη δυσκαμψία του και ενεργοποιούνται ανεπιθύμητοι μηχανισμοί αστοχίας. Εάν η άνοδος της θερμοκρασίας συνεχιστεί



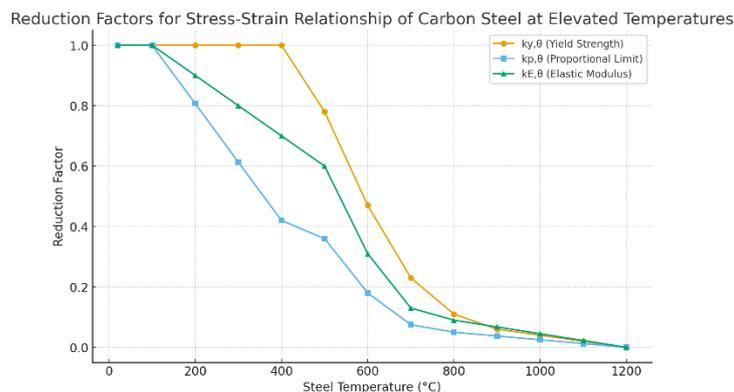
χωρίς περιορισμό, οι βλάβες στις συνδέσεις μπορεί να καταστούν μη αναστρέψιμες και να οδηγήσουν σε προοδευτική κατάρρευση.

Καθώς ορισμένα μέλη αποδυναμώνονται λόγω της πυρκαγιάς, τα φορτία ανακατανέμονται σε γειτονικά στοιχεία, τα οποία ενδέχεται να μην έχουν σχεδιαστεί για τις αυξημένες αυτές εντάσεις. Η ανακατανομή αυτή μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη υπερβολικών παραμορφώσεων και, τελικά, σε μερική ή ολική κατάρρευση του φορέα. Στις μεταλλικές κατασκευές, η κατάρρευση συχνά έχει προοδευτικό χαρακτήρα, ξεκινώντας τοπικά, για παράδειγμα από αστοχία δοκού, τεγίδας ή κεφαλής υποστυλώματος και εξελισσόμενη σε καθολική απώλεια ευστάθειας.

Η έκθεση του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες συνοδεύεται από χαρακτηριστική μείωση των μηχανικών του ιδιοτήτων. Έως περίπου τους 200°C οι μεταβολές είναι περιορισμένες, ενώ στους 300–400°C η αντοχή αρχίζει να μειώνεται αισθητά. Σε θερμοκρασίες της τάξης των 500–600°C η φέρουσα ικανότητα μπορεί να περιοριστεί περίπου στο 50% της αρχικής, ενώ σε επίπεδα άνω των 700–800°C ο χάλυβας έχει χάσει το μεγαλύτερο μέρος της φέρουσας ικανότητάς του και σε θερμοκρασίες άνω των 900°C θεωρείται πρακτικά μη φέρον υλικό. Τα θερμοκρασιακά αυτά επίπεδα εξηγούν τις έντονες παραμορφώσεις και τις εκτεταμένες αστοχίες που παρατηρούνται σε πυρκαγιές χωρίς επαρκή πυροπροστασία.



Εικόνα 7: Διάγραμμα λόγου αντοχής - θερμοκρασίας του χάλυβα (Ευροκώδικας 3)



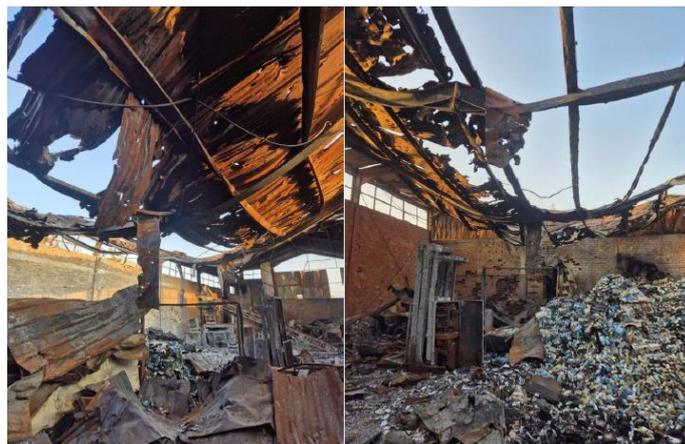
Εικόνα 8: Διάγραμμα μειωτικών συντελεστών του χάλυβα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία (Ευροκώδικας 3-Πίνακας 3.2)



