



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ**



ΜΠΟΥΖΟΥΚΑ ΜΙΤΡΕΛ Α.Μ. : 5484

ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ Α.Μ. : 5597

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΑΡΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ, 2021

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
1.ΧΑΛΥΒΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	
1.1. Ιστορική αναδρομή στη χρήση του χάλυβα.....	5
1.2. Δομή, ιδιότητες και μέθοδοι παραγωγής χάλυβα.....	9
1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του χάλυβα.....	11
1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του χάλυβα ως δομικού υλικού	13
1.5. Ποιότητες χάλυβα	16
1.6. Προϊόντα χάλυβα	17
2. Ο ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3 ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ	
2.1. Το κανονιστικό πλαίσιο των Ευρωκωδίκων	19
2.2. Ευρωκώδικας 3: Αρχές και Κανόνες.....	20
2.3. Ευρωκώδικας 3: Απαιτήσεις σχεδιασμού και ασφάλειας.....	23
2.4. Ευρωκώδικας 3: Απαιτούμενοι έλεγχοι.....	24
2.5. Ευρωκώδικας 3: Ορολογία και συμβάσεις	25
3. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	
3.1. Βασικές αρχές.....	27
3.2. Σχεδιαστικές απαιτήσεις	27
3.3. Προϋπολογισμός Εργασιών και Κόστος Συντήρησης	28
3.4. Μέθοδοι ανάλυσης χαλύβδινων κατασκευών	29
3.5. Ευρωστία χαλύβδινων κατασκευών	30
3.6. Αρχές σχεδιασμού με βάση τις Οριακές Καταστάσεις.....	31
3.7. Απαιτήσεις και κριτήρια συμπεριφοράς.....	34
3.8. Έλεγχος σε συνθήκες πυρκαγιάς.....	35
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΧΩΡΙΚΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ	
4.1. Πρόγραμμα ανάλυσης.....	38
4.2. Περιγραφή της κατασκευής.....	39
4.3. Διαμόρφωση του μοντέλου	
4.3.1. Γεωμετρία του φορέα.....	39
4.3.2. Υλικά και διατομές.....	42
4.3.3. Φορτίσεις και συνδυασμοί τους.....	45

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

5.1. Εισαγωγή	38
5.2. Περίπτωση 1 – Χωρικό πλαίσιο χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας	38
5.3. Περίπτωση 1 – Χωρικό πλαίσιο χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας	54
5.4. Περίπτωση 1 – Χωρικό πλαίσιο χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας	60

6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	66
6.2. Σύνομα συμπεράσματα	68

Βιβλιογραφία	69
---------------------------	-----------

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η παράθεση και ανάλυση των επιμέρους παραμέτρων που αφορούν τον σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών, σύμφωνα με όσα ορίζουν οι Ευρωκώδικες με ιδιαίτερη έμφαση στις διατάξεις του Ευρωκώδικα 3. Αποτελεί δε μια προσπάθεια εμβάθυνσης στη βελτιστοποίηση σχεδιασμού κτιρίων με φέροντα οργανισμό από χάλυβα. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις μεταλλικές κατασκευές για βιομηχανική ή παρεμφερή χρήση καθώς η χρήση χάλυβα σε ανάλογες κατασκευές αποτελεί τα τελευταία δέκα και πλέον έτη την προτιμότερη επιλογή, τόσο από άποψη κόστους κατασκευής όσο και από άποψη ποιότητας και αντοχής της μεταλλικής κατασκευής στο διηνεκές. Η χρήση νέων σχεδιαστικών και κατασκευαστικών τάσεων σε συνδυασμό με την χρήση κατάλληλων επιμέρους υλικών και συνδέσμων, κάνει τις μεταλλικές κατασκευές περισσότερο ασφαλείς, με δυνατότητες τροποποιήσεων και χαμηλό κόστος συντήρησης και ως εκ τούτου άκρως ελκυστικές ως προτιμητέα κατασκευή συγκριτικά με τις κλασσικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

1. ΧΑΛΥΒΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

1.1. Ιστορική αναδρομή στη χρήση του χάλυβα

Η ιστορία του χάλυβα ξεκινά γύρω στα 1000 .π.Χ., όταν μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συστηματικά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου. Στην Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία πολλοί μεσογειακοί λαοί, αλλά και οι Ινδοί, οι Κινέζοι και Ιάπωνες γνώριζαν την τέχνη της παραγωγής σπογγώδους σιδήρου και χάλυβα καθώς και την τέχνη της σκλήρυνσης του χάλυβα με θέρμανση και απότομη ψύξη. Αν και από την εποχή της Αναγέννησης υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα ανάπτυξης των υψηλών θερμοκρασιών τήξης του χάλυβα, οι πρώτοι χάλυβες σε κάμινο παρήχθησαν το 1740. Μέχρι τότε κατασκευάζονταν μόνο λεπτού πάχους τεμάχια χάλυβα, όπως ξίφη και εργαλεία. Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα αρχίζει ουσιαστικά στα μέσα του 19αίωνα, με τη δυνατότητα για πρώτη φορά μαζικής παραγωγής χάλυβα υψηλής ποιότητας όταν το 1856 ο Άγγλος εφευρέτης Henry Bessemer ανακάλυψε πώς να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε ένα κάδο (μεταλλάκτη) επενδυμένο με πυρίμαχα τούβλα **(διαδίκτυο, WIKIPEDIA)**

Ο συγκεκριμένος συνδυασμός αέρα και άνθρακα σιδήρου, οδηγούσε στην αύξηση της θερμοκρασίας και όχι στη μείωση της. Ενώ όμως τα πειράματα με τη συγκεκριμένη μέθοδο έδιναν πολύ καλά αποτελέσματα, σε κανονικές συνθήκες το προϊόν ήταν ακατάλληλο. Αυτό συνέβη διότι κατά την εκτέλεση των πειραμάτων του, χρησιμοποιούσε σουηδικό μέταλλευμα, ενώ στη παραγωγή ήταν διαθέσιμο μόνο το βρετανικό μέταλλευμα, το οποίο είχε υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο που επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνο ανοικτής εστίας (κάμινο Siemens-Martin). Σήμερα η ανακάλυψη του Bessemer χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του σιδήρου. Η κάμινο Siemens Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον. **(Ιωάννου, 2013)**

Όσον αφορά τις κατασκευές, στα τέλη του δέκατου όγδοου αιώνα ξεκίνησε η ανέγερση κτιρίων από κατεργασμένο σίδηρο. Έναν αιώνα αργότερα στα τέλη άρχισε να παράγεται χάλυβας σε ποσότητες και τιμές ανταγωνιστικές του σιδήρου κάτι που οδήγησε στο να χρησιμοποιείται ευρέως στη δόμηση τεχνικών έργων.

Η πρώτη γέφυρα μεγάλων ανοιγμάτων από χάλυβα, η γέφυρα St. Louis στο άκρο του δέλτα του ποταμού Μισισσιπή στις Η.Π.Α., ολοκληρώθηκε τα, 1874. Η γέφυρα αυτή η οποία αποτελείται από τρία συνεχόμενα ανοίγματα της τάξεως των 150 m περίπου το καθένα (153-158-153m), βρίσκεται ακόμη και σήμερα σε λειτουργία. **(Γκολγκάκης, 2015)**

Νέες κατασκευαστικές τεχνικές σε μεγάλα έργα ήταν η δοκός τύπου Gerber που μειώνει τον κίνδυνο επιρροής από διαφορικές καθιζήσεις και η χρήση παραβολικών στοιχείων που ακολουθούν το διάγραμμα ροπών, για οικονομία υλικού και μείωση νεκρού βάρους. Επιπλέον,

η βιομηχανική παραγωγή του πολτοπαγούς σιδήρου άρχισε να αντικαθιστά τον χυτοσίδηρο το 1840, κυρίως λόγω της σημαντικής ιδιότητάς του να υπόκειται σε μεγάλες εφελκυστικές παραμορφώσεις στην πλαστική περιοχή, χωρίς να θραύεται.

Ο πολτοπαγής σίδηρος ήταν δυνατό να λαμβάνει τη μορφή λεπτών πλακών, οι οποίες μπορούσαν να καμφθούν και να συνδεθούν με ήλους χωρίς αισθητή μείωση της αντοχής τους. Η πρώτη γέφυρα από πολτοπαγή σίδηρο, που αξίζει να μνημονευτεί είναι η γέφυρα Britannia και κατασκευάστηκε το 1850. Είναι η πρώτη σημαντική ολόσωμη σιδηροδρομική γέφυρα μέγιστου ανοίγματος 142m στη ζεύξη Menai στην Αγγλία. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

Παράλληλα, η βιομηχανική επανάσταση δημιούργησε την ανάγκη για μεγάλους βιομηχανικούς χώρους. Η κάλυψη μεγάλων επιφανειών αλλά και η ταχύτητα κατασκευής οδήγησε σταδιακά στην αποκλειστική χρήση του χάλυβα ως βασικό δομικό υλικό. Το 1851 κατασκευάστηκε στο Λονδίνο το Crystal Palace Hotel (Σχήμα 1.1) από μέταλλο και γυαλί σε χρόνο ρεκόρ για την εποχή (10 μήνες). Αρχίζει, συνεπώς, η εποχή κατασκευής κτιρίων που αλλάζουν τη φυσιολογία του αστικού ιστού στον οποίο ανήκουν.

Κατά την τελευταία δεκαετία του δέκατου ένατου αιώνα, η κατασκευή κτιρίων γραφείων, εκθεσιακών χώρων και άλλων κατασκευών από χάλυβα άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα δημοφιλής τόσο στις Η.Π.Α. όσο και σε πολλές χώρες της Ευρώπης. Οι θεωρητικές γνώσεις των μηχανικών της εποχής όσον αφορά στη μηχανική συμπεριφορά σιδηρών ή χαλύβδινων δομικών στοιχείων περιορίζονταν ουσιαστικά στον νόμο ελαστικότητας (Χουκ, 1676), στην θεωρία λυγισμού ράβδων (Οΐλερ, 1744) και στις διαφορικές εξισώσεις λυγισμού πλακών (Ναβιέ, 1823).

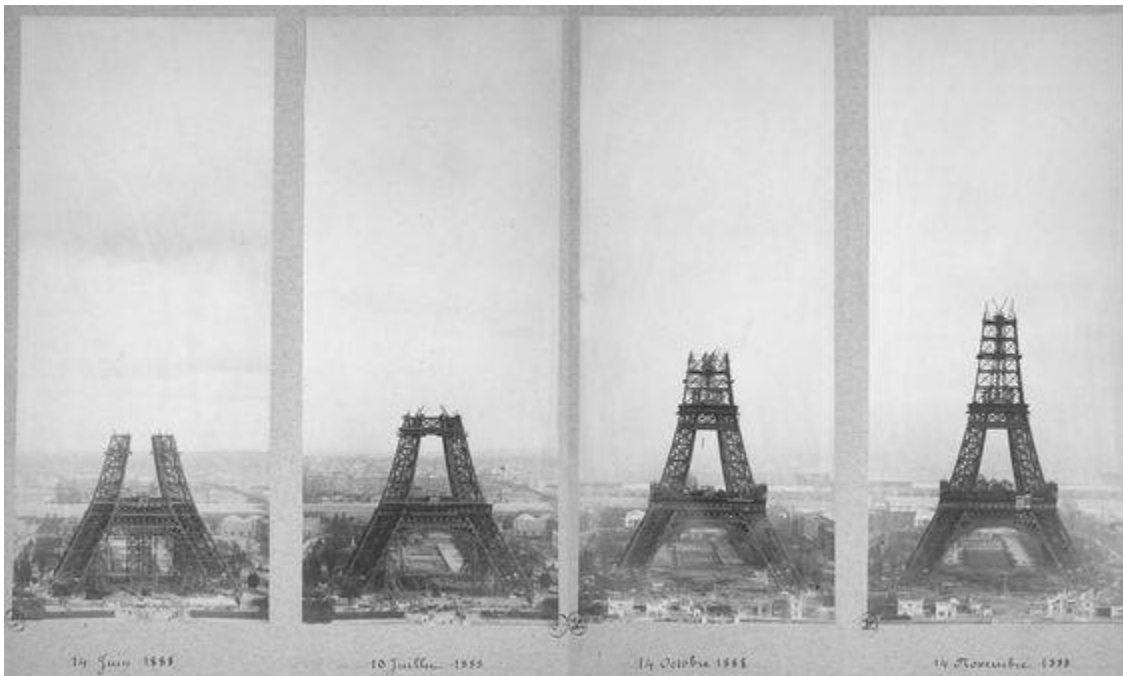


Σχήμα 1.1 Το εκθεσιακό κέντρο Crystal Palace(**RESEARCHGATE**)

Μόλις όμως οι μελετητές διαισθάνθηκαν τις προοπτικές οι οποίες ανοίγονταν με την χρησιμοποίηση νέων δομικών υλικών όπως ήταν ο χάλυβας και την εφαρμογή νέων τεχνικών κατασκευής, προχώρησαν σε ρηξικέλευθες, για το τεχνολογικό επίπεδο της εποχής, κατασκευαστικές λύσεις οι οποίες στην πλειονότητά τους θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως ιδιαίτερα επιτυχείς, λαμβανομένου υπόψη του γεγονότος ότι την εποχή εκείνη υπήρχε παντελής έλλειψη ειδικών σχετικών κανονισμών και προδιαγραφών.

Παρόλα αυτά, τα πρώτα χαλύβδινα κτίρια με ηλώσεις μελετήθηκαν με μια φιλοσοφία σχεδιασμού του στατικού τους συστήματος η οποία δεν απέχει πολύ από τις σύγχρονες αντιλήψεις σχεδιασμού. Ο φορέας είτε αποτελείτο από ένα πολυώροφο πλαίσιο με ενισχυμένους τους κόμβους σύνδεσης ορόφων-υποστυλωμάτων, είτε υπήρχε καθ' ύψος αναπτυγμένο δικτύωμα με ηλώσεις με το οποίο συνδέονταν οι όροφοι, με τον τρόπο αυτόν εξασφαλιζόταν η παραλαβή των αναπτυσσόμενων ροπών λόγω πλευρικών οριζοντίων ωθήσεων (ανέμου, σεισμού, κ.ά.).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα των πρώτων χαλύβδινων κτιρίων αποτελούν μεταξύ άλλων και τα εξής κτίρια: Το Crystal Palace στο Λονδίνο (1851), το Εκθεσιακό Κέντρο Jenney το οποίο κατασκευάστηκε το 1892 στο Σικάγο, το 20-όροφο συγκρότημα γραφείων της Εταιρείας Bruce Price's American Surety στη Νέα Υόρκη (1895), ο Πύργος του Eiffel στο Παρίσι (1876) (Σχήμα 1.2) και λίγο αργότερα στο Λονδίνο το ξενοδοχείο Ritz (1904), το κτίριο της Morning Post (1906), το R.A.C. Club (1910), το υψηλής αισθητικής Kodak House (1911) και το γερμανικό περίπτερο στην έκθεση της Βαρκελώνης (1929). **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**



Σχήμα 1.2 Φάσεις κατασκευής Πύργου του Eiffel **(PINTEREST)**

Από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970, τα χαλύβδινα πλαίσια χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στην κατασκευή βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Από το 1980 και μετά, μία πληθώρα χαλύβδινων κτιρίων ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους και εντυπωσιακής αρχιτεκτονικής έμπνευσης κατασκευάστηκαν σε όλες τις μεγαλουπόλεις του κόσμου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 1990, στη Μεγάλη Βρετανία το 90% των βιομηχανικών κτιριακών εγκαταστάσεων και το 50% των πολυώροφων κτιρίων τα οποία δεν χρησιμοποιούνται ως κατοικίες, είναι χαλύβδινα(**Τσαγκαροπούλου & Τζιθιέρη, 2017**). Στο πλαίσιο αυτό και με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας, τις δύο τελευταίες δεκαετίες κατασκευάστηκαν χαλύβδινα κτίρια με εξαιρετικά μεγάλες διαστάσεις ξεπερνώντας σε ύψος κάθε συμβατικό όριο.

Ορόσημα αποτέλεσαν επίσης η ολοκλήρωση το 1973 των δίδυμων πύργων (110 ορόφων και συνολικού ύψους 410 m) όπου στεγάστηκε το Παγκόσμιο Κέντρο Εμπορίου στη Ν. Υόρκη (Σχήμα 1.3) και το 1974 του ακόμη υψηλότερου Πύργου Sears (109 ορόφων και συνολικού ύψους 442 m) στο Σικάγο.



Σχήμα 1.3 Οι Δίδυμοι Πύργοι στη Νέα Υόρκη(**HISTORY**)

Ο υψηλότερος ουρανοξύστης στον κόσμο είναι σήμερα ο Burj Khalifa στο Ντουμπάι των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων με ύψος 828 m. Η κατασκευή του διήρκεσε 5 χρόνια, από το 2004 έως το 2009.

Στην Ελλάδα τα χαλύβδινα κτίρια τα οποία κατασκευάζονται, αντιστοιχούν στην πλειοψηφία τους σε οριζόντια αναπτυγμένα κτίρια (βιομηχανικά υπόστεγα, υπόστεγα αεροσκαφών, αποθήκες, στέγαστρα γηπέδων κ.τ.λ.). Την τελευταία όμως δεκαετία, μελετήθηκαν και ανεγέρθηκαν αρκετές χαλύβδινες κτιριακές μονάδες μεγάλου μεγέθους οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως ως κτίρια γραφείων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πολλά ειδικά έργα όπως είναι οι χαλύβδινοι πύργοι ανεμογεννητριών με ύψη τα οποία κυμαίνονται σήμερα από 80-120 m, οι χαλύβδινες καπνοδόχοι, οι πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι χαλύβδινοι ιστοί της κινητής τηλεφωνίας, τα χαλύβδινα δικτυώματα στήριξης κατόπτρων τηλεπικοινωνιών, οι χαλύβδινες δεξαμενές και τα σιλό αποτελούν δείγματα κατασκευών όπου ο σχεδιασμός και η υλοποίησή τους μπορεί να γίνει μόνο με την χρήση του χάλυβα ως δομικού υλικού.

Τα τελευταία 20 χρόνια, η χρήση των υπολογιστικών προγραμμάτων αλλά και των νέων σχεδιαστικών προγραμμάτων έδωσε επιπλέον δυνατότητες στους πολιτικούς μηχανικούς και αρχιτέκτονες. Επίσης, η τεράστια γνώση των δυνατοτήτων του χάλυβα και η εξαιρετική ποιότητα παραγωγής του, τον έχουν καταστήσει σε κυρίαρχο δομικό υλικό.

Επιπλέον, η εύκολη κατασκευαστικά επένδυση του με υλικά και τοιχοποιίες δημιουργεί πλήθος αισθητικών αποτελεσμάτων κάτι που η αρχιτεκτονική της νέας εποχής απαιτεί. Παρατηρούμε, δηλαδή, ότι τα κτιριακά έργα είναι απλά ένα είδος από μια μακροσκελή λίστα κατασκευών στις οποίες λαμβάνει μέρος ο χάλυβας ως κύριο υλικό ή με σύμμικτο τρόπο.

1.2. Δομή, ιδιότητες και μέθοδοι παραγωγής χάλυβα

Ο χάλυβας (ή ασάλι), είναι κράμα σιδήρου-άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2.06% άνθρακα, λιγότερο από 1% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, θείου, φωσφόρου και οξυγόνου. Ανάλογα με τις απαιτήσεις χρήσεως του χάλυβα, μπορούν να μεταβληθούν ορισμένες ιδιότητες κατά την παραγωγή του, με μεταβολή της χημικής σύνθεσης ή της κρυσταλλικής κατάστασης, με θερμική επεξεργασία κ.ά.

Ο δομικός χάλυβας είναι κράμα με βασικό συστατικό τον σίδηρο (Fe) και διάφορα άλλα μεταλλικά και μη στοιχεία σε μικρή αναλογία όπως Άνθρακας, Μαγγάνιο, Πυρίτιο, Νικέλιο, Χαλκός, Χρώμιο, Μολυβδαίνιο, Βαδάνιο, Ζιρκόνιο, Θείο, Φωσφόρος. Ορισμένα από αυτά είναι ανεπιθύμητα επειδή επηρεάζουν δυσμενώς κάποια χαρακτηριστικά του χάλυβα.

Η ποσοστιαία συμμετοχή των στοιχείων αυτών προσδιορίζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του χάλυβα. Μικρή μεταβολή της αναλογίας αυτής οδηγεί στη δημιουργία άλλου είδους χάλυβα. Έτσι αναφορικά με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, αυτή ποικίλει από 0,15% μέχρι 1,7%. Οι συνήθεις δομικοί χάλυβες έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,15% και 0,29%.

Οι δύο βασικές κατηγορίες δομικών χαλύβων που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές είναι οι μη κραματωμένοι χάλυβες π.χ. οι κοινοί χάλυβες και οι κραματωμένοι χάλυβες π.χ. οι αντιδιαβρωτικοί χάλυβες (weathering steels) και οι ανοξείδωτοι χάλυβες (stainless steels).

Κραματωμένος ονομάζεται ο χάλυβας του οποίου η περιεκτικότητα σε κραματικά στοιχεία (π.χ. νικέλιο, χρώμιο, πυρίτιο κ.ά.) είναι συνολικά μεγαλύτερο του 5% με σκοπό την βελτίωση ορισμένων χαρακτηριστικών όπως η αντοχή σε διάβρωση κ.τ.λ.

Ο χάλυβας δεν είναι συστατικό του σκυροδέματος, αλλά χρησιμοποιείται μαζί με αυτό και μας δίνει το οπλισμένο σκυρόδεμα, γνωστό και με τον γαλλικό όρο “μπετόν – αρμέ” (Σχήμα 1.4). Ειδικός χάλυβας επίσης χρησιμοποιείται και για το προεντεταμένο σκυρόδεμα. Το υλικό αυτό δεν είναι ένα νέο βελτιωμένο είδος οπλισμένου σκυροδέματος, αλλά ένα εντελώς νέο δομικό υλικό, το οποίο απλά είναι συγγενές με αυτό.



Σχήμα 1.4 Ράβδοι χάλυβα για οπλισμό σκυροδέματος (*SIDIROS-ARTA*)

Ως δομικό στοιχείο είναι γνωστή η χρήση του εδώ και δεκαετίες στον οπλισμό σκυροδέματος. Ωστόσο, οι υψηλές του επιδόσεις σε συνδυασμό με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας επεξεργασίας και βιομηχανοποίησής του, έχουν καταστήσει το χάλυβα ως την κορυφαία επιλογή δομικού στοιχείου σε κατ' εξοχήν χαλύβδινους φέροντες οργανισμούς.

Η παραγωγή του χάλυβα στην σύγχρονη εποχή πραγματοποιείται με τρεις βασικές μεθόδους οι οποίες βελτιώνονται τεχνολογικά με την πάροδο των ετών, αλλά ουσιαστικά παραμένουν οι ίδιες εδώ και δεκαετίες.

Οι τρεις βασικές μέθοδοι παραγωγής χάλυβα είναι οι κάτωθι: **(WIKIPEDIA)**

1) Με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσίδηρου, και τη μετατροπή του χυτοσίδηρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου,

2) Με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων - δηλαδή αναγωγή σε στερεά κατάσταση - σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (αγγλ., Direct Reduced Iron ή DRI), και τη μετατροπή αυτού του σπογγώδους σιδήρου που προκύπτει από την διαδικασία σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου, και

3) Με την ανάτξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (αγγλ., Electric Arc Furnace - EAF)

Σήμερα, στην παγκόσμια χαλυβουργία οι μέθοδοι παρασκευής χάλυβα που κυριαρχούν είναι η μέθοδος εμφύσησης οξυγόνου και ακολουθεί η μέθοδος της ηλεκτρικής καμίνου.

