

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ**
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



**ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ
ΦΟΡΕΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΟΤΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΓΕΙΡΟΥ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Παραμετρικός Σχεδιασμός Μεταλλικού Φορέα

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΓΕΙΡΟΥ (Επιβλέπων)	
2	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ (Επιβλέπων)	
3	ΙΣΑΑΚ ΒΡΥΖΙΔΗΣ (Εξεταστής)	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Γεωργία Κοτίνη του Σάββα, με αριθμό μητρώου 445232017112 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕ ΘΕΜΑ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΦΟΡΕΑ
ΚΟΤΙΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΑΓΕΙΡΟΥ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως αντικείμενο τον παραμετρικό σχεδιασμό μεταλλικού φορέα. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τέσσερις περιπτώσεις μεταλλικών φορέων με διαφορετική γεωμετρία ως προς το ύψος και τα ανοίγματα, σύμφωνα με τις κανονιστικές διατάξεις και τα πρότυπα των Ευρωπαϊκών Κανονισμών 3 και 8. Η ανάλυση τόσο η ελαστική όσο και η ανελαστική έγινε με χρήση κατάλληλου λογισμικού προγράμματος (Fespa), που αναπτύσσει η εταιρεία LH Λογισμική. Πραγματοποιήθηκε αρχικά η ανάλυση και διαστασιολόγηση των τεσσάρων διαφορετικών φορέων. Έπειτα ακολούθησε αποτίμηση ικανότητας σεισμικής συμπεριφοράς των φορέων, μέσω ανελαστικών αναλύσεων, με τη μέθοδο pushover, προκειμένου να μελετηθούν οι φορείς υπό «ρεαλιστικές» συνθήκες σεισμικής διέγερσης. Από τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας που προέκυψαν, για κάθε μία από τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας, πραγματοποιήθηκε η σύγκριση μεταξύ των τεσσάρων φορέων, που μελετήθηκαν. Τελικά παρήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των φορέων έναντι αντοχής, ασφάλειας και οικονομίας (κατασκευής).

**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

**DIPLOMA THESIS
PARAMETRIC DESIGN OF STEEL STRUCTURE
KOTINI GEORGIA
SUPERVISORS: GEORGE MAGEIROY, KONSTANTINOS REPAPIS**

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to address the parametric design of steel structure. Specifically, four distinct steel structures were studied in terms of geometry, height and openings, in accordance with the regulations and standards of Structural Eurocodes 3 and 8. The elastic and inelastic static analysis of the different structures were implemented by using Fespa (LH Λογισμική, 2018), a structural engineering software specific for analysis and design of earthquake resistant buildings. Firstly, a thorough analysis and dimensioning of the individual steel structures was performed. This was followed by an assessment of the seismic behavior of the structures, through static-nonlinear analysis, using the pushover method, which allows us to study every individual steel structure in “realistic conditions” of seismic excitation. Then, the pushover analysis results for each of the three performance levels, which were visualized using the Acceleration Displacement Response Spectrum (ADRS) diagram, were compared among the four distinct steel structures. Finally, the conclusions were based on the behavior of the different steel structures in relation to the durability, safety and economy of the construction.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, κλείνει ένας ακόμη κύκλος της πορείας μου, δύσκολος και επίπονος αλλά ταυτόχρονα ιδιαίτερα ενδιαφέρον, που μου απέδειξε πως όταν θέτουμε στόχους με επιμονή και υπομονή, τελικά τους κατακτούμε. Σε αυτό το σημείο λοιπόν, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου πρώτα από όλα στους επιβλέποντες καθηγητές μου κ. Κωνσταντίνο Ρεπαπή και κ. Γεώργιο Μαγείρου για την εμπιστοσύνη που επέδειξαν προς το πρόσωπό μου και δέχτηκαν να με καθοδηγήσουν στο λιμάνι της γνώσης, που ορίζει και το τέλος αυτού του ταξιδιού. Όλο αυτό το διάστημα της συνεργασίας μας ήταν πολύτιμη η παρουσία τους, μέσα από τις αξιοσημείωτες παρατηρήσεις, επισημάνσεις και συμβουλές τους. Σε δεύτερο επίπεδο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες καθηγητές της σχολής, οι οποίοι έθεσαν από ένα λιθαράκι προκειμένου να «ενισχύσω» τα θεμέλια του γνωσιακού μου υποβάθρου. Σίγουρα δε θέλω να ξεχάσω να δώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ, στην Κατερίνα και στο Γιώργο για την υπομονή τους, για το χρόνο που στερήθηκαν την παρουσία μου. Και τέλος φυσικά χρωστάω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου, σε όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου, πίστεψαν σε μένα και με ενθάρρυναν να συνεχίσω.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.....	2
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10
Κεφάλαιο 1.....	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Σκοπός Εργασίας	11
1.2 Συνοπτική παρουσίαση κεφαλαίων	11
Κεφάλαιο 2.....	13
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	13
2.1 Από τα Πρώτα Δομικά Υλικά στα Νέα Υλικά.....	13
2.2 Η Εξέλιξη του Σιδήρου σε Χάλυβα.....	14
2.3 Εφαρμογή του Χάλυβα στις Κατασκευές.....	21
Κεφάλαιο 3.....	23
Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	23
3.1 Σύσταση – Κατηγορίες.....	23
3.2 Παραγωγή Χάλυβα και Μέθοδοι Μορφοποίησης των Παραγώγων Προϊόντων	25
3.3 Τυποποίηση Χαλύβων	28
3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Χαλύβδινων Κατασκευών	31
3.5 Αρχές και Βασικοί Έλεγχοι Αντοχής και Λειτουργικότητας με την Κανονιστική Διάταξη του Ευρωκώδικα 3	33
Κεφάλαιο 4.....	52
ΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.....	52
4.1 Γενικά	52
4.2 Κύριοι Φορείς Μονώροφων Μεταλλικών Κτιρίων	54
4.3 Δοκοί.....	56
4.4 Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας.....	57
4.5 Υποστυλώματα	58
4.6 Πλάκες.....	59

4.7	Συμπληρωματικά Στοιχεία του Φέροντος Οργανισμού.....	60
4.8	Μόρφωση Κόμβων- Συνδέσεις.....	62
	Κεφάλαιο 5.....	66
	Μεταλλικά Κτίρια Παραμετρικής Ανάλυσης.....	66
5.1	Περιγραφή Φορέα.....	66
	Κεφάλαιο 6.....	74
	Λογισμικό Ανάλυσης.....	74
6.1	Παρουσίαση Λογισμικού Διαστασιολόγησης.....	74
6.2	Μέθοδος Ανελαστικής Στατικής Ανάλυσης (pushover).....	83
	Κεφάλαιο 7.....	85
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	85
7.1	Διαστασιολόγηση Μεταλλικών Μελών.....	85
7.2	Έλεγχος Αποτίμησης Φέρουσας Ικανότητας.....	96
	Κεφάλαιο 8.....	110
	Συμπεράσματα.....	110
	Αναφορές.....	112

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1.	Άποψη της γέφυρας του ποταμού Severn (Roantrum, 2005)	16
Εικόνα 2-2	Σχεδιαστική απεικόνιση του εσωτερικού του νηματοργείου του Shrewsbury, όπου φαίνεται το δομικό σύστημα που εφαρμόστηκε (Fletcher, 1919)	17
Εικόνα 2-3	Εσωτερική άποψη του νηματοργείου (Yates, 2017)	17
Εικόνα 2-4	Άποψη σιδηροδρομικής γέφυρας «Forth Bridge» στο Clyde της Σκωτίας (Gareth, 2020)	19
Εικόνα 2-5	Burj Khalifa (https://en.wikipedia.org .)	20
Εικόνα 2-6	Λιμεναρχείο Αμβέρσας (Μυλωνάς, 2020)	22
Εικόνα 2-7	Μουσείο Στρατιωτικής ιστορίας Δρέσδης (Μυλωνάς, 2020)	22
Εικόνα 2-8	Πόλη Μόδας και Design στο Παρίσι (Μυλωνάς, 2020)	22
Εικόνα 2-9	Βασιλικό Μουσείο Οντάριο στο Τορόντο (Μυλωνάς, 2020)	22
Εικόνα 3-1	Δεξαμενή Μεθόδου Εμφύσησης Οξυγόνου (Μπούμπουλας & Παπανδρέου, 2013)	26
Εικόνα 3-2	Σχηματική Διάταξη Ηλεκτρικής Καμίνου (Μπούμπουλας & Παπανδρέου, 2013)	26
Εικόνα 3-3	Διάφορες Πρότυπες Χαλύβδινες Διατομές Θερμής Έλασης	27