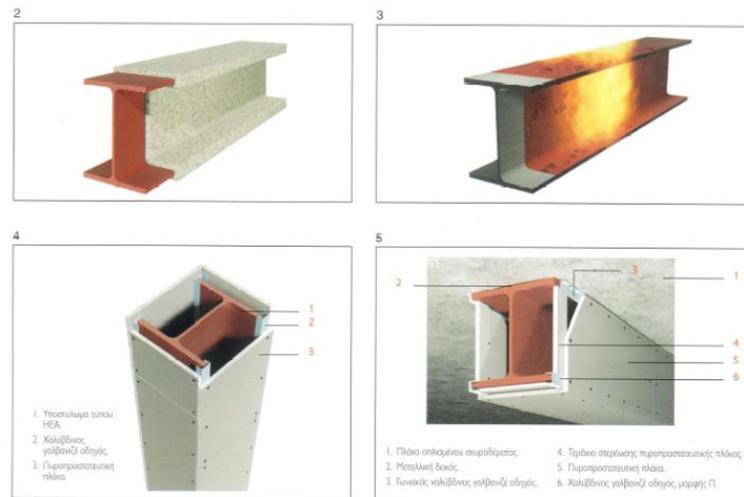
Για τους λόγους αυτούς, η εφαρμογή κατάλληλων μέτρων πυροπροστασίας είναι κρίσιμη τόσο για την ασφάλεια των χρηστών όσο και για τη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας των μεταλλικών κατασκευών. Ο σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς περιλαμβάνει τον καθορισμό της απαιτούμενης χρονικής διάρκειας πυραντίστασης, ανάλογα με τη χρήση και τη σπουδαιότητα του κτηρίου. Η παθητική πυροπροστασία, η οποία εφαρμόζεται πριν την εκδήλωση πυρκαγιάς, στοχεύει στην καθυστέρηση της ανόδου της θερμοκρασίας των δομικών μελών και περιλαμβάνει μέτρα όπως πυροπροστατευτικές επενδύσεις δοκών και υποστυλωμάτων, βαφές, θερμομονωτικά υλικά υψηλής πυραντοχής και τη διαμόρφωση πυροδιαμερισμάτων. Παράλληλα, τα ενεργητικά μέτρα πυροπροστασίας ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς και περιλαμβάνουν συστήματα ανίχνευσης και ειδοποίησης, καταιονητήρες, πυροσβεστήρες, πυροσβεστικά δίκτυα και οργανωμένα σχέδια διαφυγής και εκκένωσης. Ο συνδυασμός παθητικών και ενεργητικών μέτρων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ασφαλή και ελεγχόμενη συμπεριφορά των μεταλλικών κατασκευών σε συνθήκες πυρκαγιάς.



Εικόνα 9: Λυγισμός σε επίπεδο διατομής κύριας δοκού (αριστερά) και Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός τεγίδων (δεξιά)



Εικόνα 10: Πλήρης τήξη και καταστροφή δομικών μελών και μεταλλικών φύλλων επικάλυψης της στέγης



Εικόνα 11: Τρόποι πυροπροστασίας

6. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Η ευρεία εφαρμογή των μεταλλικών κτηρίων τύπου portal frame στη βιομηχανική δόμηση οφείλεται κυρίως στην αποτελεσματική ισορροπία που επιτυγχάνουν μεταξύ στατικής επάρκειας, κατασκευαστικής απλότητας και οικονομίας. Η δυνατότητα κάλυψης μεγάλων ανοιγμάτων, χωρίς ενδιάμεσα υποστυλώματα, προσφέρει σημαντική λειτουργική ευελιξία. Η καμπτική λειτουργία των πλαισίων, σε συνδυασμό με τη χρήση μεταβαλλόμενων διατομών, επιτρέπει την αποδοτική κατανομή του υλικού και οδηγεί σε σημαντική μείωση της απαιτούμενης ποσότητας χάλυβα σε σύγκριση με πιο συμβατικά δομικά συστήματα.