Συνοπτικά, οι μέθοδοι παρασκευής χάλυβα είναι οι κάτωθι **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**:

- Μέθοδος Bessemer
- Μέθοδος Siemens – Martin (ανοικτής εστίας)
- Μέθοδος εμφύσησης οξυγόνου
- Μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου

1.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του χάλυβα

Από επιστημονικής πλευράς, ο χάλυβας πλεονεκτεί σε μια σειρά από διάφορους παράγοντες σε σχέση με άλλα δομικά υλικά, όπως το μπετόν και το ξύλο. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα: **(Γκολγκάκης, 2015)**

- Έχει σχετικά μεγάλη περιοχή πλαστικής παραμόρφωσης στο διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο χάλυβας είναι αρκετά πλάστιμος, ώστε να αντέξει φορτίσεις πέραν του ορίου διαρροής του μέχρι την τελική του αστοχία.
- Αποτελεί το πλέον οικολογικό υλικό, μιας και είναι κατά 100% ανακυκλώσιμο. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι το 40% της παραγωγής χάλυβα στη Γαλλία προκύπτει από την ανακύκλωση, εξοικονομώντας έτσι περίπου το 60% της ενέργειας που χρειάζεται για την παραγωγή του από πρώτες ύλες.

- Σε σύγκριση με το μπετόν είναι εξ αρχής σε πλήρη ικανότητα φόρτισης και δε χρειάζεται χρόνο για να «δέσει»
- Συγκριτικά με το ξύλο δεν παραμορφώνεται, δεν στρεβλώνει και είναι εμφανώς πιο ανθεκτικό στις μεταβολές της θερμοκρασίας και γενικά σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Διαθέτει εξαιρετικές και κυρίως σταθερές μηχανικές ιδιότητες
- Διαθέτει τον υψηλότερο λόγο αντοχής προς ειδικό βάρος, κάτι που εξασφαλίζει το σχεδιασμό ελαφρύτερων κατασκευών, ζεύξη μεγάλων ανοιγμάτων χωρίς ενδιάμεση υποστήριξη, οικονομία χώρου και άρα μεγαλύτερες αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις. Το σχετικά μικρό βάρος των χαλύβδινων κατασκευών σε συνδυασμό και με τα άλλα χαρακτηριστικά του καθιστά το χάλυβα ιδανικό υλικό για αντισεισμικές κατασκευές
- Ομογένεια υλικού που εξασφαλίζει την ακρίβεια παραδοχών ανάλυσης και ελέγχων αντοχής.
- Με την κατάλληλη συντήρηση εξασφαλίζεται απεριόριστη διάρκεια ζωής της κατασκευής.
- Ολκιμότητα, δηλαδή η ιδιότητα του υλικού να μπορεί να υποφέρει εκτεταμένη παραμόρφωση χωρίς αστοχία κάτω από υψηλές εφελκυστικές τάσεις.

Άλλα πλεονεκτήματα είναι η βιομηχανοποιημένη παραγωγή (τυποποίηση, προκατασκευή), η δυνατότητα διάνοιξης οπών ή παραγωγής κυψελωδών διατομών για την όδευση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τμημάτων της κατασκευής όταν αυτή αποσυνδεθεί, η ταχύτητα ανέγερσης κατασκευών και η ευκολία ενίσχυσης υφισταμένων κατασκευών.

Τα βασικά μειονεκτήματα του δομικού χάλυβα είναι τα εξής: **(Γκολγκάκης, 2015)**

- Είναι υλικό ευαίσθητο σε υψηλές θερμοκρασίες (πυρκαγιές).
- Μικρή αντοχή σε φαινόμενα λυγισμού.
- Ευαισθησία σε φαινόμενα επαναλαμβανόμενης φόρτισης (κόπωση).

1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του χάλυβα ως δομικού υλικού

Υπάρχουν όμως και σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρει ο χάλυβας, αυτή τη φορά χρησιμοποιούμενος ως βασικό δομικό υλικό σε ένα κτίριο το οποίο προορίζεται ειδικά για βιομηχανική χρήση. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των κτιριακών φορέων από χάλυβα συνοψίζονται ως εξής: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη. 2017)**

- Μείωση των νεκρών φορτίων της κατασκευής.
- Η δυνατότητα επέκτασης και τροποποίησης υφιστάμενων κατασκευών: Λόγω της μεγάλης ποικιλίας διατομών, σχημάτων σύνδεσης των μελών και των μεθόδων σύνδεσης αυτών, μια τροποποίηση μεταλλικού έργου δεν απαιτεί πολύ χρόνο.
- Δυνατότητα ζεύξης μεγάλων ανοιγμάτων: Χρησιμοποιώντας μέλη ολόσωμων διατομών και δικτυώματα επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση του ίδιου βάρους της κατασκευής.
- Μικρές διαστάσεις υποστυλωμάτων, που αυξάνουν τον ωφέλιμο χώρο στην κάτοψη και τα ελεύθερα ανοίγματα στις όψεις.
- Μικρότερο ίδιο βάρος της φέρουσας κατασκευής, που μειώνει τα κατακόρυφα φορτία και δημιουργεί ευνοϊκότερες συνθήκες θεμελίωσης, ιδιαίτερα σε κακής ποιότητας εδάφη.
- Πιο διαπερατές κατασκευαστικές διαμορφώσεις δοκών και πλακών, που επιτρέπουν ευχερέστερη τοποθέτηση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και οδηγούν τελικώς σε μικρότερα μικτά ύψη ορόφων.
- Μεγάλος βαθμός βιομηχανικής προκατασκευής, που επιτρέπει την προετοιμασία του υλικού ταυτόχρονα με τις εργασίες εκσκαφής και θεμελίωσης, μικρότερους χρόνους κατασκευής, ανεξαρτητοποίηση από τις καιρικές συνθήκες, εν ξηρώ συναρμολόγηση και άμεση πρόσβαση των συναρμολογημένων τμημάτων (π.χ. πλάκες, στέγες), καλύτερη ποιότητα και ευχερέστερο ποιοτικό έλεγχο.
- Ομοιογένεια υλικού: Μένει αμετάβλητο στο χρόνο και έτσι μας δίνει ακρίβεια παραδοχών ανάλυσης και ελέγχων αντοχής.
- Ελαστικότητα – ολκιμότητα του χάλυβα: Δίνει τη δυνατότητα εκτεταμένης παραμόρφωσης του χάλυβα χωρίς όμως να αστοχεί. Το υλικό χρησιμοποιείται στο έπακρο του και επιτυγχάνονται πρακτικά μεγάλες αντοχές σε κάμψη, θλίψη, διάτμηση, χρησιμοποιώντας μικρότερες και αισθητικά καλύτερες διατομές. Επίσης μειώνονται τα μόνιμα φορτία της κατασκευής και υπάρχει κέρδος τόσο σε χώρο όσο και σε ποσότητα υλικού.

- Η δυνατότητα πραγματοποίησης ελαστικού και ανελαστικού σχεδιασμού: Οφείλεται στη χρησιμοποίηση ενός και μόνο πλήρως βιομηχανοποιημένου και όλκιμου υλικού, δηλαδή του χάλυβα.
- Μικρότερες κατασκευαστικές ανοχές, που έχουν ως αποτέλεσμα την ευχερέστερη χρήση προκατασκευασμένων μη φερόντων στοιχείων (προσόψεων, ψευδοροφών).
- Μεγαλύτερη δυνατότητα αλλαγών στη διαρρύθμιση των χώρων, προσθηκών, επεκτάσεων, ενισχύσεων για μεγαλύτερα φορτία.
- Δυνατότητα αποσυναρμολόγησης της κατασκευής.
- Ο επιμερισμός των φορτίων στα μέλη της κατασκευής: Οφείλεται στο σύνθετο σκελετό των μεταλλικών κατασκευών. Η ροή όλων των φορτίων εκτός του σεισμού είναι επικάλυψη, δευτερεύουσες δοκοί, κύριοι φορείς, θεμελίωση. Θεωρώντας τον άνεμο ως κύρια δράση στην κατασκευή, τότε ο άνεμος των πλάγιων όψεων παραλαμβάνεται τελικώς από τους κύριους φορείς (πλαίσια), ενώ ο άνεμος των προσόψεων από τους αντιανέμιους συνδέσμους και τους μετωπικούς στύλους.
- Ο εύκολος εντοπισμός των βλαβών: Οποιαδήποτε αστοχία γίνεται αμέσως αντιληπτή και οπτικά αφού μιλάμε για μόνο ένα υλικό. Άλλοτε τα μεγάλα βέλη κάμψης, άλλοτε τα τοπικά «τσακίσματα» των διατομών που οφείλονται σε τοπικό λυγισμό και άλλοτε η απόκλιση του κορμού των διατομών από την κατακόρυφο που οφείλονται σε πλευρικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, είναι καταφανείς ενδείξεις τοπικής ή καθολικής αστοχίας ενός μέλους ή και τμήματος του φορέα.
- Ευκολότερη εκτέλεση εργασιών αποκατάστασης βλαβών: Αυτό συνεπάγεται μεγάλη διάρκεια ζωής των μεταλλικών κατασκευών.
- Δυνατότητα ανακύκλωσης του χάλυβα: Είναι δυνατόν τα μεταλλικά μέλη να καθαρισθούν, να σταλούν σε χυτευτήρια όπου και γίνεται ανάτηξη για να προκύψουν νέα μέλη. Η σκουριά (δηλαδή η οξείδωση του μετάλλου) ξεκινά από την εξωτερική του επιφάνεια, προχωρά μέχρι ένα σημείο και μετά σταματά, αποτελεί δηλαδή ένδειξη του χρόνου έκθεσης του μετάλλου στο περιβάλλον αλλά είναι και η ασπίδα προστασίας του.
- Μεγάλο πλήθος διατομών που διατίθεται στην αγορά.
- Μεγάλο πλήθος συνδέσεων που διατίθεται στην αγορά.
- Η εξέλιξη της τεχνολογίας των συνδέσεων.

Έναντι των ανωτέρω, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία συνοψίζονται παρακάτω: **(Γκολγκάκης, 2015)**

- Απαιτήση βιομηχανικής εγκατάστασης για την προετοιμασία του υλικού.

- Απαίτηση εξειδικευμένου εργατοτεχνικού προσωπικού.
- Αυξημένο κόστος μελέτης.
- Ειδικός υπολογισμός συνδέσεων.
- Αυξημένο κόστος πυροπροστασίας: Όταν ο χάλυβας μιας κατασκευής θερμανθεί σε θερμοκρασία 700°C χάνει σημαντικό μέρος της αντοχής του και υφίσταται σημαντικές επιμηκύνσεις, που γίνονται πολύ επικίνδυνες για την ασφάλεια του κτιρίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτατη ανάπτυξη μεγάλων βελών κάμψης, τα οποία τελικά οδηγούν στη μερική ή και ολική κατάρρευση του φορέα, χωρίς να έχουν μεταβληθεί τα φορτία που φέρει.

Μέθοδοι πυροπροστασίας της κατασκευής είναι: **(Γκολγκάκης, 2015)**

- Διάφορες επαλείψεις και επιστρώσεις, που σχηματίζουν ένα στρώμα διοξειδίου του άνθρακα υψηλής θερμομονωτικότητας.
 - Πληρώσεις του πυρήνα με μπετόν.
 - Προκαλύμματα, όπως ψευδοροφές, ποδιές, παραπέτα και λοιπές προστατευτικές κατασκευές από πυρίμαχα υλικά.
 - Πληρώσεις των σωληνωτών διατομών με νερό.
 - Χωρισμός σε ζώνες πυρομόνωσης.
 - Φράγματα πυρός.
 - Εξασφάλιση και προστασία οδών διαφυγής.
 - Ανιχνευτές θερμότητας.
 - Εγκαταστάσεις επισήμανσης πυρκαγιάς.
 - Σταθερά και κινητά μέσα κατάσβεσης.
-
- Αυξημένο κόστος αντιδιαβρωτικής προστασίας.
 - Αυξημένο κόστος του υλικού (ως εισαγόμενο για την Ελλάδα προϊόν).
 - Αυξημένο κόστος συντήρησης (κυρίως για πρόληψη της σκουριάς): Προκαλείται λόγω οξείδωσης από το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα και επιδεινώνεται με την παρουσία υγρασίας και αναθυμιάσεων.

Ωστόσο, παρατηρώντας προσεκτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών συμπεραίνεται ότι ο μεγάλος αριθμός πλεονεκτημάτων τους, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη τεχνολογιών και μεθοδολογιών για την αντιμετώπιση των διάφορων μειονεκτημάτων τους, τις καθιστά δίκαια την πλέον διαδεδομένη μέθοδο κατασκευών που εφαρμόζεται στις μέρες μας και που σίγουρα θα γνωρίσει και περαιτέρω ανάπτυξη στο μέλλον.

1.5. Ποιότητες χάλυβα

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (αγγλ., grades), ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής: (**WIKIPEDIA**)

- **Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες** (αγγλ., carbon steels), οι οποίοι περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
 - Χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (αγγλ., mild steels, $C < 0,60\%$).
 - Χάλυβες μέτριου άνθρακα (αγγλ., medium carbon steels, $0,30\% < C < 0,60\%$).
 - Χάλυβες υψηλού άνθρακα (αγγλ., high carbon steels $0,60\% < C < 1,00\%$).
 - Χάλυβες υψηλού άνθρακα (αγγλ., high carbon steels $0,60\% < C < 1,00\%$).
 - Χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (αγγλ., ultra-high carbon steels, $1,00\% < C < 2,00\%$).
- **Κραματωμένοι χάλυβες** (αγγλ., alloy steels), δηλαδή κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι:
 - Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, οι οποίοι περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά σε ποσοστό το 10% κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$).
 - Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες ($Cr > 10,5\%$), οι ταχυχάλυβες ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$) κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- **Χάλυβες διαμόρφωσης**, οι οποίοι υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση,

διέλαση κ.λπ.).

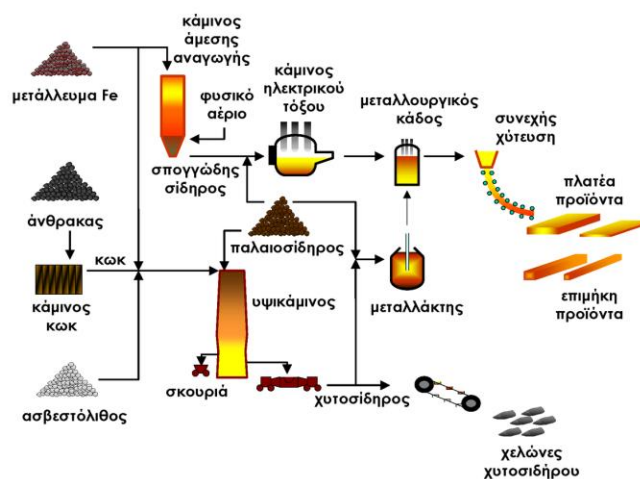
- **Χυτοχάλυβες**, οι οποίοι παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελώνων») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λπ. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους. Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ.. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Επί παραδείγματι, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm²).

1.6. Προϊόντα χάλυβα

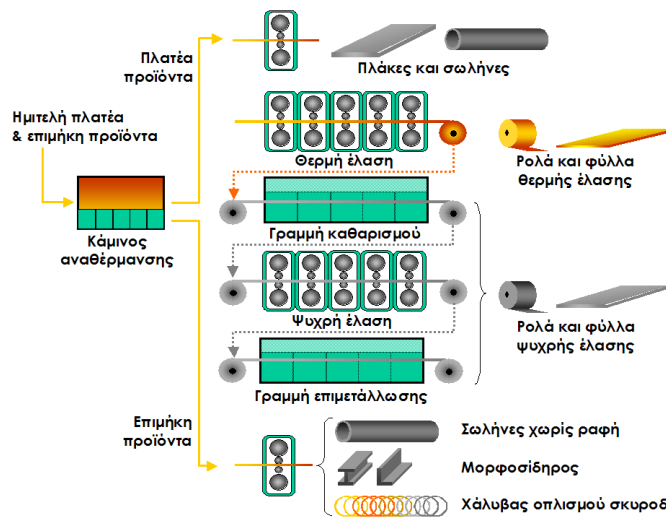
Τα χαλυβουργεία παράγουν ημιτελή και τελικά προϊόντα χάλυβα. Τα ημιτελή προϊόντα χάλυβα (Σχήμα 1.5) είναι συνήθως δοκοί τετραγωνικής διατομής («μπιγιέτες») με ακμή περίπου 10 εκ. ή κυκλικής διατομής με διάμετρο περίπου 25 εκ. (κυλινδρικές «μπιγιέτες» ή «κορμοί») και μήκος μερικά μέτρα, ή ακόμα πλατιά πρίσματα (πλάκες ή «σλαμπ») διατομής 10 εκ. x 100 εκ. και με μήκος μερικών μέτρων.

Η παραγωγή των ημιτελών προϊόντων γίνεται με συνεχή χύτευση σε μήτρες από χαλκό, που ψύχονται με νερό και με έλαση σε ειδικά έλαστρα. Τα ημιτελή προϊόντα αναθερμαίνονται και υποβάλλονται σε έλαση, διέλαση, ολκή κ.λπ. για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, που μπορεί να είναι πλατιά ή επιμήκη. Τόσο τα πλατιά προϊόντα όσο και τα επιμήκη παράγονται με θερμή ή ψυχρή έλαση. Η θερμή έλαση γίνεται σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 925 °C, οπότε οι παραμορφωμένοι κόκκοι του μετάλλου ανακρυσταλλώνονται. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιθιέρη. 2017)**



Σχήμα 1.5 Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα(WIKIPEDIA)

Η ψυχρή έλαση ωστόσο (Σχήμα 1.6) επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων με διαστάσεις πολύ πλησιέστερες στις τελικές διαστάσεις που θέλει ο καταναλωτής. Τα πλατέα προϊόντα διακρίνονται σε πλάκες ή χονδρές κατασκευαστικές λαμαρίνες (αγγλ., plates), με πάχος 1 έως 20 εκ. για χρήση στην ναυπηγική, την οικοδομή, κ.ά., και σε λεπτές λαμαρίνες σε ρολά ή επίπεδα φύλλα (αγγλ. strips), με πάχος 0,1 έως 1 εκ. για την αυτοκινητο-βιομηχανία, την βιομηχανία οικιακών συσκευών, την οικοδομή, κ.ά.



Σχήμα 1.6 Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής τελικών προϊόντων χάλυβα(WIKIPEDIA)

Τα επιμήκη προϊόντα μπορεί να είναι ράβδοι ή χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος (μπετόβεργα· αγγλ., reinforcing bars), ελάσματα ή λάμες (τσέρκι· αγγλ. narrow strips), μορφοσίδηρος (διαμορφωμένης διατομής, όπως γωνίες, ταυ, κ.λπ.· αγγλ. profiles), κοίλες δοκοί (αγγλ. hollow sections), σωλήνες με ή χωρίς ραφή (αγγλ. welded or seamless tubes), κ.ά.

Στα επιμήκη προϊόντα συμπεριλαμβάνεται και το σύρμα (αγγλ. wire). Εκτός από τα πλατέα και τα επιμήκη προϊόντα, ο χάλυβας διατίθεται ακόμα στην μορφή χυτής χελώνας (χυτοχάλυβας). Πολλές χαλυβουργίες διαθέτουν φύλλα ή ρολούς επιψευδαργυρωμένου (γαλβανισμένου), επικασσιτερωμένου και επιχρωματισμένου χάλυβα.

2. Ο ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3 ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ

2.1. Το κανονιστικό πλαίσιο των Ευρωκωδίκων

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων ανέλαβε την πρωτοβουλία της καθιέρωσης ενός συνόλου τεχνικών κανόνων για τον σχεδιασμό των κτιρίων και των λοιπών τεχνικών έργων ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού οι οποίοι σε αρχικό στάδιο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά στη θέση των ποικίλων υφιστάμενων εθνικών τεχνικών κανονισμών στα κράτη-μέλη και σε τελικό στάδιο θα τους αντικαθιστούσαν. Οι τεχνικοί αυτοί κανόνες είναι γνωστοί ως Δομικοί Ευρωκώδικες (Structural Eurocodes).

Το 1990 ανατέθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN, Comite Europeen de Normalisation, European Committee for Standardization) η ευθύνη της σύνταξης, δοκιμαστικής εφαρμογής και οριστικοποίησης των Δομικών Ευρωκωδίκων. Μέσα λοιπόν, στην δεκαετία του 1990 η Τεχνική Επιτροπή 250 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης δημοσιοποίησε και έθεσε αρχικά σε δοκιμαστική, και στη συνέχεια σε πλήρη εφαρμογή στα Ευρωπαϊκά κράτη τα οποία συμμετέχουν στη CEN, τους εξής Δομικούς Ευρωκώδικες:

- EN 1990 Ευρωκώδικας 0 «Βασικές αρχές σχεδιασμού»
- EN 1991 Ευρωκώδικας 1 «Δράσεις στις κατασκευές»
- EN 1992 Ευρωκώδικας 2 «Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα»
- EN 1993 Ευρωκώδικας 3 «Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα»
- EN 1994 Ευρωκώδικας 4 «Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα»
- EN 1995 Ευρωκώδικας 5 «Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών»
- EN 1996 Ευρωκώδικας 6 «Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία»
- EN 1997 Ευρωκώδικας 7 «Γεωτεχνικός σχεδιασμός»
- EN 1998 Ευρωκώδικας 8 «Σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών»
- EN 1999 Ευρωκώδικας 9 «Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο»

Στο διάστημα αυτό έγινε με ευθύνη κάθε Κράτους Μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ο καθορισμός σε εθνικό επίπεδο των τιμών ορισμένων παραμέτρων σχεδιασμού που σχετίζονται με θέματα ασφαλείας και γενικά διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα.

Οι κανονισμοί αυτοί εισήγαγαν μια νέα φιλοσοφία στις μεθοδολογίες σχεδιασμού των διαφόρων τύπων κατασκευών η οποία βασίζεται πλέον στη θεώρηση της συνολικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων κατασκευών σε οριακές καταστάσεις όσον αφορά αντοχή και στη λειτουργικότητά τους και όχι στον έλεγχο της μέγιστης αναπτυσσόμενης τάσης στις πιο κρίσιμες διατομές τους από πλευράς αντοχής.

Η σημαντικότερη συμβολή της εισαγωγής των Ευρωκωδίκων στο σχεδιασμό έργων είναι η χρήση κοινών κριτηρίων και μεθόδων για την εκπλήρωση των απαιτήσεων για μηχανική αντίσταση, ευστάθεια κ.τ.λ., αλλά και η ύπαρξη ενός συνολικού και ενιαίου πλαισίου παραδοχών, τόσο για τους αναλυτικούς υπολογισμούς, όσο και για τις υπολογιστικές προσομοιώσεις. **(Γκολγκάκης, 2015)**

2.2. Ευρωκώδικας 3: Αρχές και Κανόνες

Ο Ευρωκώδικας 3 Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα (EN 1993-1-1 Eurocode 3-Design of steel structures) αποτελεί σήμερα το πλαίσιο αρχών και κανόνων εφαρμογής για τον ασφαλή σχεδιασμό των κατασκευών από χάλυβα σε όλα τα Ευρωπαϊκά κράτη τα οποία συμμετέχουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης.