Εικόνα 3-4 Πρότυπες Διατομές Ψυχρής Έλασης (Γαντές, 2014)	27
Εικόνα 4-1 Σχηματική Απεικόνιση Κύριων Μελών Μεταλλικού Μονώροφου Κτιρίου (Φωτόπουλος, 2018)	52
Εικόνα 4-2 Τρισδιάστατη Σχηματική Απεικόνιση Σύνδεσης Τεγίδας σε Κύρια Δοκό (Φωτόπουλος, 2018)	60
Εικόνα 4-3 Τρόπος Σύνδεσης Τεγίδας σε Όψη και Τομή (Φωτόπουλος, 2018)	61
Εικόνα 4-4 Διάταξη ελκυστήρων Τεγίδων σε Κάτοψη (Φωτόπουλος, 2018)	62
Εικόνα 4-5 Διαμόρφωση Μετώπου Βιομηχανικού Μονώροφου Μεταλλικού Κτιρίου με Ντίζες Μηκίδων (Φωτόπουλος, 2018)	62
Εικόνα 4-6 Μέγιστες και Ελάχιστες Αποστάσεις Μεταξύ Κοχλιών και Από τα Άκρα	63
Εικόνα 5-1 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Α	67
Εικόνα 5-2 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Β	68
Εικόνα 5-3 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Γ	69
Εικόνα 5-4 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Δ	70
Εικόνα 5-5 Κάτοψη Ξυλότυπου Οροφής Τυπικού Ορόφου, κτίριο Α	71
Εικόνα 5-6 Ξυλότυπος Οροφής Ισογείου, Κτίριο Β.	72
Εικόνα 5-7 Ξυλότυπος Οροφής 4 ^{ου} και 5 ^{ου} ορόφου, κτίριο Γ	72
Εικόνα 5-8 Ξυλότυπος Οροφής 4 ^{ου} και 5 ^{ου} Ορόφου, Κτίριο Δ	73
Εικόνα 6-1 Αρχική Επιφάνεια Εργασίας Εφαρμογής	75
Εικόνα 6-2 Παράθυρο παραμέτρων Εντολής Κτίριο, καρτέλα Γενικά	76
Εικόνα 6-3 Παράθυρο παραμέτρων Εντολής Κτίριο, καρτέλα Γενικά	77
Εικόνα 6-4 Οντότητα Κτίριο, καρτέλα Φάσμα	78
Εικόνα 6-5 Καρτέλα Δομικός Χάλυβας, οντότητας Κτίριο	78
Εικόνα 6-6 Καρτέλα Φορτία Ανέμου και Χιονιού, Ενότητες Διαστάσεις Κτιρίου και Άνεμος	79
Εικόνα 6-7 Καρτέλα Φορτία Ανέμου και Χιονιού, Ενότητα Χιόνι	79
Εικόνα 6-8 Καρτέλα γενικά, Εντολής Κτίριο, Παράμετροι Ανελαστικής Ανάλυσης Pushover	81
Εικόνα 6-9 Καρτέλα Αποτίμηση, Εντολής Κτίριο, Ανελαστική Ανάλυση Pushover	82
Εικόνα 6-10 Καρτέλα Φάσμα Αποτίμηση, Εντολής Κτίριο, Ανελαστική Ανάλυση Pushover	83
Εικόνα 7-1 Πίνακας Παραδοχών Διαστασιολόγησης των Τεσσάρων Μελετώμενων Μεταλλικών Φορέων	86
Εικόνα 7-2 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας DL, Κτίριο Α	98
Εικόνα 7-3 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Κτίριο Α	99
Εικόνα 7-4 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας NC, Κτίριο Α	100
Εικόνα 7-5 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας DL, Κτίριο Β	101
Εικόνα 7-6 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Κτίριο Β	102
Εικόνα 7-7 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας NC, Κτίριο Β	103
Εικόνα 7-8 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Κτίριο Γ	105
Εικόνα 7-9 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας NC, Κτίριο Γ	106
Εικόνα 7-10 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Διεύθυνση x, Φορέας Δ	107
Εικόνα 7-11 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Διεύθυνση y, Φορέας Δ	108

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1 Όριο Διαρροής (f_y) και Εφελκυστική Αντοχή (f_u), για εν Θερμό Ελατούς Χάλυβες	29
Πίνακας 3-2 Μέρη Ευρωκωδίκων	34
Πίνακας 3-3 Ενδεικτική Διάρκεια Σχεδιασμού σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα του EC1	36
Πίνακας 3-4 Προτεινόμενες Τιμές Συντελεστών ψ_i για Κτίρια (EC1)	38
Πίνακας 3-5 Πιθανοί Συνδυασμοί Μεθόδων Ανάλυσης και Μεθόδων Υπολογισμού Αντοχής των Διατομών	45
Πίνακας 3-6 Κατάταξη Εσωτερικών Θλιβόμενων Στοιχείων	46
Πίνακας 3-7 Κατάταξη Προεξέχοντων Τμημάτων Διατομής	47
Πίνακας 4-1 Κατηγορίες Υλικού Κοχλιών (Πηγή: Ευρωκώδικας3)	64
Πίνακας 4-2 Ανοχή a σε mm για Κανονικές Οπές Ελασμάτων	64
Πίνακας 4-3 Έλεγχοι που Απαιτούνται Ανά Κατηγορία Συνδέσεων	65
Πίνακας 7-1 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Δοκών, Κτίριο Α	87
Πίνακας 7-2 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Α	89
Πίνακας 7-3 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Α (συνέχεια)	90
Πίνακας 7-4 Απόσπασμα Πίνακα Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Δοκών, Κτίριο Β	91
Πίνακας 7-5 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Β	92
Πίνακας 7-6 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας μεταλλικών Δοκών, κτίριο Γ	93
Πίνακας 7-7 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Γ	94
Πίνακας 7-8 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων ικανότητας μεταλλικών Δοκών, Κτίριο Δ	95
Πίνακας 7-9 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Δ	96

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός Εργασίας

Με την παρούσα εργασία επιδιώκεται αφενός η εμβάθυνση στον τομέα της στατικής επίλυσης και συμπεριφοράς ενός μεταλλικού φορέα και αφετέρου η εξασφάλιση συμπερασμάτων από τον παραμετρικό σχεδιασμό ενός φορέα από χάλυβα. Στην εργασία αυτή σχεδιάστηκαν τέσσερις μεταλλικοί φορείς, η διαφορά των οποίων εντοπίζεται στο ύψος και στα ανοίγματα αυτών. Επιπλέον εφαρμόστηκε η μέθοδος της ανελαστικής ανάλυσης σε κάθε έναν από αυτούς τους φορείς, για την επίτευξη του πληρέστερου ελέγχου της συμπεριφοράς της, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια αυτής.

1.2 Συνοπτική παρουσίαση κεφαλαίων

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε έπειτα από πρόταση των επιβλεπόντων καθηγητών, αφού εκφράστηκε η επιθυμία της εμβάθυνσης στο σχεδιασμό και την ανάλυση φορέων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε τόσο για την ελαστική όσο και για την ανελαστική ανάλυση των φορέων, είναι το Fespa M και Fespa R. Το πρώτο για το σχεδιασμό και ανάλυση της ελαστικής συμπεριφοράς του μεταλλικού φορέα και το δεύτερο για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς αυτού. Το λογισμικό αυτό αναπτύσσει η εταιρεία LH Λογισμική.

Η εργασία είναι δομημένη σε δύο πυλώνες, στον θεωρητικό και αυτόν της ανάλυσης των φορέων. Η εργασία αποτελείται από οχτώ (8) κυρίως κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή και στην συνέχεια ακολουθούν τα κεφάλαια 2 έως 4 με το θεωρητικό τμήμα της εργασίας. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται η περιγραφή των φορέων που επιλέχθηκαν, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις καθώς και η ανελαστική στατική μέθοδος και στο κεφάλαιο 7 τα αποτελέσματα των διαστασιολογήσεων και των ανελαστικών αναλύσεων. Τέλος, στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα. Το περιεχόμενο των κεφαλαίων συνοπτικά έχει ως ακολούθως:

Στο κεφάλαιο 1, περιγράφεται επιγραμματικά ο σκοπός και το περιεχόμενο του κάθε επί μέρους κεφαλαίου.