Η κατασκευαστική λογική των portal frames, βασισμένη σε προκατασκευασμένα μέλη και κοχλιωτές συνδέσεις, ευνοεί τη γρήγορη ανέγερση, την τυποποίηση και τη μείωση του χρόνου κατασκευής, ενώ παράλληλα διευκολύνει τη μελλοντική επέκταση του κτηρίου με την προσθήκη νέων φαντωμάτων. Επιπλέον, οι μεταλλικές κατασκευές χαρακτηρίζονται από υψηλή ανθεκτικότητα στον χρόνο, καθώς η ελεγχόμενη ποιότητα κατασκευής, η δυνατότητα επιθεώρησης και συντήρησης και η προβλέψιμη μηχανική συμπεριφορά του χάλυβα συμβάλλουν στη μακροχρόνια αξιοπιστία του φορέα.

Παράλληλα, η δυνατότητα αποσυναρμολόγησης και η πλήρης ανακυκλωσιμότητα του χάλυβα ενισχύουν τη βιωσιμότητα της λύσης, ενώ η βιομηχανική παραγωγή των μεταλλικών στοιχείων συνδέεται με χαμηλότερους ρύπους και μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σύγκριση με άλλες κατασκευαστικές λύσεις, ιδιαίτερα όταν λαμβάνεται υπόψη ο κύκλος ζωής της κατασκευής.

Τα πλεονεκτήματα αυτά, είναι μεν σημαντικά, συνοδεύονται όμως από συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις και περιορισμούς, οι οποίοι καθορίζουν σε



μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και το κόστος. Η σχετικά περιορισμένη πλευρική δυσκαμψία των portal frames, ιδιαίτερα κατά τη διαμήκη διεύθυνση του κτηρίου, καθιστά αναγκαία την ενσωμάτωση συστημάτων οριζόντιων συνδέσεων δυσκαμψίας τύπου *bracings* για την παραλαβή σεισμικών δράσεων, επηρεάζοντας τόσο τη στατική διάταξη όσο και την αρχιτεκτονική ευελιξία.

Η δράση ανέμου, και ιδίως τα φαινόμενα αναρρόφησης, μπορούν να καταστούν καθοριστικά για τη διαστασιολόγηση των συνδέσεων και των θεμελιώσεων, οδηγώντας σε αυξημένες απαιτήσεις αγκύρωσης. Επιπλέον, η συμπεριφορά των portal frames σε συνθήκες πυρκαγιάς είναι δυσμενής όταν δεν προβλέπονται επαρκή μέτρα πυροπροστασίας, καθώς η ταχεία απομείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια φέρουσας ικανότητας και προοδευτική κατάρρευση. Τέλος, τα ζυγώματα της στέγης παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, εάν δεν εξασφαλιστεί επαρκής πλευρική στήριξη μέσω τεγίδων και συνδέσεων.

Συνεπώς, τα μεταλλικά portal frames αποτελούν ένα εξαιρετικό σύστημα που αποδίδει βέλτιστα όταν ο σχεδιασμός του λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες της μορφολογίας, των δράσεων και των κατασκευαστικών λεπτομερειών. Όταν οι περιορισμοί αυτοί αντιμετωπίζονται ορθά, τα πλεονεκτήματα του συστήματος υπερισχύουν, καθιστώντας τα portal frames μία ιδιαίτερα αποδοτική, οικονομική και αξιόπιστη επιλογή για σύγχρονες κατασκευές.