Η θεμελιώδης αλλαγή η οποία επήλθε με την εισαγωγή του Ευρωκώδικα 3 στις μελέτες των χαλύβδινων κατασκευών σε σχέση με τους παλαιότερους Κανονισμούς βρίσκεται στην υποκατάσταση της μεθόδου των επιτρεπόμενων τάσεων (admissible stresses) η οποία ήταν σε εφαρμογή μέχρι πρότινος και στην Ελλάδα (DIN 4114, DIN 1050, DIN 4100 κ.ο.κ.) από την μέθοδο των οριακών καταστάσεων (limit states).

Η τελευταία η οποία βασίζεται στη χρήση επιμέρους συντελεστών ασφαλείας (partial safety factors), παρά το γεγονός ότι απαιτεί την εκτέλεση πιο περίπλοκων ελέγχων απ' ότι οι προηγούμενοι κανονισμοί, οδηγεί αφενός σε ορθολογικότερη διαστασιολόγηση και αφετέρου σε σχεδιασμό όλο και πιο τολμηρών, αλλά ταυτόχρονα ασφαλέστερων κατασκευών χάλυβα. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ , οι οποίοι χρησιμοποιούνται στον Κανονισμό, είναι αριθμοί μεγαλύτεροι ή ίσοι της μονάδας με τους οποίους είτε πολλαπλασιάζονται οι δράσεις οι οποίες εφαρμόζονται στην κατασκευή, είτε διαιρούνται οι αντιστάσεις (δηλαδή η φέρουσα ικανότητα και οι σταθερές υλικού) των μελών της κατασκευής.

Προκειμένου να αποφευχθεί η χρήση μεγάλου αριθμού επιμέρους συντελεστών ασφαλείας οι οποίοι αφορούν στις κατασκευές από χάλυβα, χρησιμοποιούνται δύο μόνον κατηγορίες τιμών

γι' αυτούς:

α) οι τιμές $\gamma_{M1} = 1.0$ οι οποίες αφορούν στις αντιστάσεις οι οποίες συσχετίζονται με την τάση διαρροής του χάλυβα f_y (π.χ. για όλα τα φαινόμενα πλαστικοποίησης / αστάθειας) και

β) οι τιμές $\gamma_{M2} = 1.25$ οι οποίες αφορούν στις αντιστάσεις οι οποίες συσχετίζονται με την οριακή εφελκυστική αντοχή f_u (π.χ. για την καθαρή διατομή μέλους υπό εφελκυσμό ή για αντιστάσεις συγκολλήσεων ή κοχλιώσεων).

Για ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης και

γ) οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας $\gamma_{M0} = 1.0$. Για τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας στο σχεδιασμό κτιρίων, επιτρέπεται από τις αρμόδιες Αρχές κάθε κράτους-μέλους να επιλεγεί διαφορετική αριθμητική τιμή από τις προηγούμενες συνιστώμενες τιμές (π.χ. η τιμή 1.1 αντί της τιμής 1.0). **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

Σημειώνεται ότι μεταξύ των πολλών νέων στοιχείων τα οποία εισάγονται με τον Ευρωκώδικα 3 πέραν των προαναφερθέντων, θα μπορούσαν να αναφερθούν και η αλλαγή του συστήματος αξόνων σε μια διατομή (y, z αντί x, y), η χρήση των μονάδων του συστήματος S.I., η υιοθέτηση μειωμένης αντοχής στα ελάσματα μεγάλου πάχους (άνω των 40 mm), η ταξινόμηση των διατομών σε κλάσεις με κριτήριο την πιθανότητα εμφάνισης σ' αυτές φαινομένων διαρροής ή τοπικού λυγισμού κ.ά.

Ειδικά, όσον αφορά στα θέματα ασφάλειας στις χαλύβδινες κατασκευές, στον Ευρωκώδικα 3 καθορίζονται ορισμένες ενδεικτικές τιμές (indicative values) οι οποίες στο κείμενο του κανονισμού δίνονται εντός πλαισίου (\square) για τις οποίες προβλέπεται ότι οι αρχές του κάθε κράτους- μέλους καθορίζουν τις αντίστοιχες οριστικές τιμές.

Γενικά, η εφαρμογή του κανονισμού γίνεται σε συνδυασμό με τα Εθνικά Κείμενα Εφαρμογής - EKE (National Application Documents, NADs) όπου μεταξύ άλλων καθορίζονται οι προαναφερόμενες οριστικές τιμές σχετικά με θέματα ασφάλειας, γίνεται αναφορά στα πρότυπα τα οποία είναι συμβατά με τον Ευρωκώδικα 3 και ταυτόχρονα παρέχονται γενικές οδηγίες εφαρμογής του κανονισμού σε εθνικό επίπεδο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να προστεθεί ότι οι κανόνες ορθών διαδικασιών οι οποίες πρέπει να τηρούνται κατά την εκτέλεση των εργασιών σε ένα τεχνικό έργο από χάλυβα παρέχονται από μια σειρά άλλων Ευρωπαϊκών Προτύπων (π.χ. το EN 1090 – Εκτέλεση κατασκευών χάλυβα-Τεχνικές απαιτήσεις (Execution of steel structures Technical requirements)). **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

Ο Ευρωκώδικας 3 (EN 1993-1-1:2004) αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- EN 1993-1 Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
- EN 1993-2 Γέφυρες από χάλυβα
- EN 1993-3 Πύργοι, ιστοί και καπνοδόχοι
- EN 1993-4 Σιλό, δεξαμενές και σωληνώσεις
- EN 1993-5 Πάσσαλοι
- EN 1993-6 Κατασκευές που στηρίζουν γερανογέφυρες

Τα Τμήματα 3-2 έως 3-6 βασίζονται στους γενικούς κανόνες οι οποίοι παρουσιάζονται στο Τμήμα 3-1, ενώ ταυτόχρονα οι κανόνες οι οποίοι δίδονται στα Τμήματα αυτά συμπληρώνουν το εισαγωγικό Τμήμα 3-1.

Το Τμήμα 3-1 (EN 1993-1 Γενικοί Κανόνες και κανόνες για κτίρια) αποτελείται από τα εξής επιμέρους κεφάλαια:

- EN 1993-1-1 Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια
- EN 1993-1-2 Σχεδιασμός για φωτιά
- EN 1993-1-3 Λεπτότοιχα μέλη ψυχρής έλασης και χαλυβδόφυλλα
- EN 1993-1-4 Ανοξείδωτοι χάλυβες
- EN 1993-1-5 Μέλη από επίπεδα ελάσματα
- EN 1993-1-6 Αντοχή και ευστάθεια των κελυφωτών κατασκευών
- EN 1993-1-7 Αντοχή και ευστάθεια επίπεδων ελασμάτων με εγκάρσια φόρτιση
- EN 1993-1-8 Σχεδιασμός κόμβων
- EN 1993-1-9 Αντοχή των κατασκευών από χάλυβα σε κόπωση
- EN 1993-1-10 Επιλογή χάλυβα για αντοχή σε κρούση και ιδιότητες κατά το πάχος του υλικού
- EN 1993-1-11 Σχεδιασμός κατασκευών με εφελκυόμενα στοιχεία από χάλυβα

Το βασικό κείμενο των Τμημάτων του Ευρωκώδικα 3 συμπληρώνεται από ορισμένα κανονιστικά (normative) ή πληροφοριακά (informative) Παραρτήματα (Annexes). Σημειώνεται ότι τα κανονιστικά παραρτήματα επέχουν ισότιμη θέση με τα κεφάλαια του Ευρωκώδικα.

Στα Παραρτήματα θίγονται ορισμένα ειδικά θέματα όπως είναι για παράδειγμα η στατική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τη μη γραμμικότητα του υλικού και οι απλοποιητικές διατάξεις για τον σχεδιασμό συνεχών δοκών δαπέδου (Τμήμα EN 19933-1, Παράρτημα AB (Πληροφοριακό).

Ο Κανονισμός συμπληρώνεται επίσης από ορισμένα Πρότυπα EN και EN ISO. Μεταξύ αυτών των προτύπων αναφοράς, ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει για το πρότυπο EN10025 το οποίο αφορά στις ιδιότητες τις οποίες παρουσιάζουν οι συγκολλησιμοι δομικοί χάλυβες (weldable structural steels) και ειδικά, οι χάλυβες S235(Fe360), S275(Fe430) και S355(Fe510) οι οποίοι χρησιμοποιούνται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στην κατασκευή των χαλύβδινων φορέων. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι σε μια χαλύβδινη κατασκευή είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη κατά περίπτωση στην ανάλυση και τον σχεδιασμό δεδομένα και παράμετροι από τις προδιαγραφές πολλών επιμέρους πλαισίων Ευρωκωδίκων όπως έχουν υιοθετηθεί για εφαρμογή σε έργα στην Ελλάδα. Έτσι εκτός του Ευρωκώδικα 3 σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται και η χρήση προδιαγραφών που περιέχονται στους Ευρωκώδικες 0, 1, 4, 7, 8, 9.

2.3. Ευρωκώδικας 3: Απαιτήσεις σχεδιασμού και ασφάλειας

Στον σχεδιασμό των κατασκευών χάλυβα, μετά την εκτέλεση των απαιτούμενων υπολογισμών με τα κατάλληλα υπολογιστικά μοντέλα, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής συνθήκες: **(Γκολγκάκης, 2015)**

Συνθήκη 1^η

Στην Οριακή Κατάσταση η οποία αφορά στη στατική ισορροπία, στις μετατοπίσεις ή στις παραμορφώσεις της χαλύβδινης κατασκευής πρέπει να ικανοποιείται η ανισότητα:

$$Ed, stb \geq Ed, dst \quad (1)$$

δηλαδή το αποτέλεσμα των σταθεροποιητικών δράσεων (stabilizing actions) Ed, stb πρέπει πάντοτε να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του αποτελέσματος των αποσταθεροποιητικών δράσεων (destabilizing actions) Ed, dst .

Συνθήκη 2^η

Στην Οριακή Κατάσταση η οποία αφορά σε θραύση ή σε υπερβολική παραμόρφωση διατομής, μέλους ή σύνδεσης πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$R_d \geq S_d \quad (2)$$

δηλαδή η αντίσταση σχεδιασμού διατομής, μέλους ή σύνδεσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση της τιμής σχεδιασμού των αντίστοιχων εσωτερικών δυνάμεων και ροπών S_d .

Συνθήκη 3^η

Στην Οριακή Κατάσταση η οποία αφορά στην επίδραση των δράσεων πρέπει να ικανοποιείται η ανισότητα:

$$C_d \geq E_d \quad (3)$$

δηλαδή η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού της κατασκευής για τις δράσεις C_d πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση της τιμής σχεδιασμού των αντίστοιχων δράσεων E_d . Επομένως, για κάθε πιθανό συνδυασμό φόρτισης, η συνολική αντίσταση της χαλύβδινης κατασκευής επιβάλλεται να υπερτερεί της οιασδήποτε πιθανής εντατικής κατάστασής της.

Για τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας (durability) μιας χαλύβδινης κατασκευής στον χρόνο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό της διάφοροι παράγοντες όπως η χρήση η οποία προβλέπεται για την κατασκευή, τα κριτήρια συμπεριφοράς, οι αναμενόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, η σύνθεση, οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του υλικού, οι τύποι των διατομών στα δομικά στοιχεία και οι τύποι συνδέσεων, η ποιότητα κατασκευής και ο ποιοτικός έλεγχος κατά την παράδοση της κατασκευής, τα μέτρα προστασίας (π.χ. σε διάβρωση), καθώς επίσης και η αλληλεπίδραση όλων των προηγούμενων παραγόντων. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

2.4. Ευρωκώδικας 3: Απαιτούμενοι έλεγχοι

Ανάλογα με το είδος του εξεταζόμενου μέλους από δομικό χάλυβα είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των αντίστοιχων ελέγχων. Σε γενικές γραμμές ισχύει: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- Οι δοκοί και οι διαδοκίδες ελέγχονται σε τέμνουσα, κάμψη και θλίψη.
- Τα υποστυλώματα ελέγχονται σε τέμνουσα, διαξονική κάμψη και θλίψη.
- Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι ελέγχονται έναντι λυγισμού και μονοαξονικού εφελκυσμού.

Ο έλεγχος των διατομών ξεκινά από την κατάταξή τους σε κατηγορίες. Ο ρόλος της κατάταξης των διατομών σε τέσσερις κατηγορίες (σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3) είναι να αναγνωρίσει την έκταση στην οποία η αντοχή και η ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την

αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό. Η κατάταξη μιας συγκεκριμένης διατομής εξαρτάται από το λόγο πλάτους προς πάχος c/t καθενός από τα (εν μέρει ή πλήρως) λόγω αξονικής δύναμης ή/και καμπτικής ροπής θλιβόμενα πλακοειδή στοιχεία της. Επομένως, η κατηγορία στην οποία ανήκει μία διατομή εξαρτάται τόσο από τη γεωμετρία της, όσο και από τον τύπο της φόρτισης που επιβάλλεται σε αυτή. Τα επιμέρους θλιβόμενα πλακοειδή στοιχεία μιας διατομής (π.χ. ο κορμός ή το πέγμα) μπορούν, γενικά, να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, η δε διατομή κατατάσσεται σύμφωνα με την υψηλότερη κατηγορία (λιγότερο ευμενή) των θλιβόμενων στοιχείων της.

2.5. Ευρωκώδικας 3: Ορολογία και συμβάσεις

Πέραν της κλασικής ορολογίας η οποία χρησιμοποιείται στη Επιστήμη και την Τεχνολογία των Κατασκευών, στον Ευρωκώδικα 3 εισάγεται κατ' αρχήν η έννοια του πλαισίου (frame) ως τμήμα της κατασκευής το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο χαλύβδινων μελών τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και έχουν μελετηθεί ούτως ώστε να μπορούν να παραλαμβάνουν τα φορτία σχεδιασμού. Ο όρος πλαίσιο (frame) χρησιμοποιείται τόσο για τα πλαίσια με πακτώσεις, όσο και για τα δικτυωτά πλαίσια, ενώ καλύπτει αμφότερα τα επίπεδα και τα χωρικά πλαίσια.

- **Υπο-πλαίσιο (sub-frame)** είναι εκείνο το πλαίσιο το οποίο αποτελεί τμήμα ενός μεγαλύτερου πλαισίου, αλλά στους στατικούς υπολογισμούς λαμβάνεται υπ' όψη ως αυτόνομος φορέας.

Οι τύποι και συνακόλουθα οι ιδιότητες των πλαισίων είναι οι ακόλουθοι: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- **Ημι-συνεχή (semi-continuous)** είναι εκείνα τα πλαίσια για τα οποία στη στατική ανάλυσή τους απαιτείται επακριβής περιγραφή της συμπεριφοράς των μελών και των συνδέσεων.
- **Συνεχή (continuous)** είναι αυτά τα πλαίσια για τα οποία στην καθολική ανάλυσή τους απαιτείται περιγραφή μόνον της συμπεριφοράς των μελών τους.
- **Απλά (simple)** είναι τα πλαίσια εκείνα των οποίων οι συνδέσεις δεν παραλαμβάνουν ροπές.
- Με τον **όρο καθολική ανάλυση (global analysis)** νοείται ο καθορισμός μέσω κάποιας διαδικασίας στατικού υπολογισμού, του συνόλου των εσωτερικών δυνάμεων και ροπών οι οποίες αναπτύσσονται στη κατασκευή και ευρίσκονται σε ισορροπία με ένα συγκεκριμένο σύνολο δράσεων.
- **Μήκος συστήματος (system length)** είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων

στα οποία ένα χαλύβδινο δομικό στοιχείο είναι εξασφαλισμένο έναντι πλευρικής παραμόρφωσης σε ένα δεδομένο επίπεδο ή μεταξύ ενός τέτοιου σημείου και της άκρης του δομικού στοιχείου, ενώ μήκος λυγισμού (buckling length) είναι το μήκος συστήματος το οποίο αντιστοιχεί σε ένα αμφιαρθρωτό, το οποίο κατά τα άλλα όμοιο σε μηχανικές ιδιότητες, χαλύβδινο δομικό στοιχείο το οποίο έχει την ίδια αντίσταση σε λυγισμό με το εξεταζόμενο δομικό στοιχείο.

3. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

3.1. Βασικές αρχές

Ο σχεδιασμός μιας χαλύβδινης κατασκευής αρχίζει από τον καθορισμό των στόχων της κατασκευής ο οποίος οδηγεί στην επιλογή της μορφής και καταλήγει στον ακριβή υπολογισμό και τα σχέδια των κατασκευαστικών λεπτομερειών (σχέδια εφαρμογής) του κτιρίου. Έχει δε ως αντικείμενο την υλοποίηση μιας κατασκευής η οποία να ικανοποιεί τα επιλεγέντα κριτήρια ασφάλειας, λειτουργικότητας και οικονομίας ή και άλλα δευτερεύοντα. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

Η μελέτη ξεκινά από τον καθορισμό των απαιτήσεων του εντολέα ο οποίος συνήθως παρέχει στον μελετητή τα απαραίτητα στοιχεία σχετικά με το σκοπό του έργου και τα όρια του προϋπολογισμού.

Τα στοιχεία αυτά αποτελούν την αρχική πηγή πληροφοριών τις οποίες ο μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη, να τις επεξεργαστεί στα πλαίσια της επιστήμης, των κανονισμών και της πρακτικής της αγοράς και να τις βελτιώσει έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι ένα σωστό από πλευράς σχεδιασμού χαλύβδινο κτίριο.

Την προκαταρκτική αυτή φάση σχεδιασμού ακολουθεί ο καθαυτού σχεδιασμός του έργου. Είναι προφανές ότι καθ' όλη τη διάρκεια της φάσης αυτής απαιτείται συνεχής αλληλοενημέρωση και ανταλλαγή απόψεων των εμπλεκόμενων μερών ώστε να προκύψει εν τέλει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

3.2. Σχεδιαστικές απαιτήσεις

Ένα δόμημα πρέπει να μελετάται και να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε κατά την σκοπούμενη διάρκεια ζωής του και μέσα στα κατάλληλα πλαίσια αξιοπιστίας και οικονομίας: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- Να έχει επαρκή αντοχή, λειτουργικότητα και αξιοπιστία.
- Να παραμένει κατάλληλο για την χρήση για την όποια προορίζεται
- Να αναλαμβάνει όλες τις δράσεις και επιρροές, οι οποίες είναι ενδεχόμενο να συμβούν κατά τη διάρκεια κατασκευής και χρήσης του.
- Να είναι εύκολα και οικονομικά συντηρούμενο και καθαριζόμενο.

- Να έχει υψηλή αισθητική.

Εκτός από τις παραπάνω γενικές απαιτήσεις πρέπει κατά περίπτωση να λαμβάνεται μέριμνα ώστε το χαλύβδινο κτίριο να ικανοποιεί και ένα πλήθος ειδικών απαιτήσεων όπως είναι ενδεικτικά οι παρακάτω: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- Να υπάρχει πρόβλεψη τοποθέτησης και δυνατότητας κίνησης γερανογεφυρών (cranes) και κινητών φορτίων μονής τροχιάς (monorails), καθώς επίσης και ανελκυστήρων.
- Ο φυσικός φωτισμός να είναι σωστός.
- Ο κλιματισμός του κτιρίου να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη.
- Ο φυσικός ή τεχνητός αερισμός του κτιρίου να είναι ο καλύτερος δυνατός.
- Η στεγάνωση των εσωτερικών χώρων να είναι απόλυτη.
- Η διάταξη των φερόντων στοιχείων χάλυβα να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει την κίνηση μηχανημάτων (π.χ. ανυψωτικών μηχανημάτων) και τη μεταφορά ογκωδών φορτίων.
- Να υπάρχει πρόβλεψη για μελλοντικές επεκτάσεις του κτιρίου και πιθανή αλλαγή χρήσης του.

3.3. Προϋπολογισμός Εργασιών και Κόστος Συντήρησης

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός χαλύβδινου κτιρίου πρέπει να περιλαμβάνει και τον ακριβή υπολογισμό του κόστους ανέγερσης αλλά και πρόβλεψη του κόστους συντήρησής του. Για παράδειγμα, αξίζει να σημειωθεί ότι οι λύσεις με συγκολλητές διατομές και πολύπλοκες συνδέσεις αντιστοιχούν σε υψηλό κόστος εργατικών ενώ αντίθετα χρήση διατομών θερμής εξέλασης οι οποίες κυκλοφορούν στην αγορά σε συνδυασμό με απλές συνδέσεις οδηγούν σε πιο οικονομική κατασκευή.

Αντίθετα όμως, πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα ώστε να προβλέπεται εύκολη συντήρηση της χαλύβδινης κατασκευής. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι κατασκευές χάλυβα αν δεν συντηρηθούν έγκαιρα και με το σωστό τρόπο έχουν προβλήματα διάβρωσης και συνεπώς έλλειψη ασφάλειας λόγω μείωσης της αντοχής απαιτείται εξαρχής να υπάρχει σχετική μελέτη και να έχει διερευνηθεί το κόστος συντήρησης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι εφόσον στον προϋπολογισμό κατασκευής ενός χαλύβδινου τεχνικού έργου προστεθεί το κόστος συντήρησής του με ορίζοντα ορισμένων ετών ή δεκαετιών, τότε οι λύσεις οι οποίες με μια πρώτη εξέταση μοιάζουν πολύ ακριβότερες από μία

άλλη λύση ενδεχομένως να αποδειχθούν ανταγωνιστικές διότι έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος συντήρησης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

3.4. Μέθοδοι ανάλυσης χαλύβδινων κατασκευών

Μια κατασκευή από χάλυβα μπορεί να σχεδιαστεί είτε ως ένα στατικά ορισμένος (statically determinate) είτε ως ένας στατικά αόριστος (statically redundant) φορέας. Στην πρώτη περίπτωση οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές υπολογίζονται με την χρησιμοποίηση των εξισώσεων ισορροπίας ενώ στη δεύτερη περίπτωση είτε με ελαστική καθολική ανάλυση (elastic global analysis) είτε με πλαστική καθολική ανάλυση (plastic global analysis). **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

Ελαστική καθολική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των εσωτερικών δυνάμεων και ροπών μιας κατασκευής σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ πλαστική καθολική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εφόσον οι διατομές και ο δομικός χάλυβας ικανοποιούν τις απαιτήσεις τις οποίες θέτει ο Ευρωκώδικας 3.

Συνήθως τα φορτία διατομής υπολογίζονται στα πλαίσια της θεωρίας α΄ τάξης, δηλαδή βάσει της αρχικής γεωμετρίας του φορέα. Όταν όμως υπάρχει κίνδυνος απώλειας ευστάθειας της κατασκευής τότε συχνά οι απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού αποδεικνύονται ανεπαρκείς και απαιτείται η προσφυγή στη θεωρία β΄ τάξης όπου λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των παραμορφώσεων στην εντατική κατάσταση της κατασκευής.

Η ελαστική καθολική ανάλυση βασίζεται στην υπόθεση ότι η σχέση τάσεων ανηγμένων παραμορφώσεων του υλικού είναι γραμμική, όποια και να είναι η στάθμη της τάσης. Αυτή η υπόθεση μπορεί να διατηρείται και για τις δύο, πρώτης τάξης και δεύτερης τάξης ελαστική ανάλυση, ακόμα και όταν η αντίσταση της διατομής του δομικού στοιχείου βασίζεται σε πλαστικό υπολογισμό.

Η πλαστική ελαστική ανάλυση βασίζεται στην υπόθεση ότι ο φορέας βρίσκεται στην κατάσταση τελικής αστοχίας και υπολογίζεται το φορτίο αστοχίας με προσεγγιστικούς τρόπους. Η πλαστική καθολική ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί είτε μέσω μιας στερεοπλαστικής (rigidplastic) είτε μέσω μιας ελαστοπλαστικής (elasticplastic) μεθόδου.