Στο κεφάλαιο 2, πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των κατασκευών και δη των χαλύβδινων κατασκευών, στην πορεία της ανθρωπότητας.

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται ο χάλυβας, ως δομικό υλικό. Ωστόσο, γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές που διέπουν τις μεταλλικές κατασκευές σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, μέσω των κανονιστικών διατάξεων του Ευρωκώδικα 3.

Το κεφάλαιο 4, αφορά στη μόρφωση των μεταλλικών κτιρίων και περιγράφονται τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένας μεταλλικός φορέας.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται η παρουσίαση των τεσσάρων φορέων που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Το κεφάλαιο 6, αφορά στην αναλυτική παρουσίαση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας, σε επίπεδο σχεδιασμού και ανάλυσης των φορέων που μελετήθηκαν.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τόσο της ελαστικής ανάλυσης καθώς και την ανελαστικής ανάλυσης με τη μέθοδο pushover, για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των φορέων για κάθε μία από τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας. Επιπλέον, γίνεται σύγκριση των φορέων από τα δεδομένα της ανελαστικής ανάλυσης και τα αντίστοιχα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας αυτών.

Τέλος στο κεφάλαιο 8, συνοψίζονται τα συμπεράσματα από την ανάλυση των φορέων που εξετάστηκαν.

Κεφάλαιο 2

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 Από τα Πρώτα Δομικά Υλικά στα Νέα Υλικά

Ο άνθρωπος μέσα στην πορεία της ιστορίας, ως πολυμήχανο ον που είναι, προκειμένου να καλύψει το ένστικτο της επιβίωσης έκανε χρήση διαφόρων δομικών υλικών για την κατασκευή του καταφυγίου του, με σκοπό να προφυλαχτεί αφενός από τα φυσικά φαινόμενα και αφετέρου από τους εχθρούς του (ζώα και άνθρωπο). Τα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος τα αντλούσε από το φυσικό του περιβάλλον. Από τα πρώτα δομικά υλικά ήταν δέρματα και οστά ζώων, ξύλα, κλαδιά και φυλλώματα διαφόρων φυτών και φυσικά το χώμα.

Με την πάροδο όμως των χρόνων ανακάλυψε και νέα υλικά τα οποία χρησιμοποίησε για την κατασκευή κτισμάτων και έργων με σκοπό την βελτίωση της καθημερινότητάς του αλλά και των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών του. Από τα πιο διαδεδομένα υλικά είναι οι λίθοι που σε συνδυασμό με την δημιουργία ολοένα και πιο βελτιωμένων εργαλείων κατάφερε να τους επεξεργαστεί, με αποτέλεσμα την εξέλιξη των κατασκευών που δημιουργούσε. Ταυτόχρονα με την πέτρα στις οικοδομικές δραστηριότητες του ανθρώπου, συναντούνται επίσης το αργιλόχωμα και ο πηλός. Το αργιλόχωμα αποτελούσε συνδετικό υλικό αλλά και εξυπηρετούσε στη στεγανοποίηση της κατασκευής. Αργιλόχωμα και πηλός ήταν η πρώτη ύλη για την παραγωγή αρχιτεκτονικών και διακοσμητικών μελών που κατασκευάζονταν με τη χρήση μητρών, όπως πλίνθοι, κεραμίδια, διάφορα διακοσμητικά στοιχεία στέγης, σωλήνες, κ.α.

Στην πορεία της ιστορίας αποδεικνύεται ότι ο άνθρωπος δημιουργούσε κατασκευές όχι μόνο για να καλύψει τις άμεσες βιοτικές του ανάγκες αλλά και να εξυπηρετήσει τις υφιστάμενες κάθε περίοδο κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες που επηρέαζαν και την αρχιτεκτονική, ώστε να προβληθεί κάθε φορά το εκάστοτε επίπεδο κοινωνικών, οικονομικών και πολιτισμικών αξιών. Εξαιτίας αυτών των δεδομένων η κατασκευή οποιουδήποτε δομικού ή τεχνικού έργου έπρεπε να αποτελεί ιδιαίτερο κομψοτέχνημα

από άποψη αρχιτεκτονικής σύνθεσης και τεχνικής εφαρμογής. Τα ανωτέρω υλικά αποτελούσαν τα κύρια δομικά υλικά των κατασκευών μέχρι και τα μέσα του 18ου αιώνα. Όμως η πρόοδος της τεχνολογίας, αλλά και οι απαιτήσεις των δεδομένων, για κατασκευές που να έχουν αντοχή στο χρόνο αλλά και στις κατά τόπους γεωφυσικές συνθήκες, έδωσε ώθηση στην παραγωγή νέων υλικών όπως το τσιμέντο, το σκυρόδεμα, τα ινοπλισμένα πολυμερή, ο χάλυβας κ.α. Ιδιαίτερα σημαντική επίσης είναι και η συνεργασία χάλυβα σκυροδέματος είτε σε μορφή ράβδων οπλισμού είτε ως τενόντων προέντασης σε έργα από οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα, αντίστοιχα, με αξιόπιστη λειτουργία και συμπεριφορά.

2.2 Η Εξέλιξη του Σιδήρου σε Χάλυβα

Ο σίδηρος είναι ορυκτό μέταλλο το οποίο αρχικά ο άνθρωπος το χρησιμοποίησε όπως το έβρισκε στη γη από πτώσεις μετεωριτών, σε εδαφικό υλικό το οποίο διαχώριζε με τη βοήθεια κλιβάνων όπου μπορούσαν να αναπτύξουν θερμοκρασία τουλάχιστον 1500°C. Από τα αρχαία χρόνια ο σίδηρος χρησιμοποιούνταν στις κατασκευές ως δευτερεύον υλικό υποστηρικτικό για την πορεία της κατασκευής. Συγκεκριμένα στην αρχιτεκτονική ήταν διαδεδομένη η χρήση του για όλα τα είδη προσαρτημάτων, για συνδέσμους, γόμφους και γάντζους (Wolfgang, 1995). Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκε ως υλικό πλήρωσης σε εσωτερική οπή των τμημάτων των κιόνων προκειμένου να συνδεθούν και να εξασφαλιστεί η στατική τους μορφή.

Περίπου στο 1000π.Χ., μεταλλουργοί κατάφεραν να παράγουν χάλυβα από την ενανθράκωση του σπογγώδους σιδήρου. Δημιούργησαν ένα κράμα σιδήρου με άνθρακα και επιπλέον ποσοστά κι άλλων στοιχείων, μαγγανίου, πυριτίου. Ωστόσο, την περίοδο της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας αποδεικνύεται ότι ήταν γνώστες της παραγωγής χάλυβα, λαοί της Μεσογείου, όπως επίσης Ινδοί, Κινέζοι και Ιάπωνες (<https://el.wikipedia.org/wiki/Χάλυβας>). Το 19ο αιώνα εντοπίζεται η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα, όταν ο Henry Bessemer, Άγγλος εφευρέτης, κατάφερε να αναπτύξει μια μέθοδο παραγωγής χάλυβα υψηλής ποιότητας (1850). Η διαδικασία αυτή στηριζόταν στην εμφύσηση οξυγόνου στον τηγμένο χυτοσίδηρο για την καύση του άνθρακα και άλλων ακαθαρσιών, μέσα σε κάμινο με εσωτερικό περίβλημα που αποτελούνταν από πυρίμαχα τούβλα. Η παραγωγή χάλυβα με τη διαδικασία Bessemer βρήκε εφαρμογή στον τομέα των κατασκευών, σε σιδηροδρομικές γραμμές και στα πλαίσια των ουρανοξυστών (McNamara, 2019).

Αρχικά ο χάλυβας χρησιμοποιήθηκε ως δευτερεύον υλικό στις κατασκευές και όχι ως κύριο. Δεν αποτελούσε εμφανές υλικό στις διάφορες κατασκευές, αλλά εφαρμοζόταν κυρίως ως ενίσχυση της εφαρμοζόμενης τοιχοποιίας, υπό τη μορφή συνδέσμων ή αγκυρίων, όπως στην περίπτωση της ανατολικής όψης του Μουσείου του Λούβρου (1670) και στην περίπτωση της εκκλησίας Ste Genevieve, επίσης στο Παρίσι.

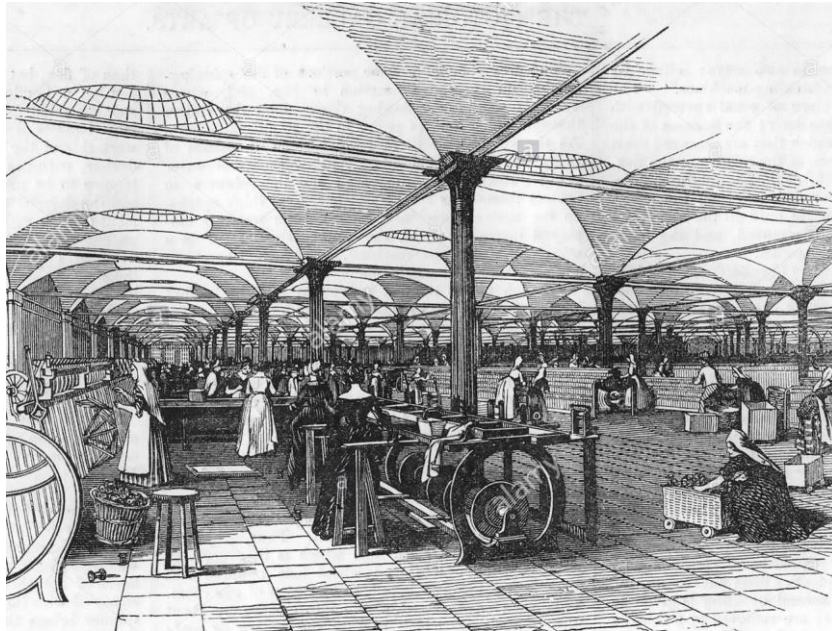
Με τη βιομηχανική επανάσταση, ο σίδηρος εκτός από εργαλεία χρησιμοποιήθηκε και στην οικοδομική. Παράλληλα με την εκβιομηχάνιση του βελτιώνονται σημαντικά οι ποιότητές του και εφαρμόζονται νέες τεχνικές εφαρμογής και χρήσης του. Οι πρώτες μεταλλικές κατασκευές που υλοποιήθηκαν στην Ευρώπη από χυτοσίδηρο περιελάμβαναν κυρίως σιδηροδρομικές γέφυρες αλλά και βιομηχανικά κτίρια. Αρχικά αντικατέστησαν τον ξύλινο σκελετό των στεγών εξαιτίας της συχνής καταστροφής τους από πυρκαγιές. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ο σίδηρος και στο σώμα της κατασκευής ως εμφανές υλικό, καθώς θεωρούνταν αξιόπιστο υλικό με εξαιρετική συμπεριφορά από απόψεως προστασίας από πυρκαγιά. Όταν αργότερα ανατράπηκε ως ένα βαθμό αυτή η διαπίστωση, περιορίστηκε η χρήση του ως εμφανές δομικό υλικό για μια περίοδο και ξαναεμφανίστηκε «ανανεωμένο» σε συνδυασμό με τη συνεργασία αρχιτεκτονικής και στατικής επιστήμης. Μέχρι τότε οι κατασκευές αυτές σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν από εμπειροτέχνες μηχανικούς και όχι από επιστήμονες μηχανικούς (αρχιτέκτονες ή πολιτικούς μηχανικούς). Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις συνδυάστηκαν παραδοσιακές κατασκευαστικές μέθοδοι με ταυτόχρονη αξιοποίηση των δυνατοτήτων και τεχνικών του νέου υλικού με σκοπό τη διασφάλιση της λειτουργικότητας της κατασκευής υπέρ της ασφαλείας φυσικά.

Μία από τις πρώτες κατασκευές από χυτοσίδηρο είναι η γέφυρα του ποταμού Severn (1777-1779), ανοίγματος 100,5ft , που είναι γνωστή και ως «iron bridge» και αποτέλεσε σύμβολο της βιομηχανικής επανάστασης (Εικ. 2-1). Τα πρώτα βιομηχανικά κτίρια πολυώροφα μάλιστα, που κατασκευάστηκαν με σκελετό από σίδηρο αποτελούσαν νηματοουργεία στο Derby και στο Shrewsbury στην Αγγλία. Στο νηματοουργείο του Derby χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα ξύλινων δοκών οι οποίες συνδέονταν με μεταλλικές ράβδους οι οποίες εδράζονταν επί της τοιχοποιίας και στηρίζονταν ενδιάμεσα σε δύο χυτοσιδηρούς στύλους. Πάνω σε αυτές τις ξύλινες δοκούς στηρίζονταν τμηματικοί θόλοι, από οπτοπλινθοδομή. Τα φορτία των

πατωμάτων του υπερκείμενου ορόφου μεταφέρονταν με αυτή την ευφυή, για την εποχή της, κατασκευή στα ξύλινα δοκάρια και αυτά με τη σειρά τους τα μετέθεταν στην περιμετρική τοιχοποιία, επίσης κατασκευασμένη από οπτόπλινθους. Αντίστοιχη κατασκευή υλοποιήθηκε και στην περίπτωση του Νηματουργείου του Shrewsbury με τη διαφορά ότι τα ξύλινα δοκάρια αντικαταστάθηκαν από χυτοσίδηρά (Εικ. 2-2 και 2-3). Αυτό το δομικό σύστημα, αργότερα εξελίχθηκε στο πλαισιωτό σύστημα από χάλυβα. Τόσο ο σίδηρος όσο και ο χυτοσίδηρος που τον αντικατέστησε, και αποτέλεσαν τα υλικά που εφαρμόστηκαν στις πρώτες μεταλλικές κατασκευές έχουν περιορισμένες δυνατότητες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις μηχανικές ιδιότητες αυτών των υλικών. Αφενός ο ελατός σίδηρος παρουσιάζει μειωμένη εφελκυστική αντοχή και αφετέρου ο χυτοσίδηρος είναι υλικό αρκετό ψαθυρό. Οπότε, επιβλήθηκε η χρήση τους ως συγκεκριμένα μέλη στις κατασκευές. Είναι φανερό όμως ότι οι περιορισμένες αυτές δυνατότητες τους, δεν στάθηκαν εμπόδιο στον οραματισμό και στη δημιουργία ιδιαίτερα εντυπωσιακών κατασκευών, από τους μηχανικούς εκείνης της εποχής.



Εικόνα 2-1. Άποψη της γέφυρας του ποταμού Severn (Roantrum, 2005)



Εικόνα 2-2 Σχεδιαστική απεικόνιση του εσωτερικού του νηματουργείου του Shrewsbury, όπου φαίνεται το δομικό σύστημα που εφαρμόστηκε (Fletcher, 1919)



Εικόνα 2-3 Εσωτερική άποψη του νηματουργείου (Yates, 2017)

Παράλληλα την ίδια περίπου περίοδο, εμφανίζεται και στην Ελλάδα, το χαρακτηριστικό αυτό σύστημα δόμησης, με εφαρμογή κυρίως σε βιομηχανικά κτίρια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανέγερσης με αυτή τη μορφή στατικού δομήματος που υλοποιήθηκε στην περίπτωση του Νηματουργείου του Shrewsbury, υιοθετήθηκε στο βιομηχανικό κτίριο του εργοστασίου της Αλλατίνη και επίσης στις βιομηχανικές

εγκαταστάσεις του Φιξ, στη Θεσσαλονίκη. Στην περίπτωση δε των εγκαταστάσεων της Αλλατίνη, οι θόλοι κατασκευάστηκαν από πέτρα. (Δούση, 2004)