3.5. Ευρωστία χαλύβδινων κατασκευών

Μία χαλύβδινη κατασκευή πρέπει να έχει μελετηθεί και κατασκευαστεί έτσι ώστε αν συμβεί κάποιο τυχηματικό γεγονός (π.χ. σεισμός, έκρηξη αερίου, πρόσκρουση οχήματος κ.τ.λ.) τότε οι βλάβες οι οποίες θα προκληθούν να μην είναι δυσανάλογα μεγάλες σε σχέση με την αιτία η οποία τις προκάλεσε. Γενικά οι τυχηματικές βλάβες είναι περιορισμένες όταν τα αίτια τα οποία τις προκαλούν έχουν μελετηθεί σωστά, ο φέρων οργανισμός έχει σχεδιαστεί σωστά ώστε να μην καταρρέει μετά από καταστροφή ενός ή περισσοτέρων δομικών στοιχείων του και ταυτόχρονα η ποιότητα κατασκευής του δομικού συστήματος είναι αξιόπιστη. Πρέπει δηλαδή η κατασκευή να είναι εύρωστη ή αλλιώς στιβαρή (robust). Πρέπει να σημειωθεί ότι η εξασφάλιση της ευρωστίας μιας μεταλλικής κατασκευής δεν σημαίνει σε καμία περίπτωση τη δημιουργία υπερβολικών φορέων με υπερβολικά μεγάλα περιθώρια ασφάλειας. Η συστηματική μελέτη της ευρωστίας ξεκίνησε το 1968 όταν συνέβη μία έκρηξη φυσικού αερίου σε ένα γωνιακό διαμέρισμα στον 18οόροφο του 22-όροφου κτιρίου Ronan Point στο Λονδίνο. Η έκρηξη ήταν τόσο μικρή που οι ένοικοι του διαμερίσματος επέζησαν αλλά οι τοίχοι του διαμερίσματος αποκολλήθηκαν λόγω της κακής σύνδεσής τους παρασύροντας όλους τους γωνιακούς τοίχους του κτιρίου. Δηλαδή, μια μικρή τοπική βλάβη προκάλεσε μια προοδευτική κατάρρευση δυσανάλογη της έντασης του αρχικού αιτίου.

Στον Ευρωκώδικα 3 για τη μελέτη της ασφάλειας μιας χαλύβδινης κατασκευής χρησιμοποιείται μια ημιπιθανοτική μέθοδος η οποία βασίζεται στην εφαρμογή των επιμέρους συντελεστών ασφάλειας (partial safety factors) προκειμένου να καλυφθούν οι αβεβαιότητες οι οποίες εισάγονται σε όλα τα στάδια μελέτης, ανέγερσης και λειτουργίας της κατασκευής. Τέτοιες αβεβαιότητες είναι π.χ.: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιλιέρη, 2017)**

- Οι αποκλίσεις μεταξύ των τιμών που προβλέπονται από τους κανονισμούς για τις φορτίσεις από τις τιμές εκείνες οι οποίες μπορεί να εμφανιστούν κατά το χρόνο ζωής των κατασκευών.
- Οι πιθανές ελλείψεις των παραδοχών, μεθόδων και προσομοιωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση της κατασκευής.
- Οι αποκλίσεις μεταξύ πραγματικών και θεωρητικών τιμών όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες του δομικού υλικού.

Τονίζεται ότι στον Ευρωκώδικα ως δράσεις (actions) F θεωρούνται τα εξωτερικά φορτία ή οι καταναγκασμοί (π.χ. η μεταβολή θερμοκρασίας) που επιβάλλονται στην κατασκευή και αποτελούν την αιτία ανάπτυξης των εσωτερικών δυνάμεων. Οι τιμές των δράσεων αυτών καθώς και οι πιθανοί συνδυασμοί τους είναι αδύνατο να προβλεφθούν με ακρίβεια. Προκειμένου να ληφθεί υπόψη με τον πιο πρόσφορο τρόπο ο στοχαστικός χαρακτήρας των δράσεων, οι τιμές

τους πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους επιμέρους συντελεστές ασφάλειας. Οι δράσεις ταξινομούνται: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη 2017)**

Ανάλογα με τη μεταβολή τους ως προς το χρόνο σε:

- Μόνιμες δράσεις (π.χ. ίδιο βάρος).
- Μεταβλητές δράσεις (π.χ. άνεμος, χιόνι).
- Τυχηματικές δράσεις (π.χ. σεισμικά φορτία, φορτία από έκρηξη).

Ανάλογα με τη μεταβολή τους ως προς το χώρο σε:

- Αμετακίνητες δράσεις ή δράσεις σταθερής θέσης (π.χ. ίδιο βάρος).
- Κινητές δράσεις ή δράσεις μεταβλητής θέσης (π.χ. κινητά φορτία, φορτία από γερανογέφυρες).

3.6. Αρχές σχεδιασμού με βάση τις Οριακές Καταστάσεις

Οριακές καταστάσεις είναι εκείνες, πέρα των οποίων η κατασκευή δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας του σχεδιασμού. Στον EN1990 περιγράφονται οι αρχές και οι απαιτήσεις για ασφάλεια, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα των κατασκευών με βάση τη θεωρία των οριακών καταστάσεων και τη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας. Ουσιαστικά, ελέγχεται για όλες τις επιλεγμένες καταστάσεις σχεδιασμού και τις συναφείς οριακές καταστάσεις ότι δεν υπάρχει υπέρβαση καμίας από αυτές.

Ο Αντισεισμικός Σχεδιασμός θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι για διακριτές στάθμες έντασης του σεισμού η κατασκευή θα εμφανίσει ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλαβών, δηλαδή θα εξασφαλίζει: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- Αποφυγή κατάρρευσης για σεισμό με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια (ή αλλιώς περίοδο επαναφοράς $TNCR = 475$ χρόνια).
- Περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες με πιθανότητα υπέρβασης 50% στα 50 χρόνια (ή αλλιώς περίοδο επαναφοράς $TNCR = 95$ χρόνια).

Για την ικανοποίηση των παραπάνω απαιτήσεων ελέγχονται οι παρακάτω δύο οριακές καταστάσεις: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (νέος κανονισμός)
- Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (παλαιός κανονισμός)

Σύμφωνα με τα παραπάνω η κατασκευή θα πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιεί τις απαιτήσεις τόσο στην οριακή κατάσταση αστοχίας όσο και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Ο σχεδιασμός της κατασκευής γίνεται με την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας, ενώ για την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένοι έλεγχοι που αφορούν σχετικές μετακινήσεις ορόφων και εξασφαλίζουν περιορισμένο βαθμό βλαβών.

Σύμφωνα όμως με τον EN1990, επιτρέπεται να παραληφθεί ο έλεγχος μιας οριακής κατάστασης, εφόσον όμως τεκμηριωθεί ότι η κρίσιμη για το σχεδιασμό (διαστασιολόγηση κλπ.) είναι η άλλη. Πάντως, η οριακή κατάσταση που θα επιλεγεί θα πρέπει να είναι δυσμενής και μεταβαλλόμενη για το φορέα, ώστε να καλύπτει όλες τις καταστάσεις που θα θεωρηθούν ότι θα συμβούν κατά τη διάρκεια κατασκευής και χρήσης του φορέα.

Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ)

Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας αντιστοιχούν σε κατάρρευση ή άλλου είδους που θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές ή την ασφάλεια του φορέα ή ενδεχομένως και την προστασία των περιεχομένων. Ο μελετητής πρέπει να εξασφαλίζει ότι η μέγιστη αντοχή της κατασκευής (ή στοιχείου της κατασκευής) είναι επαρκής για να αντέξει τις μέγιστες δράσεις που θα επιβληθούν σ' αυτήν, υπό ακραίες συνθήκες δηλαδή, με ένα λογικό περιθώριο ασφαλείας.

Οι Ο.Κ.Α διακρίνονται σε: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

1. Απώλεια στατικής ισορροπίας (EQU) του θεωρούμενου ως άκαμπτου σώματος φορέα ή οποιουδήποτε μέρους του. Ως κρίσιμος παράγοντας θεωρούνται οι μικρές διακυμάνσεις στην τιμή ή στη χωρική κατανομή των δράσεων που έχουν ενιαία προέλευση, ενώ δεν είναι κρίσιμη η αντοχή/ αντίσταση των υλικών.
2. Αστοχία μέλους από υπέρβαση της αντοχής του υλικού ή από υπερβολική παραμόρφωση (STR). Είναι η καθαυτή δομική αστοχία σύμφωνα με την οποία ο φορέας ή οποιοδήποτε μέρος του μετατρέπεται σε μηχανισμό ή θραύεται ή χάνει την ευστάθειά του, συμπεριλαμβανομένων των στηρίξεων και των θεμελίων.
3. Αστοχία εδάφους (GEO). Κρίσιμη αναδεικνύεται η αντοχή/αντίσταση του εδάφους.
4. Κόπωση (FAT) ή άλλες επιδράσεις που εξαρτώνται από το χρόνο

Στις παραπάνω Ο.Κ.Α θα πρέπει να προστεθούν και δυο ακόμα που αφορούν ιδιαίτερους τρόπους αστοχίας του εδάφους:

5. Απώλεια ισορροπίας της κατασκευής (UPL) ή του εδάφους λόγω υδατικών πιέσεων άνωσης ή επίπλευσης (λ.χ. στεγανολεκάνης).

6. Αστοχία υδραυλικού τύπου (HYD), όπως εσωτερική διάβρωση ή διασωλήνωση του εδάφους λόγω ροής υδάτων με μεγάλη υδραυλική κλίση. Οι Οριακές Καταστάσεις Αστοχίας λαμβάνονται υπόψη και για τον έλεγχο ανθεκτικότητας της φέρουσας κατασκευής στη διάρκεια του χρόνου.

Έλεγχοι σε Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Οι έλεγχοι στην Ο.Κ.Α. γίνονται τόσο σε επίπεδο διατομής, όσο και σε επίπεδο μέλους.

Σε επίπεδο διατομής γίνεται: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- Έλεγχος σε εφελκυσμό
- Έλεγχος σε διάτμηση
- Έλεγχος σε κάμψη πλευρικά εξασφαλισμένων μελών
- Συνδυασμός των παραπάνω

Σε επίπεδο μέλους γίνεται: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017)**

- Έλεγχος σε θλίψη
- Έλεγχος σε κάμψη πλευρικά μη εξασφαλισμένων μελών
- Συνδυασμός των παραπάνω

Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Οι Οριακές Καταστάσεις Λειτουργικότητας της κατασκευής είναι εκείνες, πέρα των οποίων δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια λειτουργικότητας της κατασκευής (μεγάλες παραμορφώσεις η μετακινήσεις που προκαλούν βλάβες στα στοιχεία πλήρωσης, ή ταλαντώσεις και δομήσεις ενοχλητικές για ενοίκους), η άνεση των χρηστών, η εξωτερική εμφάνιση της κατασκευής, δηλαδή η λειτουργία της κατασκευής υπό φυσιολογική χρήση. **(Μαρία-Κυριακή Τσαγκαροπούλου & Μαρία Τζιβιέρη 2017)** Δηλαδή, μολονότι η κατασκευή αντέχει, συμπεριφέρεται με μη ικανοποιητικό τρόπο. Οι μετακινήσεις και οι ταλαντώσεις συνδέονται περισσότερο με τη δυσκαμψία παρά με την αντοχή της κατασκευής.

Οι Ο.Κ.Λ διακρίνονται σε:

- Αναστρέψιμες
- Μη αναστρέψιμες

Στη παρούσα εργασία ως προς τη λειτουργικότητα μας απασχολεί η παραμόρφωση από οριζόντια και κατακόρυφα φορτία. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τις δράσεις και τις ιδιότητες των υλικών. Γι' αυτό επιβάλλεται μεγάλη ακρίβεια προσδιορισμού των δράσεων που καταπονούν την κατασκευή καθώς και του ποσοστού συμμετοχής κάθε δράσης ξεχωριστά. Ο έλεγχος των κατασκευών έναντι αστοχίας ή λειτουργικότητας επιτυγχάνεται με τη χρήση των λεγόμενων «καταστάσεων σχεδιασμού», που περιγράφουν με επαρκή αξιοπιστία όλους τους συνδυασμούς φορτίσεων, στις οποίες θα εκτεθεί η κατασκευή κατά την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της (για κτιριακά έργα 50 χρόνια).

3.7. Απαιτήσεις και κριτήρια συμπεριφοράς

Οι φορείς σε σεισμικές περιοχές σχεδιάζονται και κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται με ικανοποιητική αξιοπιστία οι ακόλουθες απαιτήσεις: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιθιέρη, 2017)**

- Απαίτηση Μη Κατάρρευσης
- Απαίτηση Περιορισμού των Βλαβών

Απαίτηση Μη Κατάρρευσης (Non Collapse Requirement – NCR)

Ο φορέας θα σχεδιάζεται και θα κατασκευάζεται ώστε να αναλαμβάνει την σεισμική δράση σχεδιασμού χωρίς τοπική ή γενική κατάρρευση, διατηρώντας κατά συνέπεια τη στατική ακεραιότητά του και παραμένουσα φέρουσα ικανότητα μετά τα σεισμικά γεγονότα. Η σεισμική δράση σχεδιασμού εκφράζεται με: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιθιέρη, 2017)**

1. Την τιμή αναφοράς της σεισμικής δράσης που αντιστοιχεί στην τιμή αναφοράς της πιθανότητας υπέρβασης $P_{NCR} = 10\%$, σε 50 έτη
2. Τον συντελεστή σπουδαιότητας γι ώστε να ληφθεί υπόψη διαφοροποίηση αξιοπιστίας

Για την ικανοποίηση της απαίτησης μη κατάρρευσης ελέγχεται η κατασκευή σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

Απαίτηση Περιορισμού Βλαβών (Damage Limitation Requirement – DLR)

Ο φορέας θα σχεδιάζεται και κατασκευάζεται για να αναλαμβάνει σεισμική δράση με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης από τη σεισμική δράση σχεδιασμού, χωρίς την εμφάνιση βλαβών και συνεπακόλουθους περιορισμούς χρήσης, οι δαπάνες των οποίων θα ήταν δυσανάλογα υψηλές σε σύγκριση με την δαπάνη του ίδιου του φορέα. Η σεισμική δράση που λαμβάνεται υπόψη για την απαίτηση περιορισμού των βλαβών» έχει πιθανότητα υπέρβασης PDLR = 10%, σε 10 έτη. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρ, 2017)** Για την ικανοποίηση της απαίτησης μη κατάρρευσης ελέγχεται η κατασκευή σε κατάσταση περιορισμού των βλαβών.

3.8. Έλεγχος σε συνθήκες πυρκαγιάς

Ο ορθός σχεδιασμός μιας μεταλλικής κατασκευής επιβάλλει τον έλεγχό της τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε συνθήκες πυρκαγιάς. Τα περισσότερα δομικά υλικά και συνεπώς ο χάλυβας υφίστανται προοδευτικά απώλεια αντοχής και δυσκαμψίας καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Για τον χάλυβα η αλλαγή αυτή γίνεται εμφανής για θερμοκρασίες πάνω από τους 300°C. Πιο συγκεκριμένα, στους 700°C ο χάλυβας διαθέτει το 23% της αντοχής του σε σχέση με μια συνηθισμένη θερμοκρασία, ενώ στους 900°C διαθέτει μόλις το 6%. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρ, 2017)**

Μία πραγματική φωτιά σε ένα κτήριο αναπτύσσεται και φθίνει σύμφωνα με το ισοζύγιο μάζας και ενέργειας που υπάρχει στο πυροδιαμέρισμα, μέσα στο οποίο αυτή εκδηλώνεται. Η ενέργεια που απελευθερώνεται εξαρτάται από την ποσότητα και τον τύπο του διατιθέμενου προς καύση υλικού και από τις συνθήκες αερισμού. Διακρίνονται τρεις φάσεις στη ζωή μιας πυρκαγιάς, οι οποίες ορίζονται ως η γέννηση, η πλήρης ανάπτυξη και η εκτόνωση. Η ταχύτερη αύξηση της θερμοκρασίας συμβαίνει κατά την περίοδο που ακολουθεί την πυράκτωση, η οποία είναι το σημείο στο οποίο όλα τα οργανικά υλικά του πυροδιαμερίσματος καίγονται. Το χρονικό διάστημα από την έναρξη της πυρκαγιάς μέχρι την αστοχία της κατασκευής δίνει το μέτρο της αντοχής της σε συνθήκες πυρκαγιάς και ονομάζεται δείκτης πυραντίστασης. Στα έργα ο δείκτης πυραντίστασης αξιολογείται, τα δε στοιχεία μόνωσης των δομικών στοιχείων προσδιορίζονται ώστε ο δείκτης αυτός να βρίσκεται μέσα σε όρια καθοριζόμενα από τους κανονισμούς. Ο απαιτούμενος δείκτης πυραντίστασης μπορεί να προσδιοριστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος συνδέεται με την πρότυπη καμπύλη σχεδιασμού, η οποία είναι μία διεθνώς αναγνωρισμένη συνάρτηση θερμοκρασίας – χρόνου, αλλά δεν αναπαριστά κανένα τύπο φυσικής φωτιάς σε κτήριο. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται σε δοκιμές φούρνου των στοιχείων της κατασκευής και χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία αέρα στο πυροδιαμέρισμα η οποία αυξάνεται συνεχώς με τον χρόνο αλλά με επιβραδυνόμενο ρυθμό. Εναλλακτικά, ο δείκτης πυραντίστασης μπορεί να προσδιοριστεί με χρήση παραμετρικών καμπύλων φωτιάς αντί της πρότυπης καμπύλης. Όταν χρησιμοποιούνται οι παραμετρικές καμπύλες είναι αναγκαίο να διατίθενται στοιχεία ως προς τις ιδιότητες των περιεχομένων στο πυροδιαμέρισμα υλικών (πυκνότητα,

ειδική θερμότητα, θερμική αγωγιμότητα) καθώς και για το πυροθερμικό φορτίο και τις επιφάνειες αερισμού. (= **Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017**)

Ο γενικός στόχος των μέτρων πυροπροστασίας είναι να περιορίσει τον κίνδυνο, σε περίπτωση πυρκαγιάς, για τα πρόσωπα, την απευθείας εκτεθειμένη ιδιοκτησία, τη γειτονική ιδιοκτησία και το περιβάλλον. Οι εργασίες κατασκευής πρέπει να σχεδιάζονται και να εκτελούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς να εξασφαλίζεται η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο :

- να περιορίζονται η πρόκληση και διάδοση φωτιάς και καπνού μέσα στο έργο
- να περιορίζεται η διάδοση της πυρκαγιάς στη γειτονική κατασκευή και οι χρήστες του έργου να μπορούν να το εγκαταλείψουν εγκαίρως
- να λαμβάνεται υπόψη η ασφάλεια των ομάδων διάσωσης.

Για να ικανοποιηθεί η ανωτέρω βασική απαίτηση, υιοθετούνται διάφορες στρατηγικές ασφάλειας έναντι πυρκαγιάς, όπως συμβατικά σενάρια πυρκαγιάς (ονομαστικές πυρκαγιές) ή «φυσικά» (παραμετρικά) σενάρια πυρκαγιάς, περιλαμβανομένων παθητικών και/ή ενεργητικών μέτρων πυροπροστασίας. (**Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017**)

Η φέρουσα ικανότητα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται, όταν η κατάρρευση προλαμβάνεται κατά την πλήρη διάρκεια της πυρκαγιάς, περιλαμβανομένης της φάσης πτώσης της θερμοκρασίας ή κατά τη διάρκεια μιας απαιτούμενης χρονικής περιόδου

Οι συνοριακές συνθήκες στις στηρίξεις και τα άκρα του μέλους επιτρέπεται να υποτεθεί ότι παραμένουν αμετάβλητες κατά τη διάρκεια έκθεσης στην πυρκαγιά. Ωστόσο, όταν διενεργείται στατική ανάλυση ολόκληρου του φορέα για την κατάσταση πυρκαγιάς, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι σχετικές με την έκθεση στην πυρκαγιά μορφές αστοχίας, οι ιδιότητες του υλικού και οι δυσκαμψίες των μελών όπως μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, καθώς επίσης η επιρροή των θερμικών διαστολών και παραμορφώσεων (έμμεσες δράσεις πυρκαγιάς).

Η λειτουργία ενός μέλους από χάλυβα, ως φέροντος στοιχείου, μπορεί να υποτεθεί ότι διατηρείται μετά από χρονικό διάστημα t από την έναρξη δεδομένης πυρκαγιάς, εάν, όπως προαναφέρθηκε, ικανοποιείται η σχέση $E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$. Η αντοχή σχεδιασμού $R_{fi,d,t}$ τη χρονική στιγμή t προσδιορίζεται με βάση την υπόθεση ομοιόμορφης διανομής της θερμοκρασίας στη διατομή, τροποποιώντας την αντοχή σχεδιασμού για συνήθη θερμοκρασία σχεδιασμού, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες. (**Τσαγκαροπούλου & Τζιβιέρη, 2017**)

Τέλος, δεν απαιτείται να εξετάζεται η αστοχία σε θέσεις απομειωμένης διατομής λόγω οπών για μέσα συνδέσεως, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει ένα μέσο συνδέσεως σε κάθε οπή, και αυτό γιατί η θερμοκρασία του χάλυβα είναι χαμηλότερη στην περιοχή των συνδέσεων λόγω της παρουσίας πρόσθετου υλικού.

Σχεδιασμός μεταλλικού υποστυλώματος έναντι πυρκαγιάς

Για την αντοχή σε πυρκαγιά των υποστυλωμάτων ισχύουν οι ίδιες αρχές όπως και για τις δοκούς. Απροστάτευτα υποστυλώματα έχουν πολύ μικρό χρόνο πυραντίστασης και ουσιαστικά βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε μονώροφα κτήρια. Από δύο ορόφους και πάνω απαιτείται προστασία της χαλύβδινης διατομής. **(Τσαγκαροπούλου & Τζιθιέρη 2017)**

Η προστασία αυτή παρέχεται ανάλογα με τα ισχύοντα για τις δοκούς με τους εξής τρόπους:

- Κάλυψη με πυράντοχες πλάκες.
- Προστασία με εκτοξευόμενα πυράντοχα υλικά.
- Βαφή με πυράντοχα χρώματα.
- Εγκιβωτισμός σε σκυρόδεμα.
- Γέμισμα με σκυρόδεμα (για κοίλες διατομές).
- Γέμισμα με νερό (για κοίλες διατομές).

Για μερικό εγκιβωτισμό ανοικτών διατομών προβλέπονται πρόσθετοι οπλισμοί με επαρκή επικάλυψη στο σκυρόδεμα. Πρόσθετοι οπλισμοί τοποθετούνται και στο εσωτερικό των κοίλων διατομών που είναι γεμισμένες με σκυρόδεμα. Οι οπλισμοί αυτοί είναι προστατευμένοι από το σκυρόδεμα και διατηρούν χαμηλή θερμοκρασία, ώστε να υποκαθιστούν σε περίπτωση πυρκαγιάς τη μείωση της αντοχής των μη προστατευμένων τμημάτων της χαλύβδινης διατομής.

Το γέμισμα των κοίλων διατομών με νερό είναι ένα καινοτόμος τρόπος προστασίας έναντι πυρκαγιάς. Η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω της διαφοράς πίεσης μεταξύ ψυχρού και θερμού ύδατος και ατμών στην περιοχή της φωτιάς. Το σύστημα λειτουργεί ως κλειστό κύκλωμα, με δεξαμενές νερού στην κορυφή του κτηρίου για αναπλήρωση τυχόν απωλειών.