Μέσα στα χρόνια που ακολούθησαν πραγματοποιήθηκαν σημαντικά βήματα στην εξέλιξη τόσο του υλικού όσο και των διαθέσιμων εργαλείων και μηχανών για την επεξεργασία του, ώστε η χρήση του διαδόθηκε σε όλο τον πλανήτη σε μεγάλο μέρος εφαρμογών και πιο συγκεκριμένα στον τομέα των κατασκευών. Σταδιακά πραγματοποιήθηκε η αντικατάσταση του χυτοσιδήρου από το χάλυβα με ιδιαίτερα υψηλά μηχανικά χαρακτηριστικά με συνακόλουθες βελτιωμένες δυνατότητες. Σε αυτό έπαιξε ρόλο και το σχετικά μικρότερο κόστος παραγωγής του σε αντίθεση με το αντίστοιχο του κατεργασμένου σιδήρου. Επιπλέον και η εξέλιξη των τεχνικών ανέγερσης διευκόλυναν την ευρεία διάδοση χρήσης του, και οι κατασκευές που απαιτούσαν μεγάλα ανοίγματα, μεγάλα ύψη, μεγάλα φορτία κατέστησαν το υλικό αυτό κυρίαρχη επιλογή. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε η αφενός αισιόδοξη και αφετέρου τολμηρή χρήση του χάλυβα ως φέροντα οργανισμού του κτιρίου. Ο φέρον οργανισμός σε αυτή την περίπτωση αποτελείται από υποστυλώματα και δοκούς από χάλυβα, μέσω αυτών των μελών τα φορτία που παραλαμβάνονται από την κατασκευή μεταβιβάζονται στο έδαφος. Από τις γέφυρες και τα βιομηχανικά κτίρια μεγάλων ανοιγμάτων και ύψους εξελίχθηκε και εφαρμόστηκε η χρήση του σε κτίρια ιδιαίτερα μεγάλου ύψους, τους επονομαζόμενους ουρανοξύστες. Αρχικά ο σκελετός αυτών των κατασκευών ήταν από χάλυβα, τα μέλη του οποίου συνδέονταν με ήλους και μπουλόνια, διαμορφώνοντας αρθρωτούς κόμβους. Το κύριο χαρακτηριστικό των κατασκευών αυτών ήταν ο μεγάλος αριθμός των ήλων στην επιφάνειά τους. Παρά το γεγονός αυτό η αρχιτεκτονική δεν δεσμεύτηκε αλλά σε συνεργασία με τη στατική επιστήμη έχει δώσει πολύ σημαντικά έργα με εφαρμογή του χάλυβα (καραμάνος, 2008). Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας κατασκευής αποτελεί η σιδηροδρομική γέφυρα «Forth bridge», στον ποταμό Clyde της Σκωτίας (Εικ. 2-4).



Εικόνα 2-4 Αποψη σιδηροδρομικής γέφυρας «Forth Bridge» στο Clyde της Σκωτίας (Gareth, 2020)

Το κατασκευαστικό αυτό σύστημα εξελίχθηκε σε ένα πιο σύνθετο χαλύβδινο πλαισιωτό σύστημα, που εφαρμόζεται στα κτίρια αυτής της κατηγορίας, διαμορφώνοντας ταυτόχρονα πολύ μεγάλα ύψη και πετυχαίνοντας μεγάλο βαθμό ακαμψίας. Προς αυτή την κατεύθυνση συνετέλεσε και η εξέλιξη των τεχνικών σύνδεσης των μελών των κατασκευών μεταξύ τους, είτε αυτές αποτελούν τις συγκολλήσεις είτε τους κοχλίες υψηλής αντοχής και προδιαγραφών. Οι κατασκευές θωρακίζονται και από δυναμικές καταπονήσεις επιπλέον της αυξημένης αντοχής τους και αυξημένης δυσκαμψίας. Το αποτέλεσμα της εξέλιξης και τυποποίησης των διάφορων διατομών του χάλυβα σε συνδυασμό με την συνακόλουθη εξέλιξη των τεχνικών συνδέσεων και ανέγερσης είναι η εκπλήρωση των οποιονδήποτε αρχιτεκτονικών απαιτήσεων των μεταλλικών έργων, που αφορούν στις διάφορες πρωτότυπες μορφές και μέγεθος, παράλληλα με την εξασφάλιση υψηλών τεχνικών δυνατοτήτων (Καραμάνος, 2008).

Φτάνοντας στα τέλη του 19ου αιώνα εμφανίζονται στην Αμερική κυρίως οι πρώτοι ουρανοξύστες, τα πρώτα πολώροφα κτίρια με μεταλλικό σκελετό και ύψος πάνω από 100μ., λόγω του αυξανόμενου όγκου πληθυσμού στις μεγαλουπόλεις, αλλά και της εμφάνισης των πολυεθνικών εταιρειών. Ο πρώτος ουρανοξύστης κατασκευάστηκε στο Σικάγο, το 1885 με ύψος 42μ και αποτέλεσε το δέκα ορόφων

κτίριο ασφάλισης κατοικίας. Η περίοδος εκείνη αποτέλεσε ορόσημο για την κατασκευή ουρανοξυστών σε όλο τον κόσμο, με έμφαση κυρίως στα κράτη με ισχυρά αναπτυσσόμενη βιομηχανία αλλά και έντονη πληθυσμιακή κάλυψη των μεγαλουπόλεων σε αυτά (Βάγιας, Ερμόπουλος, Ιωαννίδης, 2013). Η Αμερική (Σικάγο, Νέα Υόρκη), η νότια και ανατολική Ασία (Ιαπωνία, Ταϊβάν, Μαλαισία, Κίνα) και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (Ντουμπάι) είναι χώρες που η κατασκευή ουρανοξυστών αποτελεί στοιχείο ανταγωνισμού ανάμεσα τους, τόσο για το ύψος του κτιρίου όσο και για την αρχιτεκτονική έμπνευση. Σήμερα ο ψηλότερος ουρανοξύστης στον κόσμο είναι ο Burj Khalifa στο Ντουμπάι με ύψος 829,8μ., με 169 ορόφους (Εικ. 2-5).



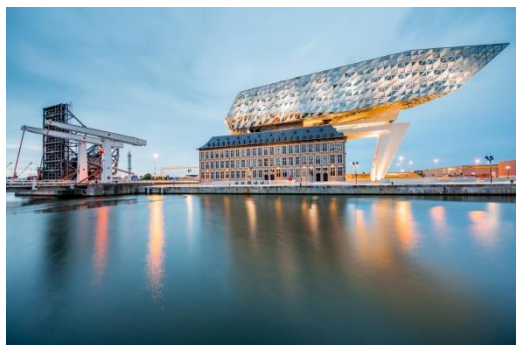
Εικόνα 2-5 Burj Khalifa (<https://en.wikipedia.org/>)

2.3 Εφαρμογή του Χάλυβα στις Κατασκευές

Στην Ελλάδα κυρίαρχο δομικό υλικό αποτελούσε μέχρι και το τέλος του προηγούμενου αιώνα το οπλισμένο σκυρόδεμα. Στην περίοδο πριν και μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο υπήρχαν κάποιες μεταλλικές κατασκευές, οι οποίες περιελάμβαναν κυρίως σιδηροδρομικές γέφυρες, στέγαστρα σταθμών και αγορών και κάποια βιομηχανικά κτίρια. Οι φορείς αυτοί ήταν ιδιαίτερα απλής μορφής, αφού αποτελούσαν επιφανειακούς φορείς κυρίως τοξωτής μορφής, που συνδέονταν με αρθρώσεις. Τις τελευταίες όμως δεκαετίες και συγκεκριμένα μετά το 1990 ξεκίνησε η ευρεία χρήση του χάλυβα σε ορισμένες κατασκευαστικές εφαρμογές. Τέτοιες κατασκευές από χάλυβα περιελάμβαναν κτίρια γραφείων, υπεραγορών, εμπορικών κέντρων, βιομηχανικά, αγροτικά και αθλητικά κτίρια (Βάγιας, Ερμόπουλος, Ιωαννίδης, 2013).

Ακόμη πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η χρήση του χάλυβα συνηθίζεται σε περιπτώσεις αναστηλώσεων ή και αναπαλαιώσεων κτιρίων. Βασικός σκοπός είναι η διατήρηση της αυθεντικότητάς του, ενισχύοντας τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου, θωρακίζοντας το έναντι των φυσικών φαινομένων με γνώμονα την ασφάλεια και τη λειτουργικότητά του. Αυτή είναι η επικρατέστερη μέθοδος που εφαρμόζεται σε τέτοιες περιπτώσεις με αποτελέσματα εντυπωσιακά στην ανάδειξη, αναβάθμιση και ενίσχυση παλαιών κτιρίων που αποτελούν ιστορική ταυτότητα των περιοχών που ανήκουν, αφήνοντας το στίγμα τους στην πορεία των χρόνων.

Είναι σημαντικό επιπλέον, το γεγονός ότι ο μεταλλικός σκελετός μπορεί να επενδυθεί με ένα μεγάλο πλήθος υλικών δίνοντας την δυνατότητα εντυπωσιακών μορφών, αλλά και ιδιαίτερης αισθητικής των κατασκευών (Εικ. 2-6 έως 2-9). Αρχιτέκτονες και πολιτικοί Μηχανικοί συνεργάζονται για τη δημιουργία και κατασκευή κτιρίων με ελεύθερη έκφραση της φαντασίας τους όσον αφορά στη γεωμετρία της κατασκευής με ταυτόχρονη την άριστη συμπεριφορά έναντι της στατικότητας, της εν λόγω κατασκευής.