Εν κατακλείδι, η προστασία της εξεταζόμενης κατασκευής σε περίπτωση φωτιάς επιτυγχάνεται με ένα σύνολο μέτρων: **(Τσαγκαροπούλου & Τζιθιέρη, 2017)**

α) με ενεργητικά μέτρα προστασίας (πυροσβεστικοί κρουνοί, καταϊονιστήρες, συστήματα ανίχνευσης καπνού)

β) με χρήση πυράντοχων ψευδοροφών. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουμε τις δοκούς. Εξάλλου, η χρήση των ψευδοροφών επιβάλλεται στην κατασκευή μας για λόγους αρχιτεκτονικούς και μηχανολογικούς

γ) με γέμισμα με σκυρόδεμα. Οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν στα υποστυλώματα είναι κοίλες, οπότε ενδείκνυται η πλήρωσή τους με σκυρόδεμα και

δ) με μικρό λόγο εκμετάλλευσης των διατομών. Οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν δεν εξαντλούν την αντοχή τους στις συνθήκες θερμοκρασίες, επομένως έχουν απομένουσα αντοχή για να ανταπεξέλθουν σε συνθήκες πυρκαγιάς.

Σημειώνεται ότι στην παρούσα εργασία δεν έγινε διερεύνηση και για την περίπτωση πυρκαγιάς, καθώς κάτι τέτοιο ήταν εκτός των στόχων της μελέτης.

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΧΩΡΙΚΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ

4.1. Πρόγραμμα ανάλυσης

Για τις αναλύσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε περιορισμένη, εκπαιδευτική έκδοση του λογισμικού SAP2000. Το SAP2000 αποτελεί εδώ και 30 χρόνια συνώνυμο των πιο σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης κατασκευών. Ακολουθώντας την ίδια παράδοση εδώ και χρόνια, το πρόγραμμα χαρακτηρίζεται από ένα εξελιγμένο, έξυπνο, και ευέλικτο περιβάλλον εργασίας που υποστηρίζεται από μια πανίσχυρη μηχανή ανάλυσης και από εξειδικευμένα εργαλεία σχεδίασης για μηχανικούς που εργάζονται στα συγκοινωνιακά έργα, στην βιομηχανία, στα δημόσια έργα, στις αθλητικές εγκαταστάσεις.

Από την τρισδιάστατη μοντελοποίηση αντικειμένων μέχρι τις ποικίλες δυνατότητες ανάλυσης και σχεδιασμού που είναι πλήρως προσαρμοσμένα σε ένα φιλικό γραφικό περιβάλλον, το SAP2000 έχει αποδειχθεί ως το πιο ολοκληρωμένο στατικό πρόγραμμα στην σύγχρονη αγορά. Το διαδραστικό γραφικό περιβάλλον του, επιτρέπει την γρήγορη δημιουργία μοντέλων κατασκευών χωρίς την ανάγκη της χρονοβόρου εκμάθησης σχεδιαστικών εργαλείων. Με την χρήση των προτύπων σχεδίασης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει σύνθετα μοντέλα τα οποία ύστερα διακριτοποιούνται εύκολα. Με την βοήθεια των ενσωματωμένων κωδικών σχεδιασμού δημιουργούνται αυτόματα σενάρια φόρτισης ανέμου, κυμάτων, σεισμού τα οποία ελέγχονται ώστε να είναι σύμφωνα με τα πρότυπα σχεδιασμού κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και δομικό χάλυβα των Αμερικάνικων, Καναδικών και διεθνών κανονισμών. Οι προηγμένες τεχνικές του προγράμματος επιτρέπουν την βήμα-προς-βήμα ανάλυση μεγάλων μετατοπίσεων, την ιδιομορφική ανάλυση και ανάλυση Ritz, την ανάλυση αλυσσοειδούς των καλωδίων, την ανάλυση μη-γραμμικότητας του υλικού με την προσθήκη πλαστικών αρθρώσεων, την μη-γραμμική ανάλυση με την χρήση στρωσιγενούς στοιχείου κελύφους κατανεμημένης πλαστικότητας, την ανάλυση λυγισμού, την ανάλυση προοδευτικής κατάρρευσης, την εφαρμογή ενεργειακών μεθόδων για τον έλεγχο της μετακίνησης, την μοντελοποίηση απόσβεσης που εξαρτάται από την ταχύτητα, την εισαγωγή μονωτήρων βάσης, και την μη-γραμμική ανάλυση των φάσεων της κατασκευής. Η μη γραμμική ανάλυση μπορεί να είναι στατική ή χρονοεξαρτώμενη, με την επιλογή για Γρήγορη Μη-Γραμμική Ανάλυση (FNA) χρονοιστορίας ή εφαρμογή της μεθόδου άμεσης ολοκλήρωσης.

Από την επίλυση ενός μικρού δισδιάστατου πλαισίου μέχρι τις σύνθετες μη-γραμμικές και δυναμικές αναλύσεις τρισδιάστατων κατασκευών, το SAP2000 είναι μια εύκολη και αποδοτική λύση για της ανάγκες σχεδιασμού και ανάλυσης κατασκευών.

4.2. Περιγραφή της κατασκευής

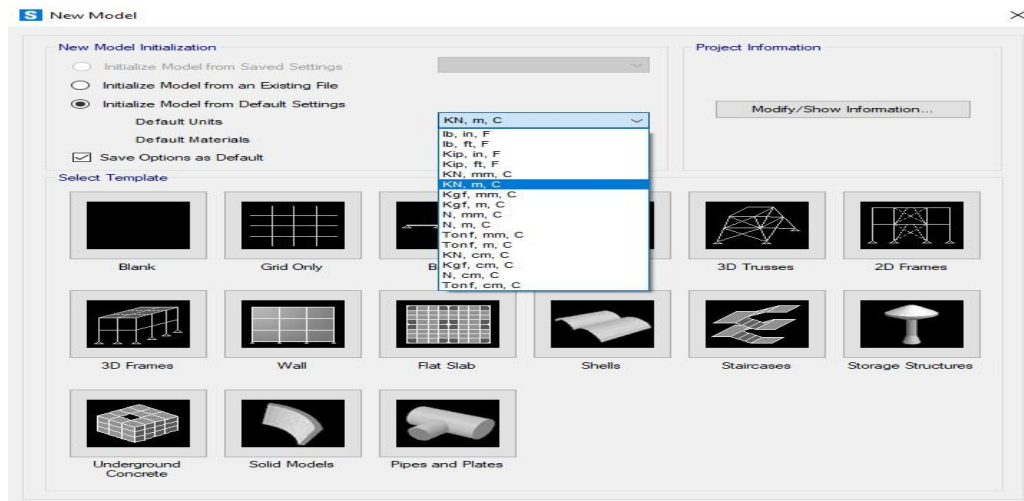
Ο φορέας που αναλύεται στη παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ένα ισόγειο, μεταλλικό χωρικό πλαίσιο, αποτελούμενο από τέσσερα παράλληλα τρίστιυλα πλαίσια (κατά τη διεύθυνση του θεωρητικού x-άξονα) με άνοιγματα μήκους 6,50 m, τα οποία συνδέονται πλήρως με δοκούς μήκους 6,0 m και στην εγκάρσια διεύθυνση. Ο φορέας έχει ύψος 4,50 m.

Ζητούμενο του αναλυτικού μέρους της εργασίας είναι η διερεύνηση τριών περιπτώσεων με και χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας ώστε να βρεθεί η καλύτερη δυνατή διαστασιολόγηση και χωρική τοποθέτηση των εν λόγω συνδέσμων για να περιορισθούν οι μετατοπίσεις λόγω σεισμού και να επιτευχθούν οι βέλτιστοι λόγοι επάρκειας των χαλύβδινων στοιχείων.

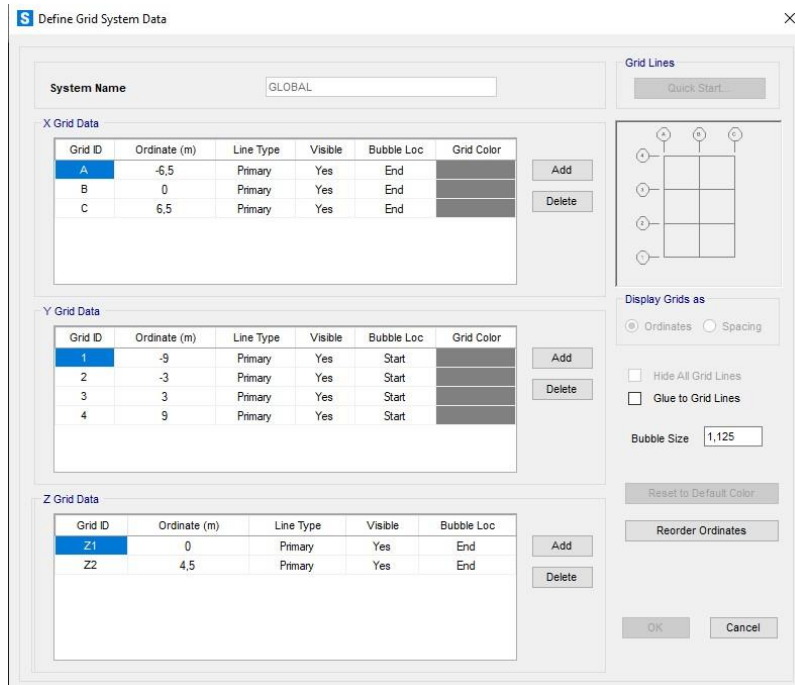
4.3. Διαμόρφωση του μοντέλου

4.3.1. Γεωμετρία του φορέα

Αρχικά στο πρόγραμμα καθορίζονται οι μονάδες και δίνονται οι βασικές γραμμές κανάβου που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μοντέλου και στις τρεις περιπτώσεις. (Σχήμα 4.1 και 4.2).



Σχήμα 4.1 Καθορισμός μονάδων στο πρόγραμμα SAP2000

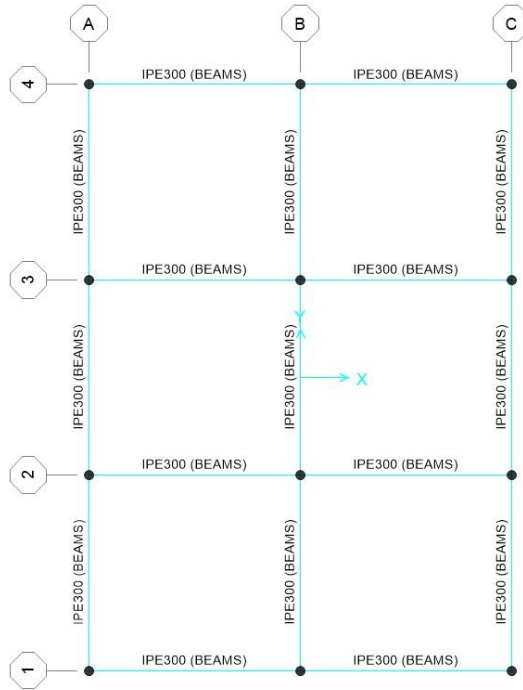


Σχήμα 4.2 Σχεδιασμός και αποστάσεις γραμμών βοηθητικού κανάβου

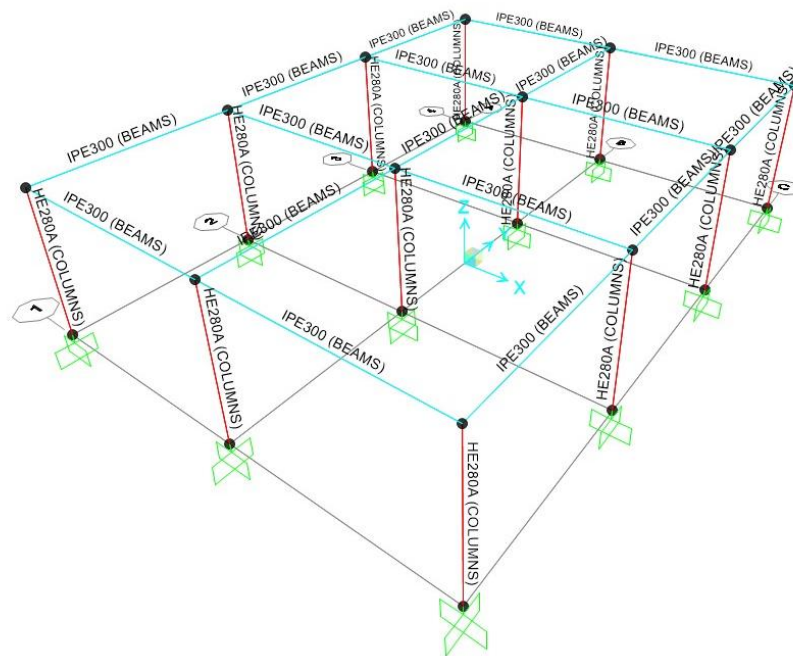
Ο φορέας σχηματίζεται με την προσθήκη γραμμικών στοιχείων ακολουθώντας τις γραμμές κανάβου κατά τη διεύθυνση του x και y άξονα όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3.

Με την προσθήκη και τον κατακόρυφων στοιχείων (υποστυλωμάτων) σχηματίζεται το τρισδιάστατο πλαίσιο που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.4.

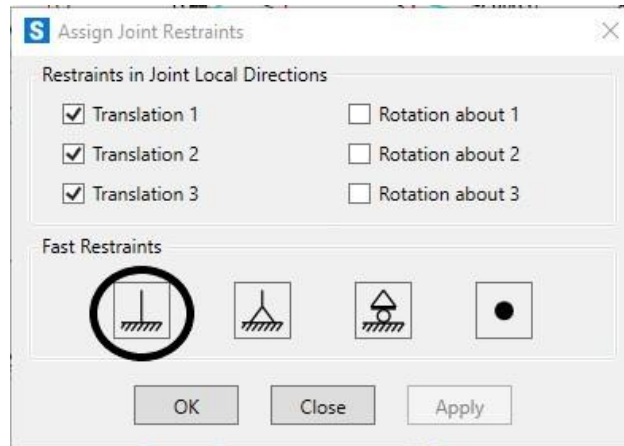
Για τη στήριξη του φορέα θεωρήθηκαν συνθήκες πάκτωσης στους κόμβους της βάσης. (Σχήμα 4.5)



Σχήμα 4.3 Κάτοψη των δοκών κατά X και Y μετά την εισαγωγή στο πρόγραμμα.



Σχήμα 4.4 Γενική απεικόνιση τρισδιάστατου φορέα.

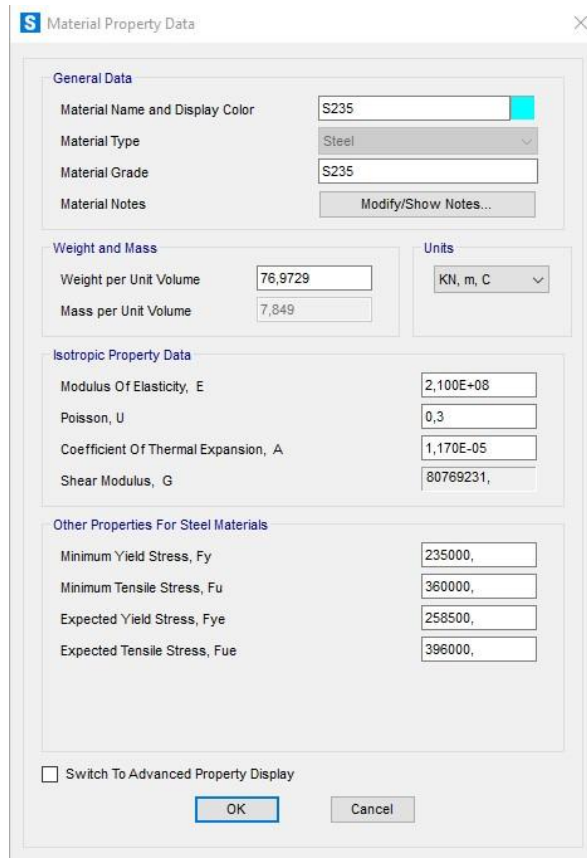


Σχήμα 4.5 Καθορισμός στηρίξεων του φορέα στο πρόγραμμα SAP2000.

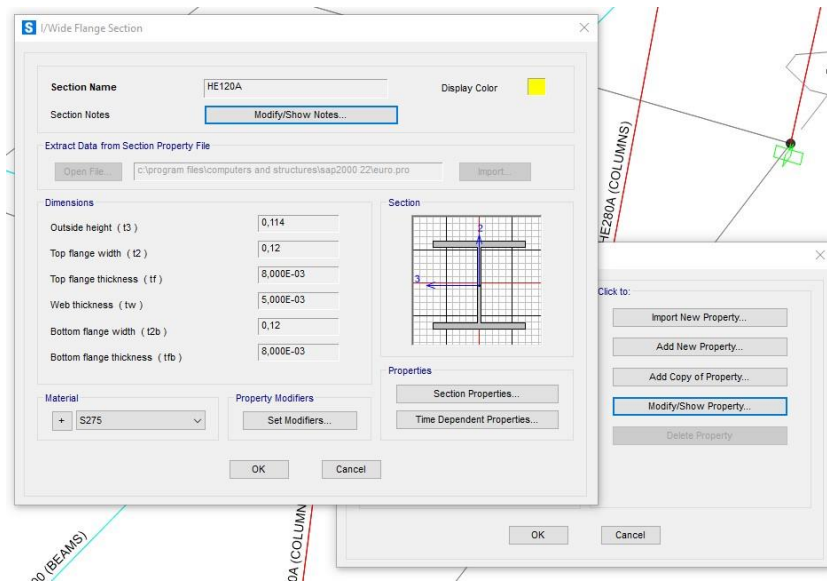
4.3.2. Υλικά και Διατομές

Για τα υλικά θεωρήθηκε χάλυβας S235 με ιδιότητες όπως φαίνονται στο σχήμα 4.6.

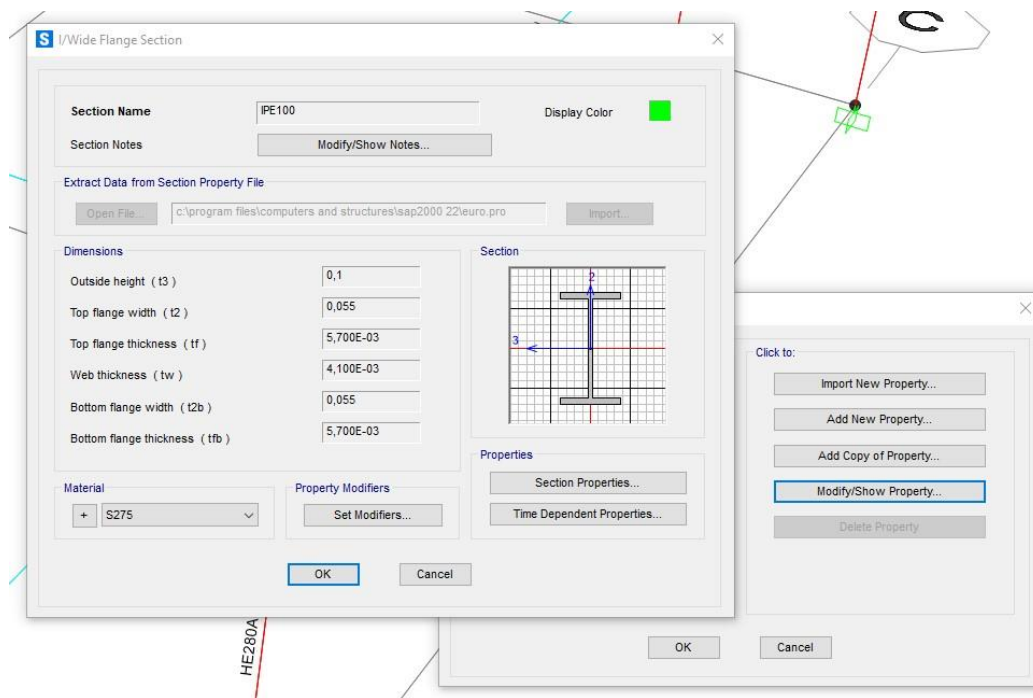
Οι διατομές θα επιλέγονται αυτόματα από το πρόγραμμα κατά τον σχεδιασμό. Εισάγονται κατά την προσομοίωση από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος οι πρότυπες διατομές που θα ληφθούν υπόψη κατά τον έλεγχο των μελών. (Σχήμα 4.7 έως 4.9). Για τις δοκούς θεωρήθηκαν υψίκορμες πρότυπες διατομές κατηγορίας IPE και για τα υποστυλώματα πλατύπελμες διατομές κατηγορίας HEA. Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι πρότυπες κοιλοδοκοί κυκλικής διατομής.



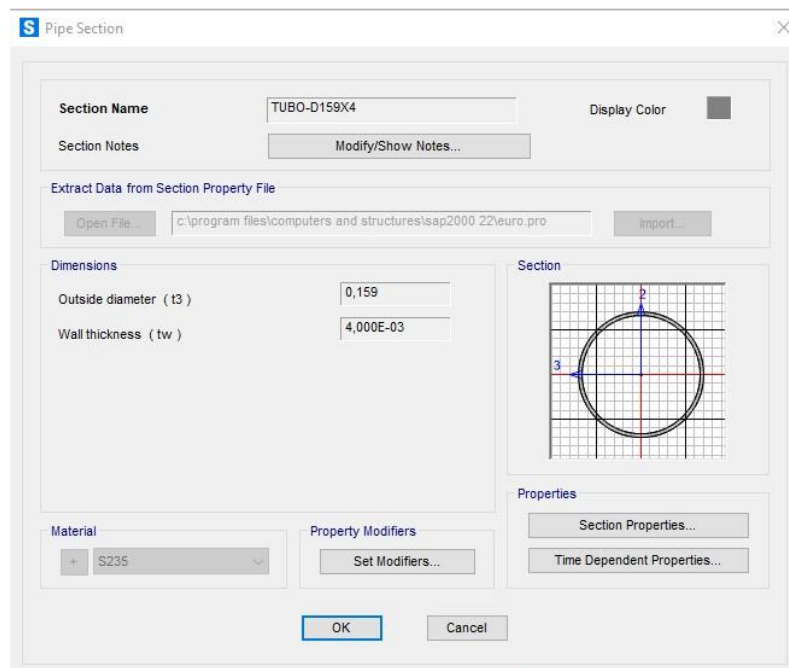
Σχήμα 4.6 Δεδομένα για το χάλυβα S235.



Σχήμα 4.7 Δεδομένα για τα υποστυλώματα (διατομές HE).



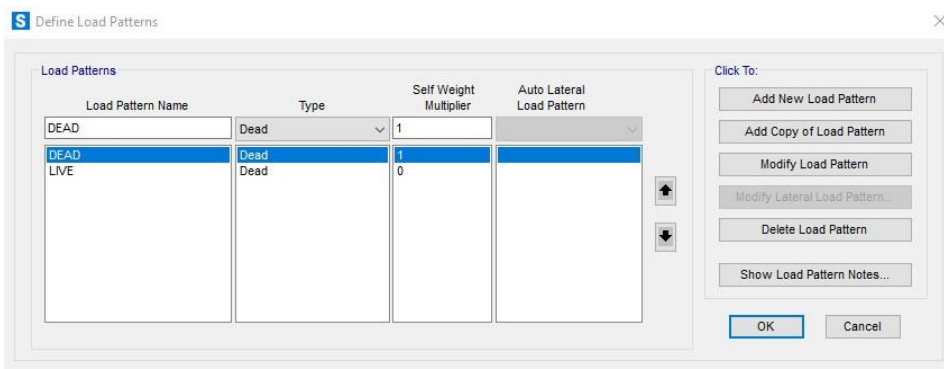
Σχήμα 4.8 Δεδομένα για τις δοκούς (διατομές IPE).



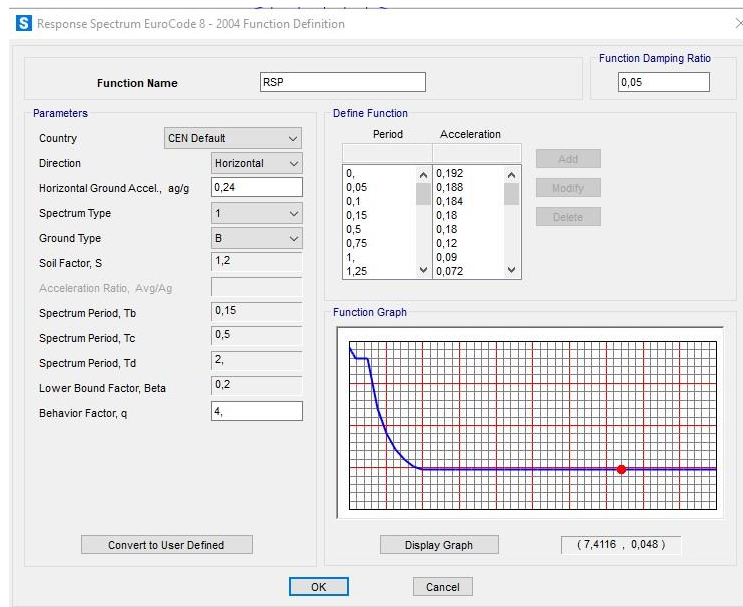
Σχήμα 4.9 Δεδομένα για τους συνδέσμους δυσκαμψίας (διατομές TUBO).

4.3.3. Φορτίσεις και συνδυασμοί τους

Για την ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα θεωρήθηκαν τα μόνιμα G και κινητά φορτία Q (Σχήμα 4.10). Επίσης έγινε ανάλυση για σεισμικές δυναμικές φορτίσεις (Σχήμα 4.11). Στα μόνιμα φορτία περιλαμβάνονται τα ίδια βάρη των μελών και μία επιπλέον φόρτιση που θεωρήθηκε 25 kN/m^2 . Επιπλέον, τα κινητά φορτία περιλαμβάνουν φόρτιση που θεωρήθηκε 12 kN/m^2 . Για τη σεισμική επιβάρυνση χρησιμοποιήθηκε το φάσμα σχεδιασμού Τύπου 1 του Ευρωκώδικα 8 με τιμή για το δείκτη συμπεριφοράς $q = 4$.



Σχήμα 4.10 Καθορισμός περιπτώσεων φόρτισης για τις οποίες επιλύεται ο φορέας.



Σχήμα 4.11 Καθορισμός σεισμικού φάσματος για το οποίο επιλύεται ο φορέας.

Για το σχεδιασμό ορίστηκε ο βασικός συνδυασμός των κατακόρυφων φορτίων (Σχήμα 4.12) και οι απαραίτητοι σεισμικοί συνδυασμοί δράσεων (Σχήμα 4.13 και 4.14).

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): 1,35G+1,5Q

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options: Convert to User Load Combo, Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1,35
DEAD	Linear Static		1,35
LIVE	Linear Static		1,5

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Σχήμα 4.12 Καθορισμός του βασικού συνδυασμού φόρτισης για τον σχεδιασμό.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): SPECTRUMY

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options: Convert to User Load Combo, Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
RSPY	Response Spectrum		1,
RSPY	Response Spectrum		1,
DEAD	Linear Static		1,
LIVE	Linear Static		0,3
RSPX	Response Spectrum		0,3

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Σχήμα 4.13 Καθορισμός του σεισμικού συνδυασμού δράσεων με κύρια διέγερση κατά την y διεύθυνση.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): SPECTRUMX

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options: Convert to User Load Combo, Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
RSPX	Response Spectrum		1,
RSPX	Response Spectrum		1,
DEAD	Linear Static		1,
LIVE	Linear Static		0,3
RSPY	Response Spectrum		0,3

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Σχήμα 4.14 Καθορισμός του σεισμικού συνδυασμού δράσεων με κύρια διέγερση κατά την x διεύθυνση.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

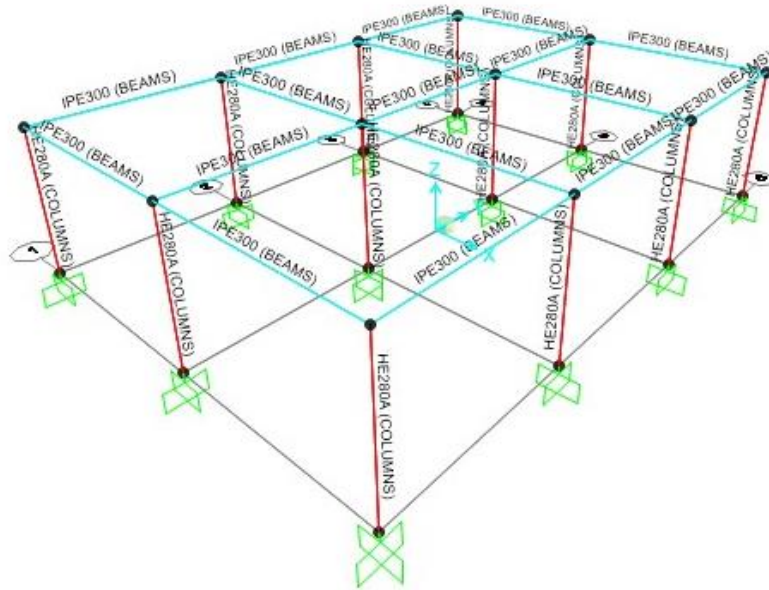
5.1. Εισαγωγή

Η προσθήκη συνδέσμων δυσκαμψίας επηρεάζει σημαντικά την απόκριση των μεταλλικών κατασκευών. Ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα, η χρήση των στοιχείων αυτών είναι απαραίτητη για τον περιορισμό των μετατοπίσεων και τη γενικότερη βελτίωση του σχεδιασμού της μεταλλικής κατασκευής.

Για την απεικόνιση του παραπάνω, στην παρούσα ενότητα της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης και διαστασιολόγησης του μονώροφου χωρικού πλαισίου για διάφορες περιπτώσεις τοποθέτησης συνδέσμων δυσκαμψίας.

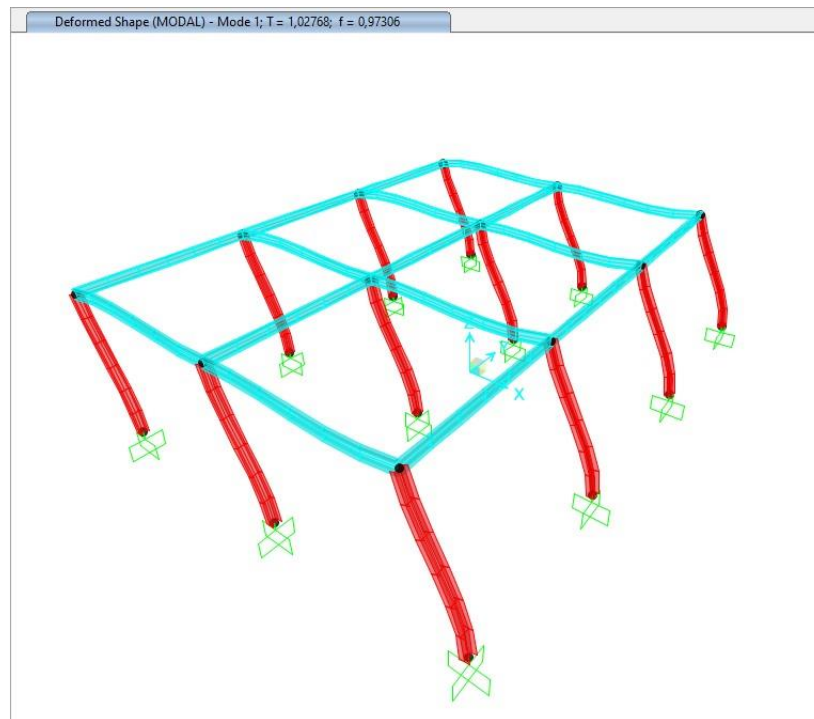
5.2. Περίπτωση 1 – Χωρικό πλαίσιο χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας

Σε αυτή τη περίπτωση μελετάται το προαναφερθέν απλό χωρικό πλαίσιο χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας (Σχήμα 5.1).

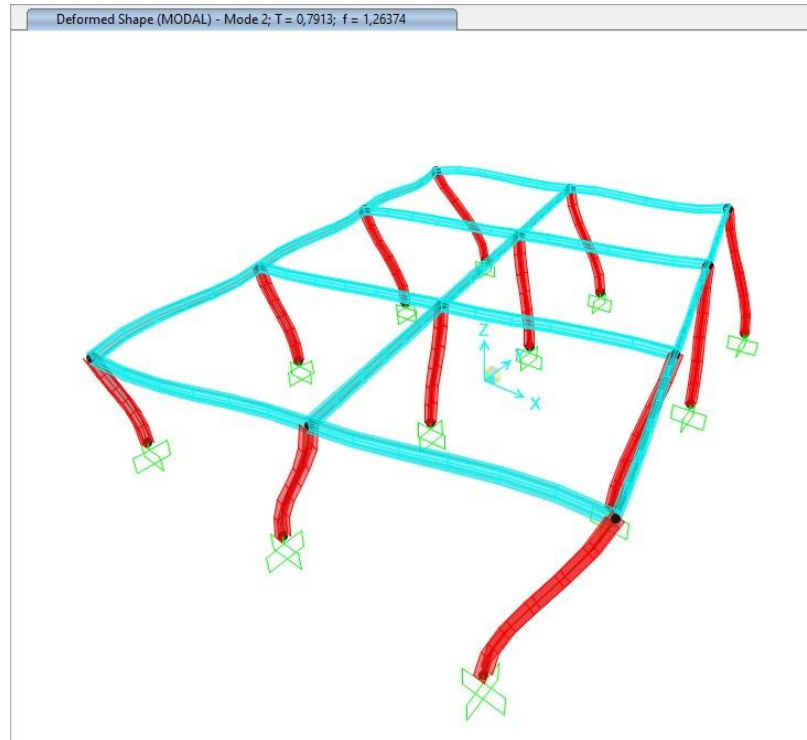


Σχήμα 5.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση του πλαισίου

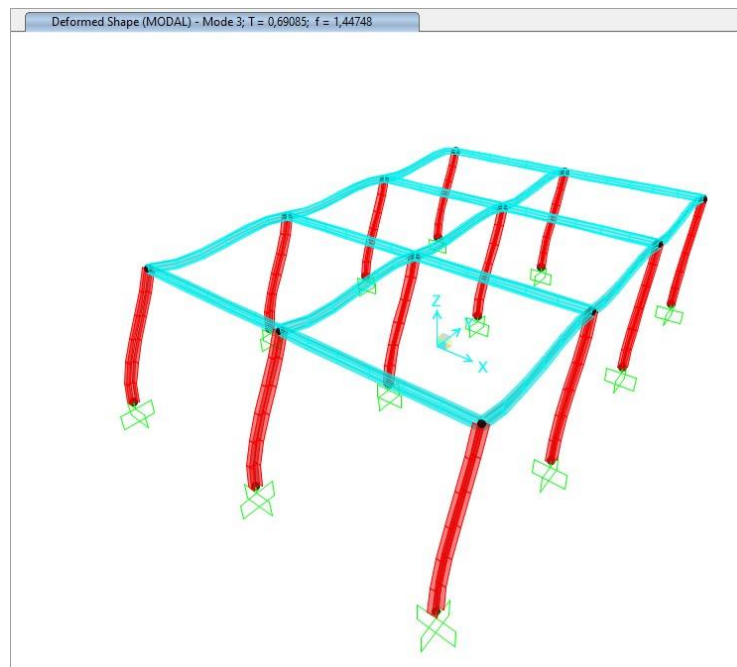
Αρχικά εξετάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης (Σχήμα 5.2, 5.3, 5.4). Η πρώτη ιδιομορφή είναι μεταφορική κατά x , η δεύτερη στρεπτική και η τρίτη μεταφορική κατά y . Όλες οι μορφές ταλάντωσης είναι ασύζευκτες, όπως ήταν αναμενόμενο με βάση τη γεωμετρία του φορέα (συμμετρία). Οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι είναι Mode 1: $T = 1,02768$, Mode 2 : $T = 0,7913$, Mode 3: $T = 0,69085$.



Σχήμα 5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση πρώτης ιδιομορφής (mode 1) του χωρικού πλαισίου.

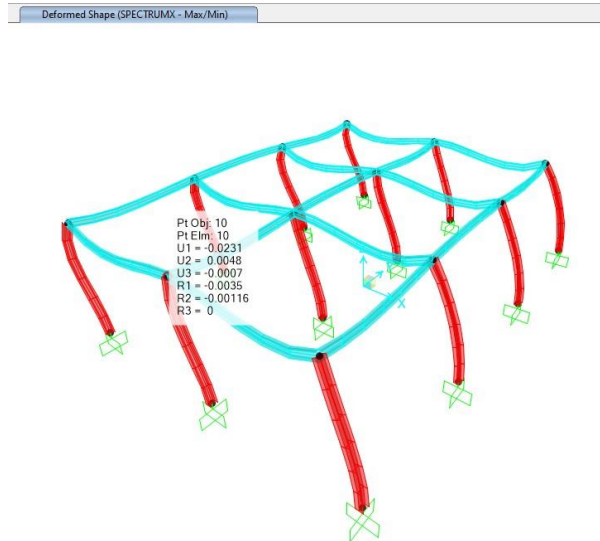


Σχήμα 5.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση δεύτερης ιδιομορφής (mode 2) του χωρικού πλαισίου.

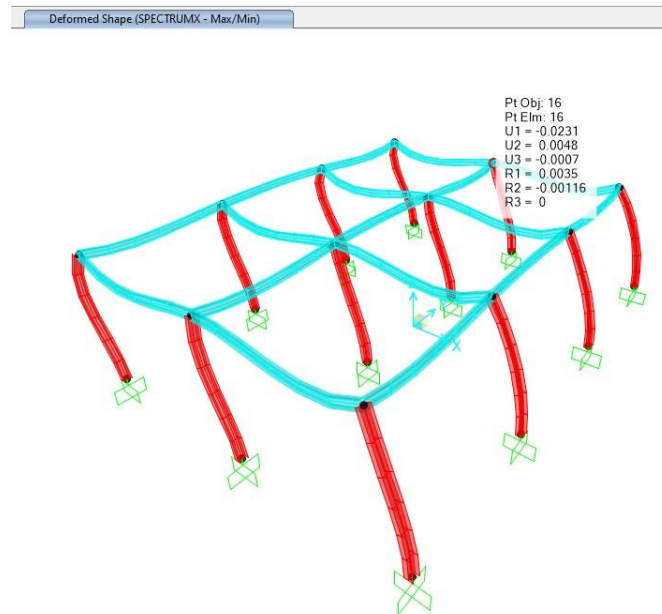


Σχήμα 5.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση τρίτης ιδιομορφής (mode 3) του χωρικού πλαισίου.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι μετατοπίσεις του χωρικού πλαισίου στους μεσαίους κόμβους κορυφής των δύο ακραίων τρίστυλων πλασίων, για κύρια σεισμική δράση κατά τη διεύθυνση x (Σχήμα 5.5, 5.6). Προφανώς, λόγω της συμμετρίας του φορέα, οι κατά x μετατοπίσεις προκύπτουν ίσες και στα δύο εξεταζόμενα πλαίσια.

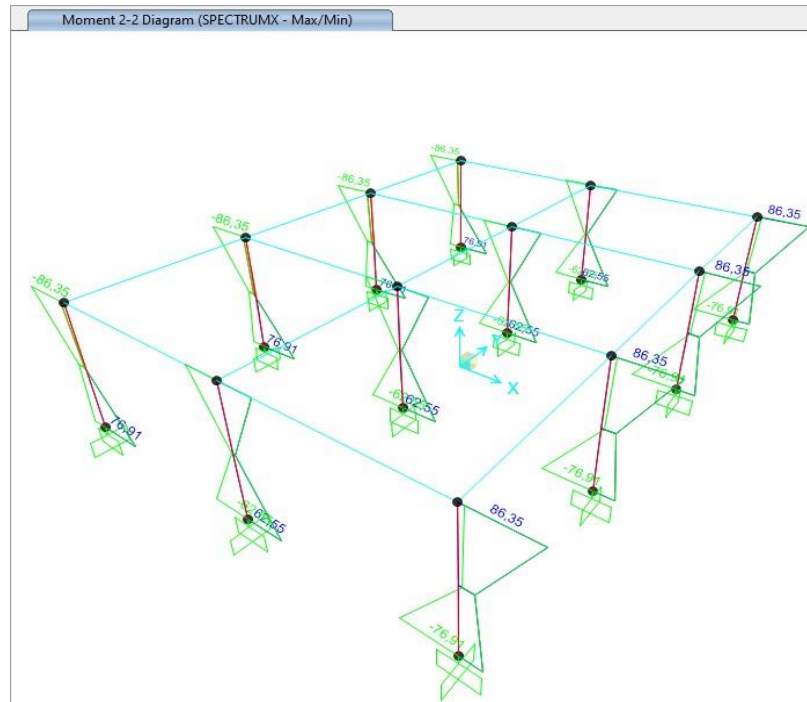


Σχήμα 5.5 Τρισδιάστατη απεικόνιση των μετατοπίσεων στον μεσαίο κόμβο κορυφής του ακραίου πλαισίου 1



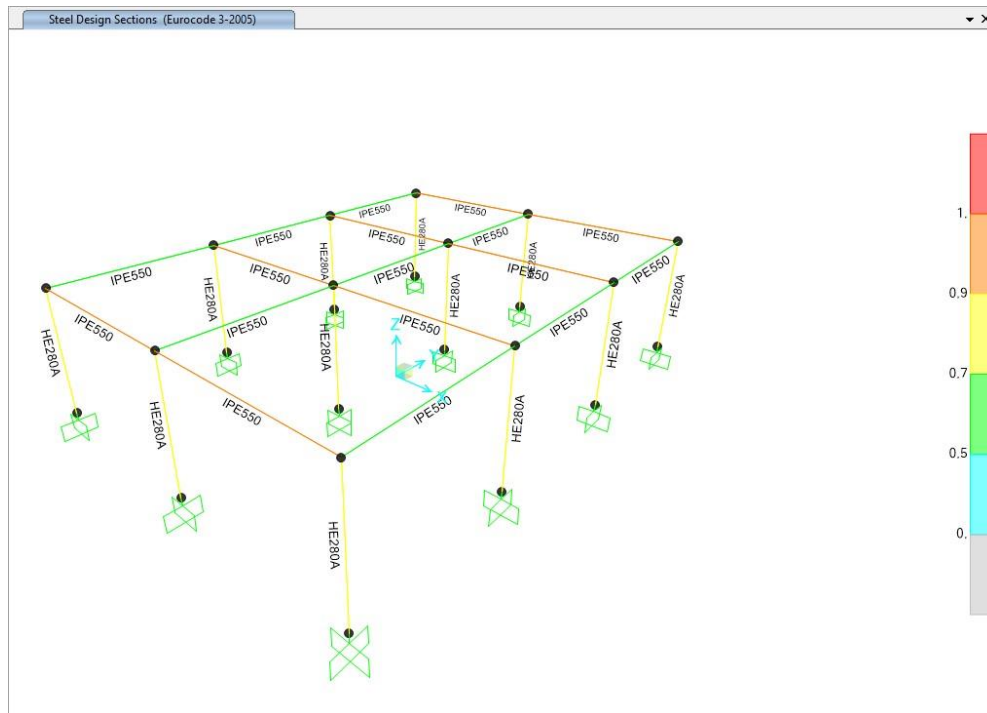
Σχήμα 5.6 Τρισδιάστατη απεικόνιση των μετατοπίσεων στον μεσαίο κόμβο κορυφής του ακραίου πλαισίου 4

Ακολουθως, παρουσιάζονται οι ροπές που αναπτύσσονται στις γωνιακές κολώνες των ακραίων πλαισίων της κατασκευής που προέκυψαν λόγω του ίδιου συνδυασμού φόρτισης. (Σχήμα 5.7). Λόγω συμμετρίας του φορέα και τα εντατικά μεγέθη σε συμμετρικά τοποθετημένα μέλη προκύπτουν ίσα.



Σχήμα 5.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση των κύριων ροπών κάμψης στις γωνιακές κολώνες του χωρικού πλαισίου.

Τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης του φορέα χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας συνοψίζονται στα Σχήματα 5.8 και 5.9. Παρατηρείται ότι για τα υποστυλώματα επιλέχθηκαν διατομές HEA 280. Οι λόγοι επάρκειας που εξασφαλίζονται με τις διατομές αυτές είναι μεγαλύτεροι από 0,70, όπως χαρακτηριστικά προκύπτει για ένα γωνιακό υποστύλωμα.



Σχήμα 5.8 Τρισδιάστατη απεικόνιση των αποτελεσμάτων της διαστασιολόγησης του χωρικού πλαισίου.