Εικόνα 2-6 Λιμεναρχείο Αμβέρσας (Μυλωνάς, 2020)



Εικόνα 2-7 Μουσείο Στρατιωτικής ιστορίας Δρέσδης (Μυλωνάς, 2020)



Εικόνα 2-8 Πόλη Μόδας και Design στο Παρίσι (Μυλωνάς, 2020)



Εικόνα 2-9 Βασιλικό Μουσείο Οντάριο στο Τορόντο (Μυλωνάς, 2020)

Συγκεντρωτικά, λοιπόν, οι τομείς εφαρμογής του χάλυβα είναι:

- Κτίρια και Κατασκευές. Σε κατασκευαστικά έργα αλλά και ως κτιριακά και αρχιτεκτονικά προϊόντα.
- Μηχανολογικές και Βιομηχανικές Εφαρμογές (Κατασκευές μηχανών, υδραυλικά συστήματα, αγροτικές μηχανές, γερανοί, ανυψωτικά και μηχανές έργων, δοχεία πίεσης)
- Μεταφορές (Δρόμοι και σιδηρόδρομοι, αυτοκινητοβιομηχανία)
- Ναυπηγεία (ναυπηγική, ναυπηγοεπισκευαστική βιομηχανία)
- Ορυχεία (Σήραγγες, στοές ορυχείων, μύλοι άλεσης-λειοτρίβισης)
- Ενέργεια (χαλύβδινοι ηλεκτρικοί πυλώνες, ανεμογεννήτριες)

Κεφάλαιο 3

Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

3.1 Σύσταση – Κατηγορίες

Ο χάλυβας αποτελεί κράμα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C) σε περιεκτικότητα λιγότερο από 2,1%. Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στην πράξη έχουν περιεκτικότητα σε χάλυβα που δεν ξεπερνά το 1,2%. Ωστόσο, στη σύνθεση του χάλυβα συμμετέχουν και άλλα χημικά στοιχεία σε μικρότερες αναλογίες όπως το μαγγάνιο (Mn) και σε πολύ μικρότερο ποσοστό το πυρίτιο (Si) (0,1% - 0,7%), ο φώσφορος (P), το θείο (S) και το οξυγόνο (O). Το ποσοστό περιεκτικότητας των παραπάνω στοιχείων στο κράμα, καθορίζει και τις μηχανικές του ιδιότητες. Η αναλογία του άνθρακα στο κράμα είναι ουσιαστικής σημασίας, καθώς αυξάνοντας το ποσοστό, αυξάνεται η σκληρότητα και η αντοχή σε εφελκυσμό, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μείωση της συνεκτικότητας και πλαστιμότητάς του. Το μαγγάνιο (0,3% - 0,8%, αλλά και 12% και 15%) ανάλογα με το ποσοστό που συμμετέχει προσδίδει στον παραγόμενο χάλυβα την ιδιότητα της σκληρότητας και αντοχής στη φθορά. Σε συνδυασμό μάλιστα και με την αντίστοιχη περιεκτικότητα του άνθρακα στο κράμα, ενισχύει τη συγκόλληση του σιδήρου. Ο φώσφορος, το θείο και το οξυγόνο αποτελούν ανεπιθύμητα στοιχεία στο χάλυβα, αφού ευθύνονται για τις αρνητικές ιδιότητες που προσδίδουν, όπως ψαθυρότητα (φώσφορος-σε χαμηλές θερμοκρασίες), ρωγμές και αστοχίες (θείο- κατά τη διαμόρφωση εν θερμώ) και δημιουργία ασυνεχειών και φυσαλίδων κατά τη χύτευση (οξυγόνο). Για το λόγο αυτό συμμετέχουν στη σύνθεσή του σε πολύ μικρότερο ποσοστό από 0,1%. Ο συνδυασμός λοιπόν, των ποσοστών των στοιχείων που συμμετέχουν στο κράμα, αλλά και ύστερα από την κατάλληλη θερμική επεξεργασία είναι δυνατό να δημιουργηθεί χάλυβας με συγκεκριμένες ιδιότητες σύμφωνα με την επιθυμητή χρήση.

Η περιεκτικότητα στο χάλυβα μεγαλύτερων ποσοστών και άλλων μετάλλων, όπως νικέλιο (Ni), χρώμιο (Cr), μολυβδαίνιο (Mo), κ.α. αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων, τους κραματωμένους χάλυβες.

Γενικά, ανάλογα με τη **χρήση** τους είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί η εξής κατηγοριοποίηση:

- Δομικός χάλυβας
- Χάλυβας οπλισμού
- Χάλυβας εργαλείων
- Πυρίμαχος χάλυβας
- Χάλυβας κοπής
- Χάλυβας απότμησης
- Απαραμόρφωτος χάλυβας
- κ.α. ειδικοί χάλυβες

Ειδικότερα όμως, οι χάλυβες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, την επιπλέον επεξεργασία τους και την κρυσταλλική τους δομή.

Ανάλογα με τη **χημική τους σύσταση** οι χάλυβες ταξινομούνται:

- Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες (carbon steels). 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 (mild steels· $C < 0,30\%$),
 - χάλυβες μέτριου άνθρακα (medium carbon steels· $0,30\% < C < 0,60\%$),
 - χάλυβες υψηλού άνθρακα (high carbon steels· $0,60\% < C < 1,00\%$), και
 - χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (ultra-high carbon steels· $1,00\% < C < 2,00\%$).
- Κραματωμένοι χάλυβες (alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι

- ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$), και οι
- 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.

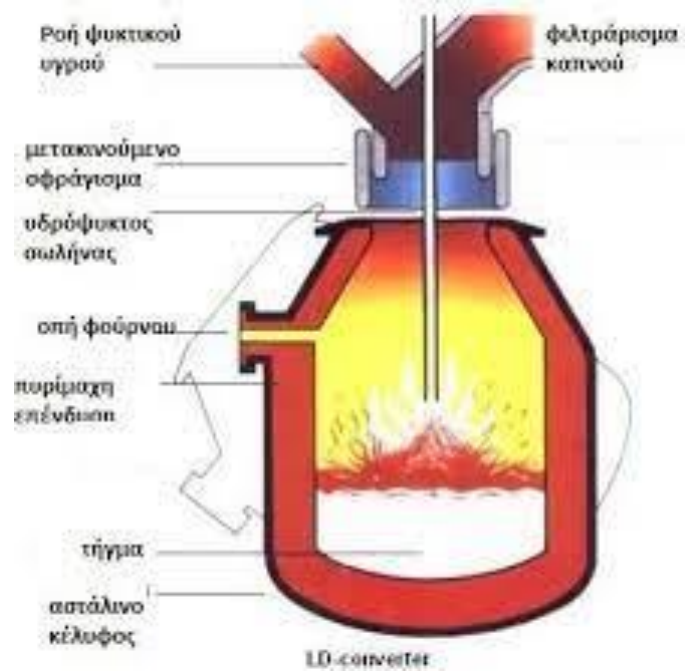
Ανάλογα με την **περαιτέρω κατεργασία** τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
- χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή χελωνών και επαναχυτεύονται για την παραγωγή δημιουργία διαφόρων εξαρτημάτων.

3.2 Παραγωγή Χάλυβα και Μέθοδοι Μορφοποίησης των Παραγώγων Προϊόντων

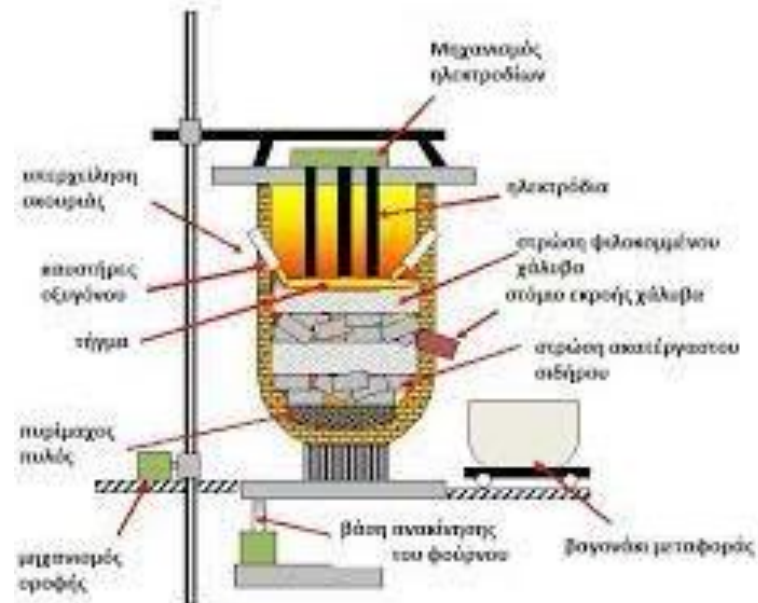
Οι δύο βασικές μέθοδοι παρασκευής του χάλυβα που εφαρμόζονται στη σύγχρονη βιομηχανία είναι:

1. Η **μέθοδος εμφύσησης οξυγόνου**. Μέσα σε δεξαμενή ή μετατροπέα με μονωμένα πυρίμαχα τοιχώματα (Εικ. 3-1), τροφοδοτείται τήγμα χυτοσιδήρου. Από το πάνω μέρος της δεξαμενής υπάρχει προσαρμοσμένος σωλήνας ο οποίος φτάνει μέχρι λίγο πάνω από την επιφάνεια του τηγμένου υλικού και ο οποίος ψύχεται με νερό και ο οποίος ευθύνεται για την εμφύσηση του οξυγόνου στο τήγμα. Πραγματοποιούνται στη συνέχεια διάφορες χημικές διεργασίες. Τέλος περιστρέφεται η δεξαμενή και παραλαμβάνεται ο χάλυβας αφού πρώτα έχουν απομακρυνθεί η σκουριά και άλλες ακαθαρσίες (Τσαγκαροπούλου, Τζιβιέρη, 2017).



Εικόνα 3-1 Δεξαμενή Μεθόδου Εμφύσησης Οξυγόνου (Μπούμπουλας & Παπανδρέου, 2013)

2. Η μέθοδος ηλεκτρικού τόξου. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην επανάτξη θραυσμάτων μετάλλου ή παλαιοσιδήρου σε ηλεκτρική κάμινο. Στο πάνω μέρος της καμίνου υπάρχουν ηλεκτρόδια. Το παραγόμενο ηλεκτρικό τόξο αυξάνει τη θερμότητα και προκαλείται τήξη των μεταλλευμάτων εντός της καμίνου (Τσαγκαροπούλου, Τζιβιέρη, 2017).

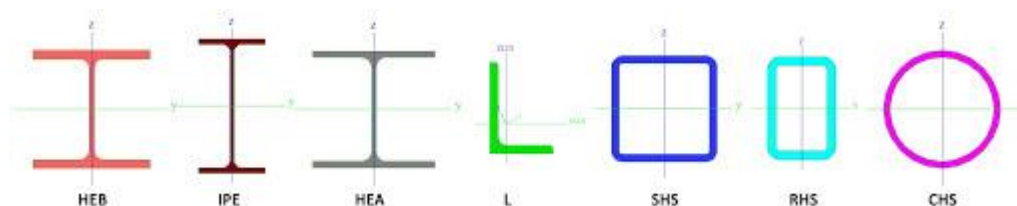


Εικόνα 3-2 Σχηματική Διάταξη Ηλεκτρικής Καμίνου (Μπούμπουλας & Παπανδρέου, 2013)

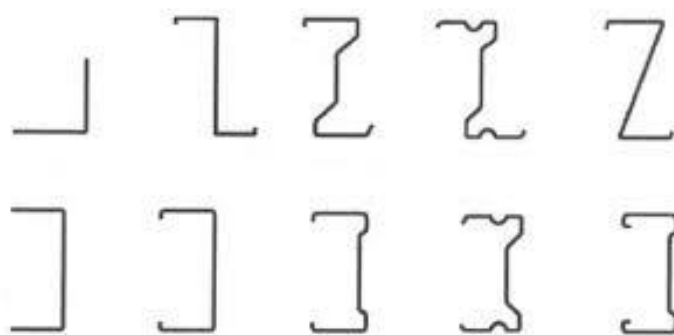
Προκειμένου να παρασκευαστούν τα διάφορα δομικά στοιχεία από χάλυβα ακολουθούνται δύο κυρίως βασικές μέθοδοι:

1. Η **χύτευση**. Στα παραγόμενα προϊόντα απαιτείται περαιτέρω μηχανουργική επεξεργασία.
2. Η **διαμόρφωση με πλαστική παραμόρφωση**. Με συγκεκριμένη διεργασία εφαρμόζονται τάσεις πέραν της ελαστικής περιοχής. Οπότε στην πλαστική περιοχή παραμορφώνονται, μέσω έλασης, διέλασης, ολκής ή σφυρηλασίας και οι τεχνικές μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε εν θερμώ είτε εν ψυχρώ.

Υπάρχουν στο εμπόριο πάρα πολλές πρότυπες χαλύβδινες διατομές θερμής έλασης (Εικ. 3-3) που χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στα διάφορα έργα και κατασκευές από χάλυβα. Από αυτές, οι πιο διαδεδομένες αποτελούν τα διπλά “ταυ” IPE, IPN, HEA, HEB και HEM (υψίκورμα ή πλατύπελμα), οι διατομές “πι” UPN, τα γωνιακά ισοσκελή (L) και ανισοσκελή (Li) και οι κοίλες διατομές, τετραγωνικές SHS, ορθογωνικές RHS και κυκλικές CHS. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται σύνθετες διατομές που προκύπτουν από συνδυασμό των πρότυπων, και η σύνδεση τους γίνεται με κοχλίες ή συγκόλληση. Αντίστοιχα υπάρχουν και διατομές που παράγονται με ψυχρή έλαση (Εικ. 3-4).



Εικόνα 3-3 Διάφορες Πρότυπες Χαλύβδινες Διατομές Θερμής Έλασης



Εικόνα 3-4 Πρότυπες Διατομές Ψυχρής Έλασης (Γαντές, 2014)

3.3 Τυποποίηση Χαλύβων

Προκειμένου να επιτευχθεί η λειτουργικότητα μιας κατασκευής παράλληλα με την ασφάλεια της, χρειάστηκε τα υλικά να ακολουθούν ορισμένες ελάχιστες απαιτήσεις και προϋποθέσεις. Αυτό το γεγονός οδήγησε στην κατεύθυνση, ώστε να δημιουργηθεί, από ορισμένα αρχικά κράτη, που είχαν ανεπτυγμένη βιομηχανία, μια ταυτότητα που θα χαρακτήριζε το υλικό, ως προς τις ιδιότητες του. Η ταυτότητα αυτή των υλικών θα αφορούσε κυρίως τη σύστασή του, την αντοχή του, και άλλες τεχνικές του ιδιότητες. Έτσι ορισμένα κράτη καθόρισαν και θεσμοθέτησαν πρότυπα στα οποία εντάσσονταν η τυποποίηση των υλικών. Στα εθνικά πρότυπα τυποποίησης περιελήφθηκε και ο χάλυβας και γενικότερα διάφορα σιδηρούχα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται σε κατασκευές του τεχνικού μας πολιτισμού. Τα συστήματα τυποποίησης για την ταυτοποίηση του υλικού χρησιμοποιούσαν αλφαριθμητικά σύμβολα.

Τα πιο γνωστά συστήματα τυποποίησης που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν και από τους μηχανικούς στη χώρα μας, ήταν το DIN (γερμανικό) API, ASME ATM (αμερικάνικα). Ανάλογα με τον τομέα της κατασκευής εφαρμόζονταν εκείνο όπου είχε μεγαλύτερη επιρροή, η χώρα μας, από τη βιομηχανία της ξένης χώρας. Με την πάροδο όμως των χρόνων και την εξέλιξη των γεωπολιτικών και οικονομικών αλλαγών και συνεργασιών μεταξύ των κρατών, έκαναν την εμφάνισή τους και άλλοι οργανισμοί τυποποίησης, όπως ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) και αργότερα η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN). Οπότε τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην οποία ανήκει και η Ελλάδα, δεσμεύονται να συμμορφώνονται με αυτά τα πρότυπα, ώστε να καλύπτεται και η ποιότητα και η ασφάλεια αλλά και η λειτουργικότητα, των μεταλλικών κατασκευών. Το γράμματα EN αφορούν στο ευρωπαϊκό πρότυπο και ακολουθούνται από έναν αριθμό.