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID: 9
Design Code: Eurocode 3-2005
Analysis Section: HE280A
Design Section: HE280A

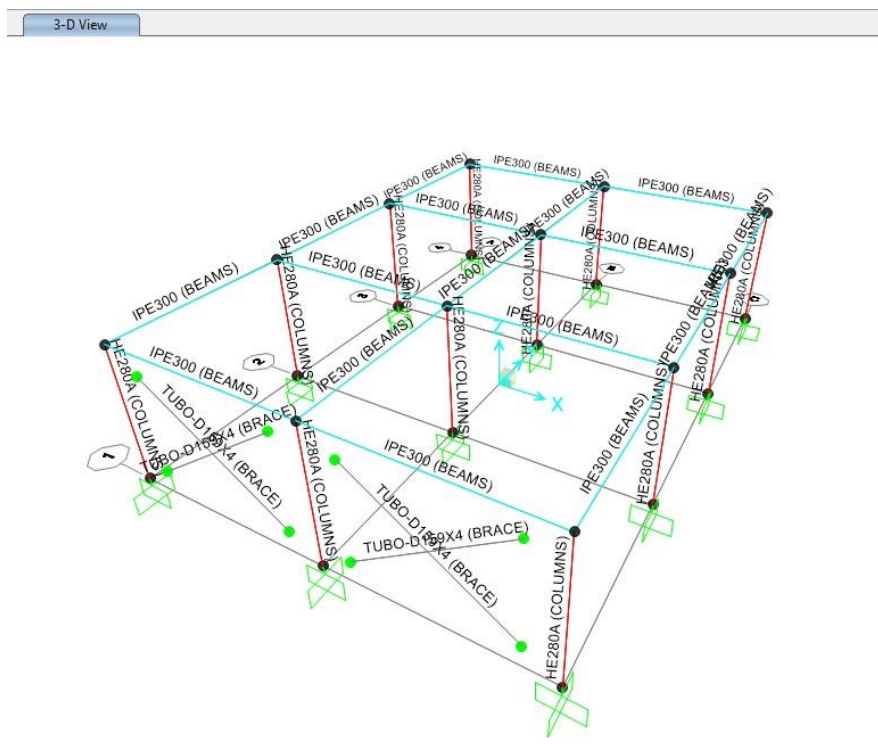
COMBO ID	STATION LOC	Ratio	MOMENT INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
1,35G+1,5	0	0,261 (C)	= 0,164 + 0,066 + 0,03	0,028	0,006
1,35G+1,5	2,25	0,367 (C)	= 0,162 + 0,143 + 0,061	0,028	0,006
1,35G+1,5	4,5	0,366 (C)	= 0,161 + 0,143 + 0,061	0,028	0,006
SPECTRUMX	0	0,771 (C)	= 0,107 + 0,184 + 0,481	0,042	0,026
SPECTRUMX	2,25	0,77 (C)	= 0,106 + 0,184 + 0,481	0,042	0,026
SPECTRUMX	4,5	0,769 (C)	= 0,105 + 0,184 + 0,481	0,042	0,026
SPECTRUMY	0	0,705 (C)	= 0,112 + 0,425 + 0,168	0,103	0,01

Buttons: Modify/Show Overwrites (Overwrites), Display Details for Selected Item (Summary, Flexure, Envelope), Display Complete Details (Tabular Data), Strength (selected), Deflection, OK, Cancel, Table Format File, Stylesheet: Default

Σχήμα 5.9 Λόγος στατικής επάρκειας γωνιακού υποστυλώματος

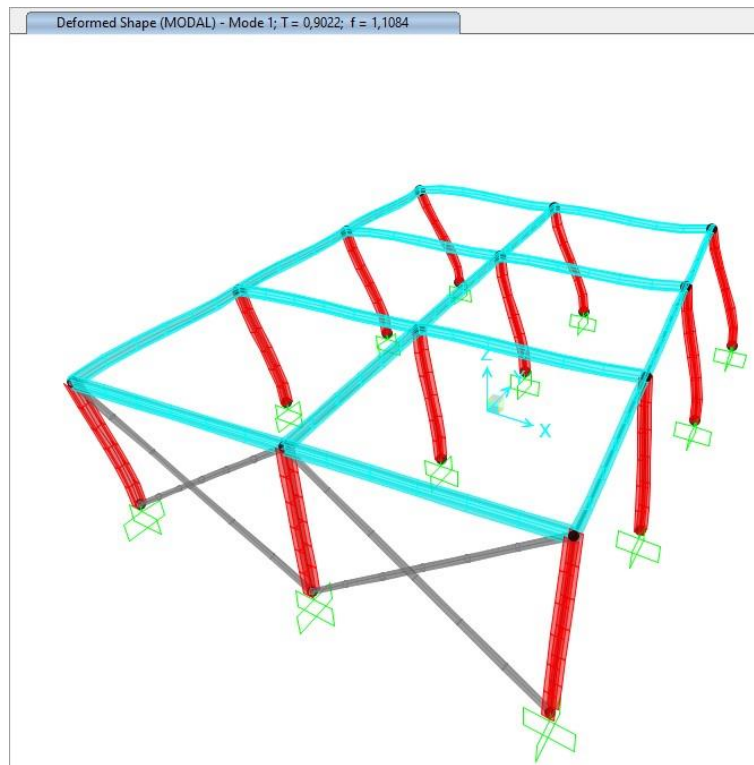
5.3. Περίπτωση 2 - Χωρικό πλαίσιο με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας

Σε αυτή τη περίπτωση μελετάται το χωρικό πλαίσιο με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας. Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας τοποθετούνται μόνο κατά τη διεύθυνση του άξονα x στο ακραίο πλαίσιο 1, ώστε να προκύψει η εκκεντρότητα. (Σχήμα 5.10)

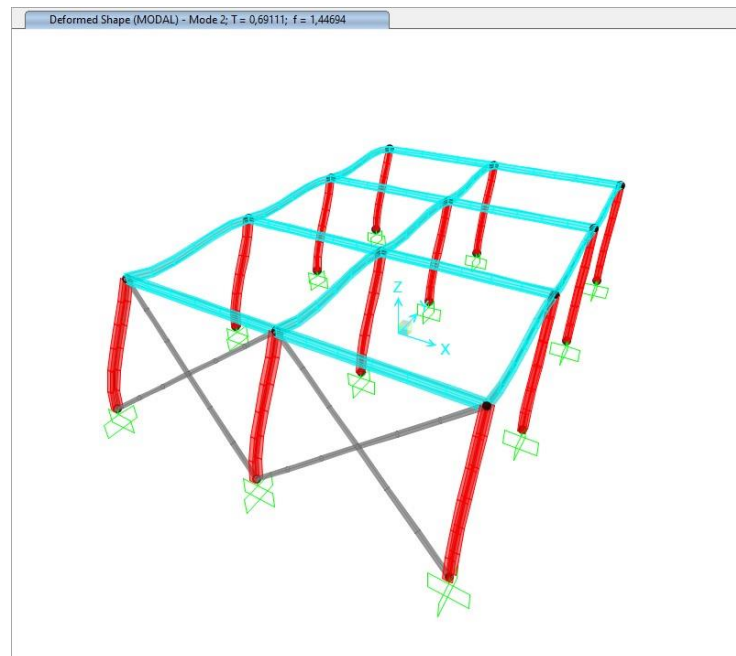


Σχήμα 5.10 Τρισδιάστατη μορφή χωρικού πλαισίου με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας.

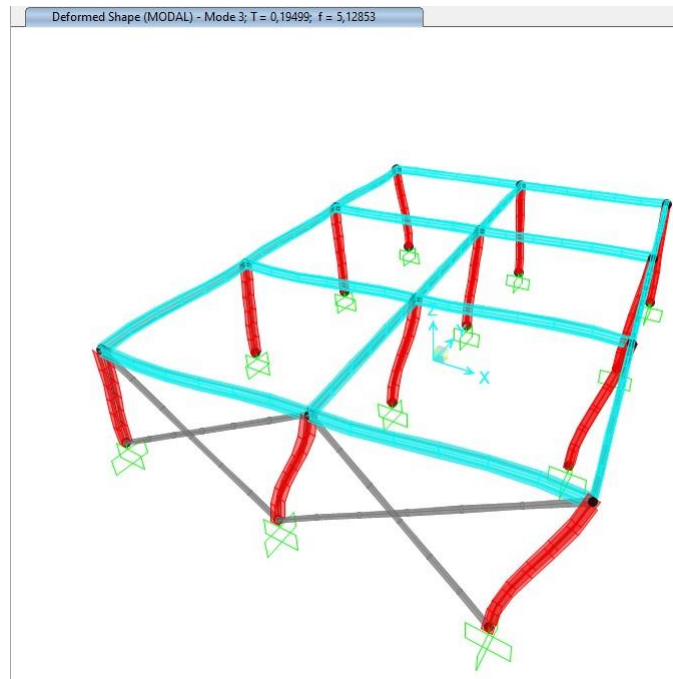
Από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης (Σχήμα 5.11, 5.12, 5.13) παρατηρείται ότι πλέον η πρώτη ιδιομορφή είναι μεταφορική κατά x και στρεπτική, η δεύτερη μεταφορική κατά y στροφική και η τρίτη στρεπτική και μεταφορική κατά x. Η αλλαγή της γεωμετρίας του φορέα οδήγησε σε σύζευξη μεταφορικών και στρεπτικών ταλαντώσεων. Η συμπεριφορά αυτή δεν είναι επιθυμητή. Οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι είναι Mode 1: $T = 0,9022$, Mode 2 : $T = 0,69111$, Mode 3: $T = 0,19499$.



Σχήμα 5.11 Τρισδιάστατη απεικόνιση πρώτης ιδιομορφής (mode 1) του χωρικού πλαισίου ΜΕ ΕΚΚΕΝΤΡΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΨΙΑΣ



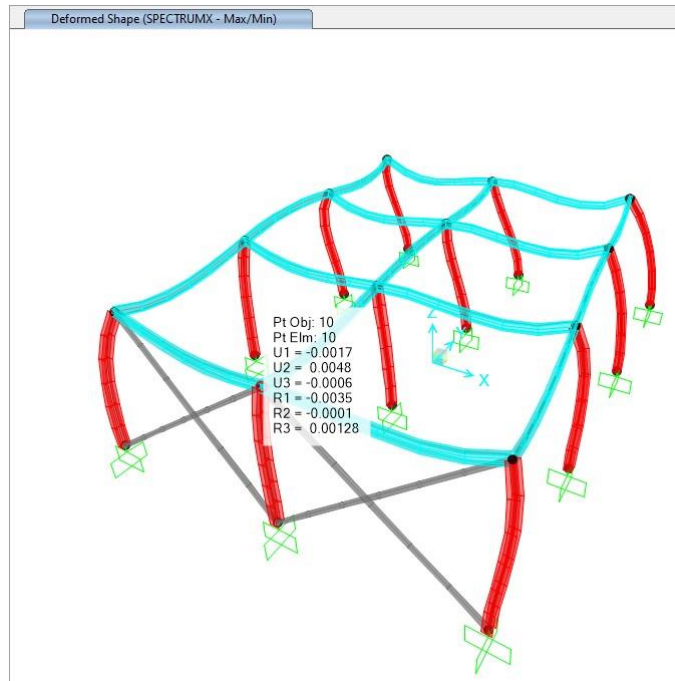
Σχήμα 5.12 Τρισδιάστατη απεικόνιση δεύτερης ιδιομορφής (mode 2) του χωρικού πλαισίου ΜΕ ΕΚΚΕΝΤΡΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΨΙΑΣ.



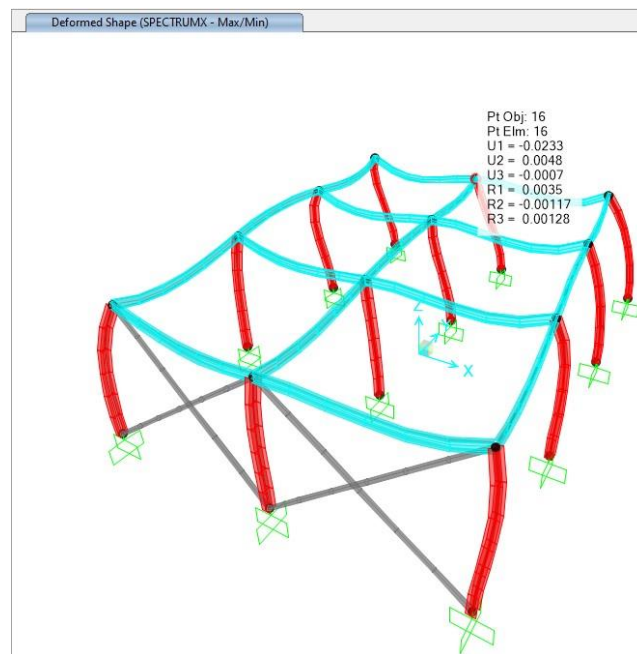
Σχήμα 5.13 Τρισδιάστατη απεικόνιση τρίτης ιδιομορφής (mode 3) του χωρικού πλαισίου ΜΕ ΕΚΚΕΝΤΡΟΥΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΔΥΣΚΑΨΙΑΣ.

Η ασύμμετρη τοποθέτηση των συνδέσμων δυσκαμψίας οδηγεί σε ανομοιόμορφη κατανομή των μετατοπίσεων σε κάτοψη. Για κύρια σεισμική δράση κατά τη διεύθυνση x , η οριζόντια μετατόπιση περιορίζεται σημαντικά στο πλαίσιο που τοποθετούνται οι σύνδεσμοι. Αντίθετα, προκύπτει αύξηση της μετατόπισης στο πλαίσιο 4, σε σχέση με τον αρχικό φορέα που μελετήθηκε (Σχήμα 5.14, 5.15).

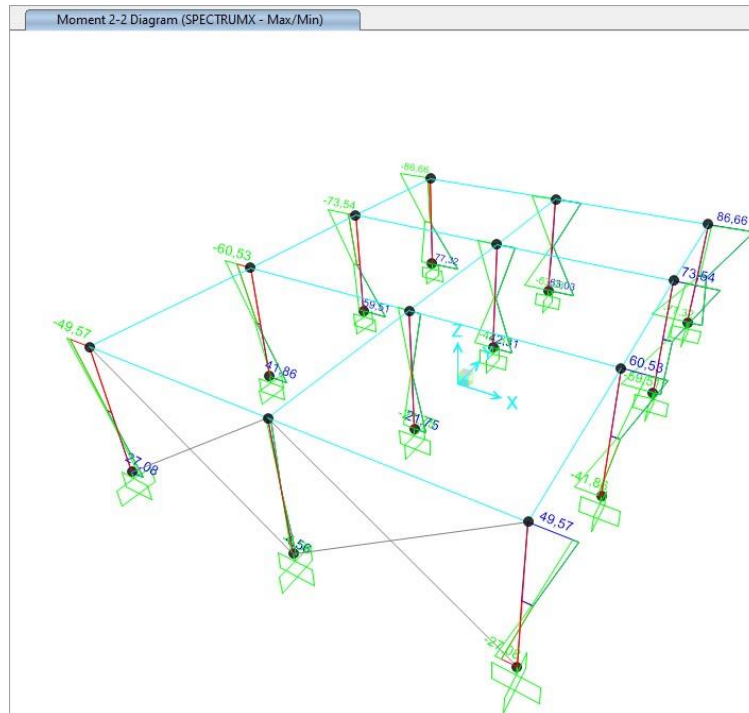
Αντίστοιχη είναι η εικόνα και των εντατικών μεγεθών. Ενδεικτικά παρατηρείται μείωση των ροπών κάμψης στα γωνιακά υποστυλώματα του πλαισίου 1, ενώ σε αυτά του πλαισίου 4 τα εντατικά μεγέθη αυξάνονται. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην επιρροή της στρέψης που παρατηρήθηκε και στην ιδιομορφική ανάλυση (Σχήμα 5.16).



Σχήμα 5.14 Τρισδιάστατη απεικόνιση των μετατοπίσεων στον μεσαίο κόμβο κορυφής του ακραίου πλαισίου 1 της κατασκευής με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας.

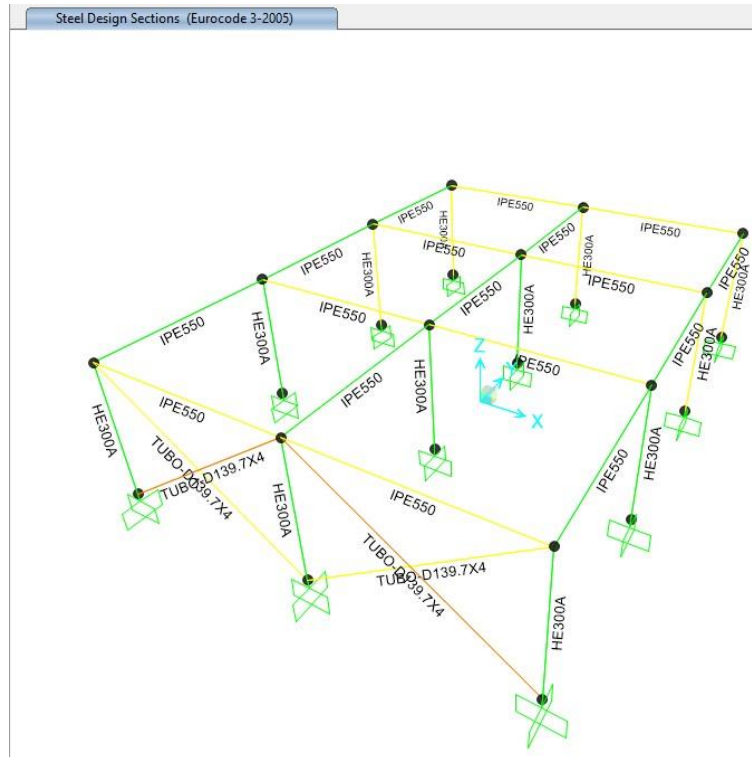


Σχήμα 5.15 Τρισδιάστατη απεικόνιση των μετατοπίσεων στον μεσαίο κόμβο κορυφής του ακραίου πλαισίου 4 της κατασκευής με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας.



Σχήμα 5.16 Τρισδιάστατη απεικόνιση των κύριων ροπών κάμψης στις γωνιακές κολώνες του πλαισίου με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις μεταφέρονται και στην διαστασιολόγηση. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι για να καλυφθούν οι απαιτήσεις του κανονισμού απαιτείται η χρήση μεγαλύτερων διατομών για τα υποστυλώματα σε σχέση με την αρχική διαμόρφωση. (Σχήμα 5.17). Οι λόγοι επάρκειας των διατομών προκύπτουν αντίστοιχοι με την πρώτη περίπτωση που ελέγχθηκε (Σχήμα 5.18).



Σχήμα 5.17 Τρισδιάστατη απεικόνιση των αποτελεσμάτων της διαστασιολόγησης του πλαισίου με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας.

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID: 9 Analysis Section: HE280A
 Design Code: Eurocode 3-2005 Design Section: HE300A

COMBO ID	STATION LOC	---MOMENT INTERACTION CHECK---	---MAJ-SHR---	---MIN-SHR---
		RATIO = AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
1,35G+1,5	0,	0,408 (C) = 0,152 + 0,149 + 0,108	0,065	0,021
1,35G+1,5	2,25	0,688 (C) = 0,151 + 0,32 + 0,217	0,065	0,021
1,35G+1,5	4,5	0,687 (C) = 0,149 + 0,32 + 0,217	0,065	0,021
SPECTRUMX	0,	0,498 (C) = 0,115 + 0,314 + 0,069	0,082	0,013
SPECTRUMX	2,25	0,569 (C) = 0,114 + 0,314 + 0,141	0,082	0,013
SPECTRUMX	4,5	0,568 (C) = 0,113 + 0,314 + 0,141	0,082	0,013
SPECTRUMY	0,	0,561 (C) = 0,102 + 0,397 + 0,062	0,1	0,012

Modify/Show Overwrites: Overwrites

Display Details for Selected Item: Summary, Flexure, Envelope

Display Complete Details: Tabular Data

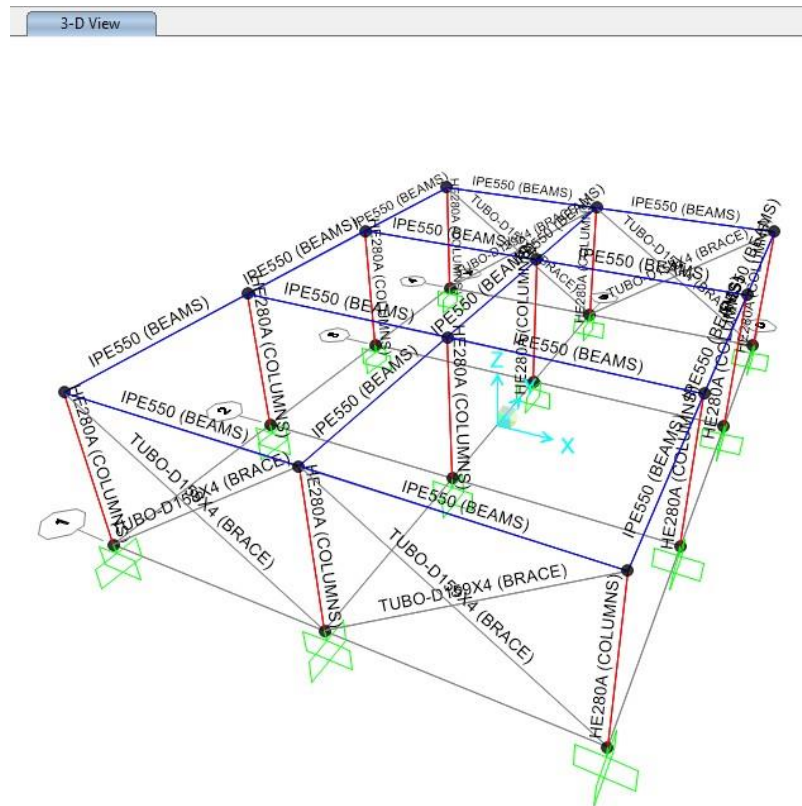
Strength Deflection

OK Cancel Table Format File

Σχήμα 5.18 Λόγος επάρκειας γωνιακού υποστυλώματος στο πλαίσιο με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας .

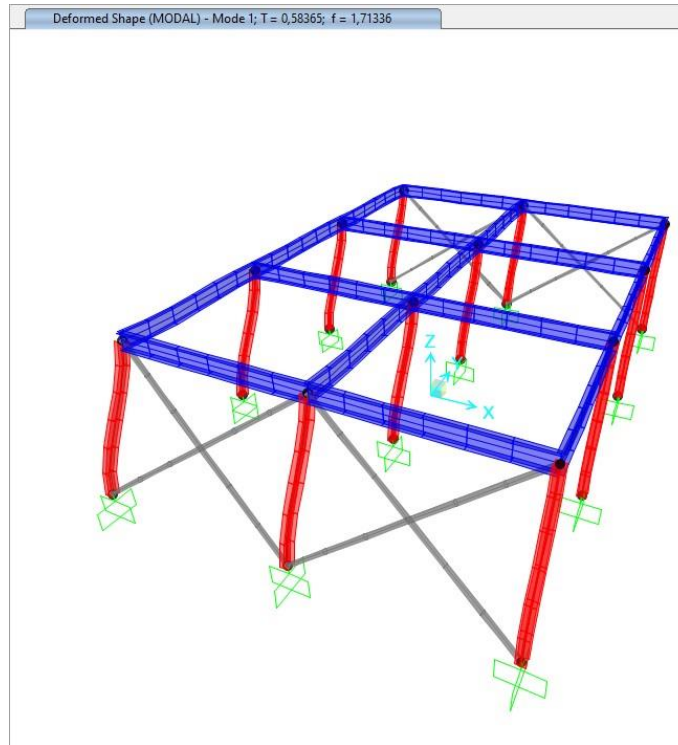
5.4. Περίπτωση 3 – Χωρικό πλαίσιο με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας

Η τρίτη διαμόρφωση που εξετάστηκε αφορά το πλαίσιο με συμμετρικά τοποθετημένους συνδέσμους δυσκαμψίας. Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας τοποθετούνται μόνο κατά τη διεύθυνση του άξονα x στα ακραία πλαίσια 1 και 4, ώστε να διατηρηθεί η συμμετρία του φορέα (Σχήμα 5.19).

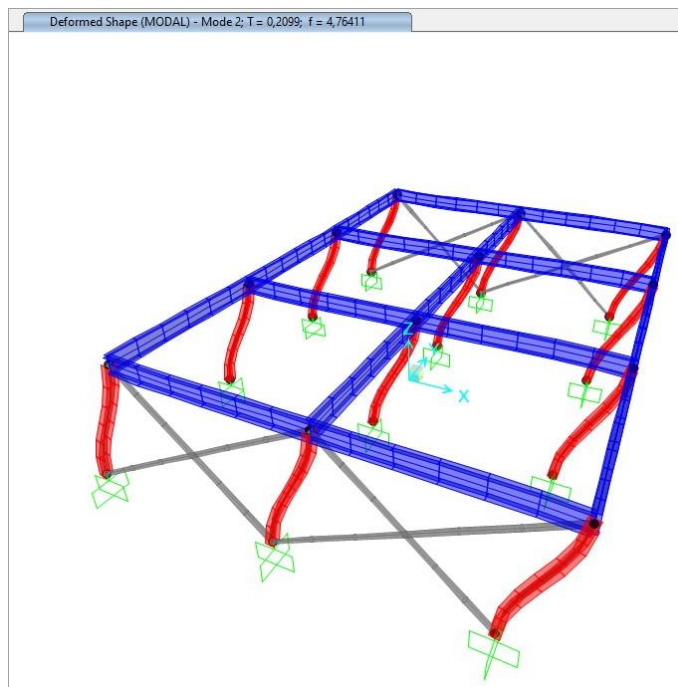


Σχήμα 5.19 Τρισδιάστατη μορφή χωρικού πλαισίου με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.

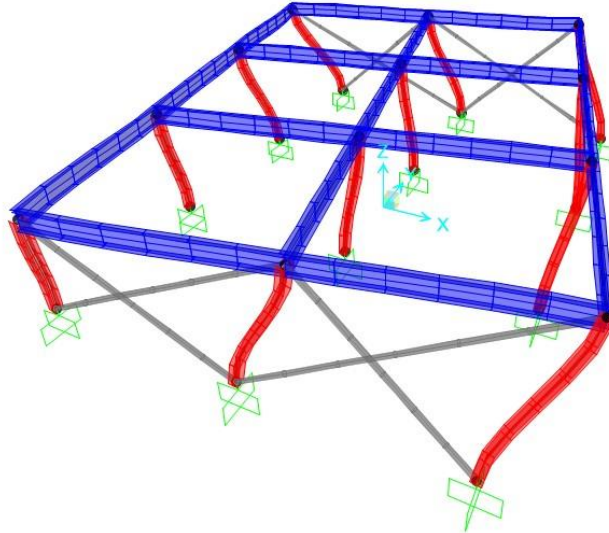
Από τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης (Σχήμα 5.20, 5.21, 5.22) παρατηρείται ότι στην περίπτωση αυτή η πρώτη ιδιομορφή είναι μεταφορική κατά y, η δεύτερη μεταφορική κατά x και η τρίτη στρεπτική. Η αποκατάσταση της συμμετρίας του φορέα οδηγεί σε αποσύζευξη των μεταφορικών και στρεπτικών ταλαντώσεων και επιθυμητή συμπεριφορά. Οι αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι είναι Mode 1: $T = 0,58365$, Mode 2 : $T = 0,2099$, Mode 3: $T = 0,18398$.



Σχήμα 5.20 Τρισδιάστατη απεικόνιση πρώτης ιδιομορφής (mode 1) του πλαισίου με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.



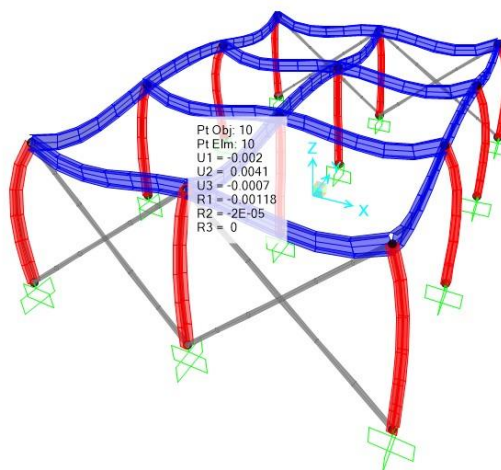
Σχήμα 5.21 Τρισδιάστατη απεικόνιση δεύτερης ιδιομορφής (mode 2) του πλαισίου με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.



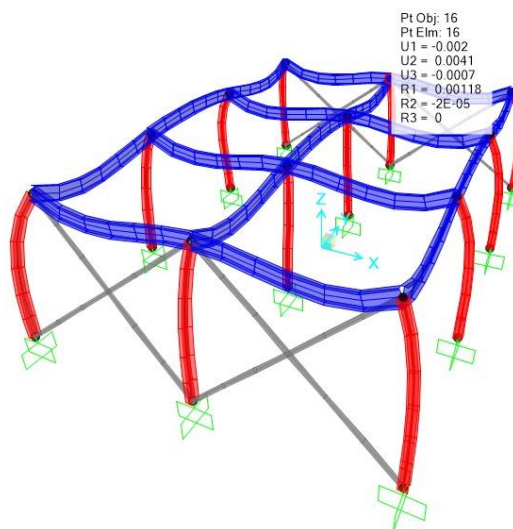
Σχήμα 5.22 Τρισδιάστατη απεικόνιση τρίτης ιδιομορφής (mode 3) του πλαισίου με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.

Η σημαντική ενίσχυση του πλαισίου με την προσθήκη των συνδέσμων δυσκαμψίας περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις οριζόντιες σεισμικές μετατοπίσεις κατά τη διεύθυνση των συνδέσμων. Η συμμετρική τοποθέτησή τους οδηγεί σε ομοιόμορφη κατανομή των μετατοπίσεων σε κάτοψη, χωρίς να προκαλείται στρέψη του φορέα (Σχήμα 5.23, 5.24).

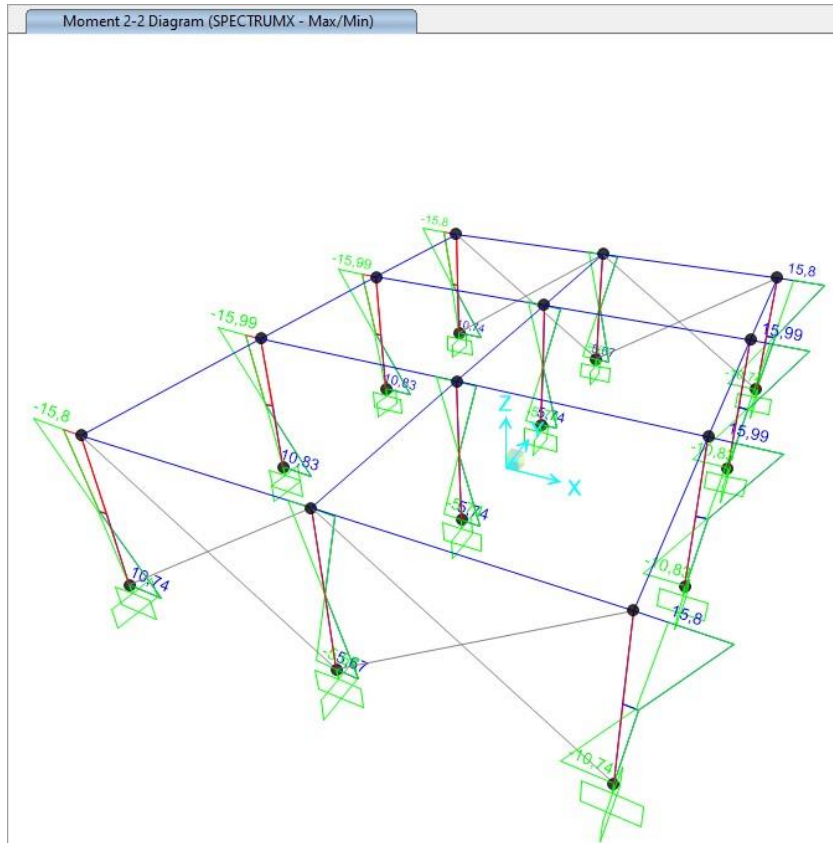
Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας αναλαμβάνουν σημαντικό μέρος της σεισμικής έντασης. Αυτό οδηγεί στη μείωση των εντατικών μεγεθών στα υποστυλώματα. Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά (Σχήμα 5.25), σε όλα τα υποστυλώματα προκύπτουν σημαντικά μειωμένες τιμές της καμπτικής ροπής, οι οποίες είναι περίπου ίσες για όλα τα στοιχεία, καθώς οφείλονται κυρίως στα κατακόρυφα φορτία.



Σχήμα 5.23 Τρισδιάστατη απεικόνιση των μετατοπίσεων στον μεσαίο κόμβο κορυφής του ακραίου πλαισίου 1 της κατασκευής με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.

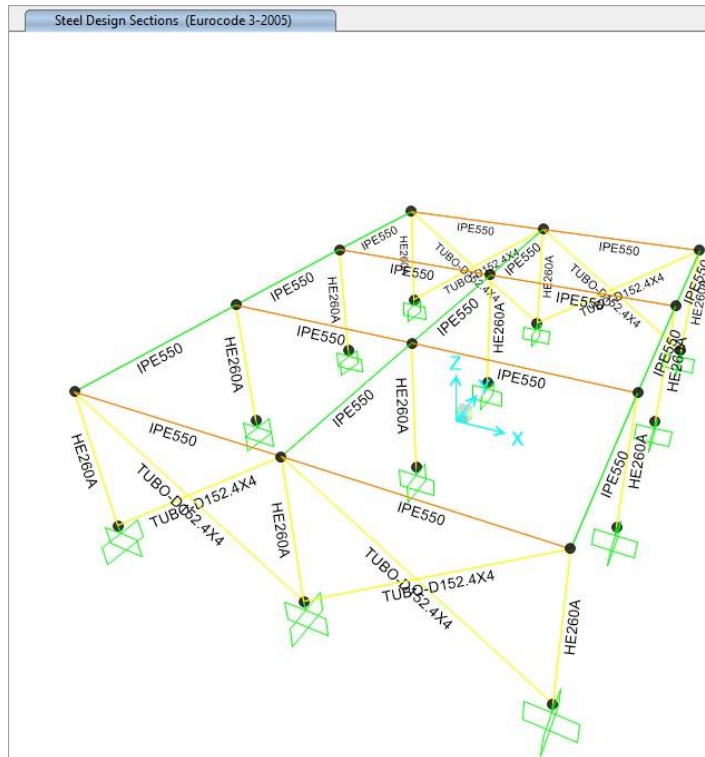


Σχήμα 5.24 Τρισδιάστατη απεικόνιση των μετατοπίσεων στον μεσαίο κόμβο κορυφής του ακραίου πλαισίου 4 της κατασκευής με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.



Σχήμα 5.25 Τρισδιάστατη απεικόνιση των κύριων ροπών κάμψης στις γωνιακές κολώνες του πλαισίου με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.

Η μείωση των απαιτήσεων εξαιτίας της λειτουργίας των διαγώνιων συνδέσμων επιτρέπει την επιλογή μικρότερων διατομών για τα υποστυλώματα σε σχέση με τις άλλες λύσεις που εξετάστηκαν (Σχήμα 5.26). Αν και οι διατομές είναι μικρότερες, οι λόγοι επάρκειας προκύπτουν αντίστοιχοι με αυτούς που υπολογίστηκαν στις προηγούμενες περιπτώσεις (Σχήμα 5.27). Μπορεί δηλαδή να ειπωθεί ότι η συμμετρική διάταξη συνδέσμων δυσκαμψίας αντιπροσωπεύει την καλύτερη επιλογή για την αντισεισμική συμπεριφορά του φορέα.



Σχήμα 5.26 Τρισδιάστατη απεικόνιση των αποτελεσμάτων της διαστασιολόγησης του πλαισίου με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας.

Steel Stress Check Information (Eurocode 3-2005)

Frame ID: 9 Analysis Section: HE280A
 Design Code: Eurocode 3-2005 Design Section: HE280A

COMBO ID	STATION LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK = AXL + B-MAJ + B-MIN	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
1,35G+1,5	2,25	0,433 (C)	= 0,186 + 0,173 + 0,074	0,031	0,006
1,35G+1,5	4,5	0,432 (C)	= 0,184 + 0,173 + 0,074	0,031	0,006
SPECTRUMX	0,	0,47 (C)	= 0,153 + 0,226 + 0,091	0,046	0,006
SPECTRUMX	2,25	0,469 (C)	= 0,151 + 0,226 + 0,091	0,046	0,006
SPECTRUMX	4,5	0,468 (C)	= 0,15 + 0,227 + 0,091	0,046	0,006
SPECTRUMY	0,	0,687 (C)	= 0,137 + 0,523 + 0,026	0,114	0,004
SPECTRUMY	2,25	0,715 (C)	= 0,136 + 0,523 + 0,056	0,114	0,004

Modify/Show Overwrites: Overwrites

Display Details for Selected Item: Summary Flexure Envelope

Display Complete Details: Tabular Data

Strength Deflection

OK Cancel

Stylesheet: Default Table Format File

Σχήμα 5.27 Λόγος επάρκειας γωνιακού υποστυλώματος στο πλαίσιο με συμμετρικούς συνδέσμους δυσκαμψίας .

6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή συνοψίζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας συνολικά. Αναλύονται οι τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν για τη διαμόρφωση του χωρικού πλαισίου και εντοπίζονται διαφορές που οδηγούν σε ανάλογα συμπεράσματα.

Αναλύοντας την πρώτη περίπτωση η οποία αφορά το απλό χωρικό πλαίσιο (χωρίς συνδέσμους δυσκαμψίας) και έπειτα από την παραπάνω λεπτομερή παρουσίαση των αποτελεσμάτων, παρατηρούμε ότι:

- οι ιδιομορφές φανερώνουν ότι οι μεταφορικές και στρεπτικές ταλαντώσεις λόγω σεισμού δεν αλληλοεπηρεάζονται,
- οι μετατοπίσεις στους κόμβους των ακραίων πλαισίων είναι ίσες σε όλες τις διευθύνσεις, γεγονός αναμενόμενο καθώς η κατασκευή είναι συμμετρική,
- οι ελάχιστες και μέγιστες ροπές για οριζόντια δράση κατά τον άξονα x είναι επίσης ίσες για τα γωνιακά υποστυλώματα, κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο επίσης για λόγους συμμετρίας.

Αν και το πρόγραμμα αυτόματα υπολογίζει τις απαραίτητες διατομές ώστε η κατασκευή να μην αστοχήσει, αυτό δεν σημαίνει ότι οι τελικές επιλογές των διατομών αυτών είναι και οι βέλτιστες δυνατές. Κατά την διαστασιολόγηση της κατασκευής επιλέχθηκαν από το πρόγραμμα οι διατομές HE 280A για τα υποστυλώματα και IPE 550 για τις δοκούς. Ο μέγιστος λόγος επάρκειας για το σεισμικό συνδυασμό φορτίσεων με κύρια σεισμική δράση κατά τη διεύθυνση x είναι 0,635. Η τιμή κρίνεται αποδεκτή μιας και το όριο του λόγου αυτού δεν πρέπει να ξεπερνάει την μονάδα

Η πρώτη εναλλακτική περίπτωση που εξετάστηκε αφορά την τοποθέτηση συνδέσμων δυσκαμψίας κατά τη διεύθυνση x με έκκεντρη διάταξη.

Κατά την ανάλυση μέσω παρατηρήθηκαν διαφορές σε μια σειρά αποτελέσματα σε σχέση με τη πρώτη περίπτωση του απλού χωρικού πλαισίου.

Πιο συγκεκριμένα:

- Για τις μετατοπίσεις παρατηρούμε ότι στην πλευρά όπου και τοποθετήθηκαν οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, η μετατόπιση κατά τον άξονα x ($U1$) μειώθηκε κατά σχεδόν δύο

εκατοστά (0.0017 m σε σύγκριση με τα 0.023 m) της πρώτης περίπτωσης όπου δεν υπάρχουν σύνδεσμοι δυσκαμψίας.

- Για τις ελάχιστες και μέγιστες ροπές των υποστυλωμάτων των ακραίων πλαισίων παρατηρούμε ότι σε σύγκριση με την πρώτη περίπτωση όπου οι τιμές στα ακραία γωνιακά υποστυλώματα ήταν +86,35 kN/m και -76,91 kN/m (κορυφή και βάση) συμμετρικά κατανεμημένες, στη δεύτερη περίπτωση αυτές διαφοροποιούνται σημαντικά. Στα γωνιακά υποστυλώματα στο νότιο τμήμα της κατασκευής όπου και έχουν προστεθεί οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, μειώθηκαν σε +49,57 kN/m και -27,08 kN/m. Ενώ τα ακραία γωνιακά υποστυλώματα στο άλλο ακραίο πλαίσιο παρουσίασαν μια μικρή αύξηση σε +86,66 kN/m και -73,54 kN/m αντίστοιχα, φαινόμενο που οφείλεται στην έκκεντρη τοποθέτηση των συνδέσμων δυσκαμψίας και στη στρεπτική απόκριση που δημιουργεί.
- Ο κρίσιμος λόγος επάρκειας για τον ίδιο σεισμικό συνδυασμό φορτίσεων είναι 0,474. Η τιμή κρίνεται αποδεκτή μιας και το όριο του λόγου αυτού δεν πρέπει να ξεπερνάει την μονάδα. Κατά την διαστασιολόγηση της κατασκευής επιλέχθηκαν από το πρόγραμμα οι διατομές HE 300A για τα υποστυλώματα και IPE 550 για τις δοκούς. Συγκρίνοντας το με το απλό χωρικό πλαίσιο παρατηρούμε ότι οι διατομές των υποστυλωμάτων αυξήθηκαν ώστε να καλυφθούν οι αντισεισμικές απαιτήσεις..

Τέλος, εξετάστηκε η τρίτη περίπτωση στην οποία προστίθενται σύνδεσμοι δυσκαμψίας συμμετρικά. Η διάταξη αυτή μελετήθηκε αφού παρατηρήθηκε ότι αν και με την αρχική προσθήκη των έκκεντρων συνδέσμων μειώθηκαν οι μετατοπίσεις οι ροπές και ο λόγος επάρκειας στο ένα εξωτερικό πλαίσιο, στο απέναντί του οι προαναφερθείσες τιμές αυξήθηκαν. Επίσης οι διατομές των υποστυλωμάτων συνολικά σε ολόκληρη την κατασκευή αυξήθηκαν και αυτές.

Κατά την ανάλυση της τελευταίας αυτής διαμόρφωσης προκύπτουν διαφορές σε μια σειρά αποτελέσματα σε σχέση τόσο με τη πρώτη όσο και με τη δεύτερη περίπτωση που εξετάστηκε.

Πιο συγκεκριμένα:

- Για τις μετατοπίσεις παρατηρούμε ότι στα ακραία εξωτερικά πλαίσιο όπου και τοποθετήθηκαν οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, οι οριζόντια μετατόπιση στη διεύθυνση των συνδέσμων, U1, μειώθηκε στο ελάχιστο σε σύγκριση και με τις δύο άλλες περιπτώσεις με (τιμή 0.002 m). Το ίδιο παρατηρείται και στους υπόλοιπους κόμβους.
- Για τις ελάχιστες και μέγιστες ροπές των υποστυλωμάτων παρατηρούμε ότι σε σύγκριση με την πρώτη και την δεύτερη περίπτωση μειώνονται σημαντικά με τιμές +15,80 kN/m και - 10,74 kN/m για τα γωνιακά υποστυλώματα. Παρατηρείται επίσης ομοιόμορφη κατανομή των εντατικών μεγεθών στα κατακόρυφα στοιχεία.
- Ο κρίσιμος λόγος επάρκειας για σεισμικό συνδυασμό φορτίσεων με κύρια σεισμική δράση κατά τη διεύθυνση του x άξονα σε αυτή τη περίπτωση είναι 0,318. Η τιμή κρίνεται

αποδεκτή μιας και το όριο του λόγου αυτού δεν πρέπει να ξεπερνάει την μονάδα και είναι η ασφαλέστερη τιμή και των τριών περιπτώσεων. Σημαντικό είναι επίσης ότι κατά την διαστασιολόγηση της κατασκευής επιλέχθηκαν από το πρόγραμμα οι διατομές HE 260A για τα υποστυλώματα και IPE 550 για τις δοκούς. Συγκρίνοντας το με το απλό χωρικό πλαίσιο και με το πλαίσιο με τους έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας παρατηρούμε ότι οι διατομές των υποστυλωμάτων μειώθηκαν σημαντικά.

6.2. Σύντομα συμπεράσματα

- Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσαμε την σημασία της τοποθέτησης των συνδέσμων δυσκαμψίας ώστε να βελτιστοποιηθεί η αντισεισμική συμπεριφορά ενός χωρικού πλαισίου.
- Ωστόσο, από τις τιμές των παραμέτρων απόκρισης που μελετήθηκαν συμπεραίνουμε ότι δεν αρκεί μόνο να τοποθετηθούν σύνδεσμοι δυσκαμψίας. Ο τρόπος τοποθέτησης των συνδέσμων στον χώρο και η διάταξή τους είναι εξίσου σημαντική. Δεν αρκεί δηλαδή να τοποθετηθούν τυχαία στα ανοίγματα μεταξύ υποστυλωμάτων και δοκών, αλλά θα πρέπει να αξιολογηθεί και η γεωμετρία, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα που δεν είναι άλλο παρά ο βέλτιστος σχεδιασμός και η βέλτιστη διαστασιολόγηση της κατασκευής.
- Τα σύγχρονα λογισμικά ανάλυσης κατασκευών με πεπερασμένα στοιχεία, όπως το SAP2000 που χρησιμοποιήθηκε, παρέχουν εξαιρετικές δυνατότητες για τη προσομοίωση μεγάλης γκάμας δομημάτων, συμπεριλαμβανομένων γεφυρών, φραγμάτων, δεξαμενών και κτιρίων. Το γραφικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα ταχύτατης παραγωγής προσομοιωτών. Η δημιουργία και η τροποποίηση αυτών, η εκτέλεση της ανάλυσης, η ανάγνωση των αποτελεσμάτων, και βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης είναι όλα αλληλένδετα στο ίδιο περιβάλλον χρήσης και γίνονται με ευκολία. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα δοκιμής πολλών διαφορετικών λύσεων ώστε να βρεθεί η βέλτιστη.
- Τέλος, είναι ιδιαίτερα σημαντική η ορθή κρίση και η γνώση του μηχανικού για όλα τα αντικείμενα που εξετάζονται. Όπως είδαμε στις προσομοιώσεις που εξετάστηκαν, τα λογισμικά δίνουν πάντα λύσεις. Ωστόσο, είναι ο μηχανικός αυτός που αξιολογεί τις λύσεις και ως προς την ορθότητά τους και ως προς τις δυνατότητες βελτιστοποίησης, που οδηγεί στο καλύτερο αποτέλεσμα, τόσο από τεχνική όσο και από οικονομική σκοπιά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2^η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος Αθήνα.

Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (1999). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3. Τόμος II». Εκδόσεις Κλειδάριθμος Αθήνα.

Γκολγκάκης Ν. (2015). «Σχεδίαση- μελέτη μεταλλικού κτιρίου βιομηχανικής χρήσης», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας

Ιωάννου Δ. (2013). «Μελέτη διάβρωσης οικοδομικού χάλυβα και βελτίωση δομικής ακεραιότητας κυπριακών κτηρίων», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Κοντονη Δ. – Π. (2015). Σημειώσεις μαθήματος Ανάλυση Κατασκευών με Η/Υ, «Παράδειγμα Διακριτοποίησης και Ανάλυσης Επιπέδου Πλαισίου στο SAP2000», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.

Τσαγκαροπούλου Μ. – Κ. και Τζιβέρη Μ. (2017). «Σχεδιασμός μεταλλικών κατασκευών σύμφωνα με τον ευρωκώδικα 3», Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Τ.Ε.Ι. Πειραιά.

CEN (2005). EN1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel structures, Part1-1: General structural rules, Brussels.

CEN (2004). EN1998-1, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels.

CEN (2001). EN1990:2001 E., Eurocode 0: Basis of structural design, Brussels.

CEN (2002). EN1991-1-1, Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-1: General actions-Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels.

Computers and Structures Inc. SAP2000 Structural Analysis Program, Educational Version, Berkeley, California.

Computers and Structures Inc. CSI Analysis Reference Manual for SAP200, Berkeley, California.

Διαδίκτυο:

ΧΑΛΥΒΑΣ: Ιστορία, παραγωγή και ποιότητες χάλυβα. <https://el.wikipedia.org/wiki/Χάλυβας>

Φωτογραφικό υλικό:

<https://el.wikipedia.org/wiki/Χάλυβας>

<https://gr.pinterest.com/pin/373376625353408898/>

https://www.researchgate.net/figure/Crystal-Palace-London-1851-Sir-Joseph-Paxton-Interior-of-Great-Exhibit-Hall_fig1_30871099

<https://www.history.com/news/world-trade-center-stairwell-design-9-11>

<https://www.sidiros-arta.gr/>