Συγκεκριμένα το ευρωπαϊκό πρότυπο που σχετίζεται με τις έννοιες που ορίζουν το χάλυβα και την ταξινόμηση του είναι το EN 10020. Τα πρότυπα EN 10027 και EN 10025 καθορίζουν τον συμβολισμό χαρακτηρισμού των διαφόρων ποιοτήτων χαλύβων και τις ποιότητες των χαλύβων, που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές, συναρτήσει των ορίων διαρροής και της εφελκυστικής αντοχής τους, αντίστοιχα. Γενικά ο συμβολισμός αποτελείται από ένα κύριο και ένα δευτερεύον μέρος. Το κύριο μέρος περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη χρήση του και τις μηχανικές ή

φυσικές του ιδιότητες. Το δευτερεύον μέρος περιλαμβάνει πληροφορίες που αφορούν στη χημική σύσταση των χαλύβων. Στην περίπτωση των κατασκευαστικών χαλύβων χρησιμοποιείται το γράμμα S (Structure), ενώ για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος καθιερώθηκε το γράμμα B, και ακολουθεί ένας αριθμός, ο οποίος καθορίζει τις μηχανικές του ιδιότητες, συγκεκριμένα αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή του ορίου διαρροής σε MPa. (Πασπαλάς, 2009)

3.3.1 Ποιότητες Χάλυβα Μεταλλικών Φορέων

Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικά έργα, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο που διέπει τις αρχές και τις απαιτήσεις που οφείλουν να τηρούνται στην περίπτωση του σχεδιασμού των κατασκευών από χάλυβα και αποτελεί τον Ευρωκώδικα 3 (EC3-EN 1993-1-1), θα πρέπει να πληρούν τους εξής περιορισμούς, οι οποίοι εξασφαλίζουν την ελάχιστη ολκιμότητά τους:

- $f_u/f_y \geq 1,15$
- $\epsilon_u \geq 15\%$
- $\epsilon_u \geq 15\epsilon_y$,
όπου f_u : αντοχή θραύσης
 f_y : όριο διαρροής
 ϵ_u : οριακή παραμόρφωση, που αντιστοιχεί στην αντοχή θραύσης f_u και
 ϵ_y : παραμόρφωση διαρροής ($=f_y/E$).

Στον Πίνακα 3-1 φαίνονται οι ποιότητες χάλυβα που εφαρμόζονται στα δομικά έργα και ικανοποιούν τους παραπάνω περιορισμούς.

Πίνακας 3-1 Όριο Διαρροής (f_y) και Εφελκυστική Αντοχή (f_u), για εν Θερμό Ελατούς Χάλυβες

Ποιότητα Χάλυβα	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	f_y	f_u	f_y (MPa)	f_u (MPa)
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	450	550	410	550

3.3.2 Ποιότητες Χάλυβα Οπλισμού Σκυροδέματος

Ο Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χάλυβα (ΚΤΧ-2008), που έχει θεσμοθετηθεί βάσει των ΦΕΚ 1416/Β/17-07-2008 και ΦΕΚ 2113/Β/13-10-2008, εφαρμόζεται σε όλα τα κατασκευαστικά έργα από σκυρόδεμα και αφορά στο χάλυβα οπλισμού, καθορίζοντας τις ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό τους. Στον συγκεκριμένο κανονισμό ενσωματώνονται πρότυπα και κανονιστικά κείμενα με κύριο στόχο την ασφάλεια, την αντοχή και τη λειτουργικότητα του κατασκευαζόμενου έργου. Με βάση τον κανονισμό αυτό ο χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος μπορεί να κατηγοριοποιηθεί, σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής, τη μορφή της επιφάνειας της ράβδου, την ολκιμότητα, τη συγκολλησιμότητα και την αντοχή σε διάβρωση. Ειδικότερα υφίστανται οι εξής διακρίσεις:

- Σύμφωνα με τη **μέθοδο παραγωγής**
 - Θερμής έλασης, χωρίς καμία άλλη περαιτέρω θερμική ή θερμομηχανική κατεργασία οποιασδήποτε μορφής (χάλυβες ΘΕ-Χ).
 - Θερμής έλασης, που ακολουθείται από μία άμεση εν σειρά διαδικασία θερμικής κατεργασίας (χάλυβες ΘΕ-Θ)
 - Ψυχρής κατεργασίας, με ολκή ή έλαση του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Ο) ή με στρέψη του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Σ) ή με συνδυασμό των παραπάνω.
- Ανάλογα με τη **μορφή της επιφάνειας της ράβδου** οι χάλυβες οπλισμού διακρίνονται
 - Λείοι χάλυβες κυκλικής διατομής
 - Χάλυβες με νευρώσεις ανάγλυφες, υψηλής συνάφειας
 - Χάλυβες με κοιλότητες (αυλακώσεις)
- Βάση της **ολκιμότητας** τους
 - Χάλυβες χαμηλής ολκιμότητας
 - Χάλυβες μέσης ολκιμότητας
 - Χάλυβες υψηλής ολκιμότητας
- Σύμφωνα με τη **συγκολλησιμότητα**
 - Χάλυβες συγκολλησίσιμους

- Χάλυβες μη συγκολλησίμους, ή συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις
- Σύμφωνα με την **αντοχή τους σε διάβρωση**
 - Κοινοί χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου με άνθρακα και σε μικρότερες αναλογίες και άλλα στοιχεία
 - Ανοξειδωτους χάλυβες που περιέχουν χρώμιο σε ελάχιστη αναλογία 12%. Αυτοί οι χάλυβες παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε διάβρωση και ακόμη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα εμφανίζουν στην περίπτωση που περιέχουν και άλλα στοιχεία όπως νικέλιο (Ni), μολυβδαίνιο (Mo), τιτάνιο (Ti), κ.α.

Οι ποιότητες των χαλύβων που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος είναι οι B500A και B500C και είναι συγκολλησίμοι χάλυβες. Όπως προσδιορίζεται και από το πρότυπο EN 10027, που σχετίζεται με το συμβολισμό του χαρακτηρισμού των χαλύβων (Table 5, EN 10027-1-2005, Παράρτημα A), ο αριθμός 500, που ακολουθεί το γράμμα B αντιστοιχεί στην τιμή του ορίου διαρροής σε MPa και το γράμμα A ή C, αναφέρεται στην κατηγορία ολκιμότητας, χαμηλή ή υψηλή αντίστοιχα.

3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Χαλύβδινων Κατασκευών

Τα τελευταία χρόνια ο χάλυβας κατακτά έδαφος έναντι του σκυροδέματος, ως υλικού του φορέα μιας κατασκευής. Έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζει αρκετά θετικά στοιχεία σε σχέση με άλλα δομικά υλικά. Τα χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα που έχει μια κατασκευή από χάλυβα συνοψίζονται στα εξής:

- Η κατασκευή από χάλυβα έχει μικρό βάρος σε σχέση με την ίδια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα και ο λόγος αντοχής/βάρος είναι πολύ υψηλός. Αποτελεί ιδανικό υλικό προκειμένου για κατασκευές σε περιοχές που παρουσιάζουν έντονη σεισμική δραστηριότητα ή το έδαφος θεμελίωσης είναι κακής ποιότητας.
- Είναι ένα υλικό αρκετά όλκιμο. Παρουσιάζει ανοχή σε μεγάλες παραμορφώσεις πριν αστοχήσει. Επιτρέπει την ανάπτυξη τοπικής διαρροής. Αποτέλεσμα αυτού είναι να ανακατανέμεται η ένταση και να γίνεται έγκαιρη πρόληψη της αστοχίας.

- Έχει μεγάλη ελαστικότητα για αρκετά υψηλές τάσεις.
- Είναι ομοιογενές υλικό. Για το λόγο αυτό εξασφαλίζεται η ακρίβεια των παραδοχών ανάλυσης και των ελέγχων αντοχής.
- Δυνατότητα μόρφωσης μεγάλων ανοιγμάτων, σε συνδυασμό με μικρές διατομές υποστρωμάτων, αυξάνουν τον ωφέλιμο χώρο της κάτοψης άλλα και στις όψεις παρέχεται η δυνατότητα ελεύθερου ανοίγματος.
- Ταχύτητα συναρμολόγησης της κατασκευής
- Δυνατότητα επέκτασης ή και προσθήκης στην κατασκευή
- Είναι εύκολο να διανοιχθούν οπές για τη διέλευση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.
- Ευχέρεια συντήρησης της κατασκευής γεγονός που καθίσταται σημαντικό για τη διάρκεια ζωής της εν λόγω κατασκευής.
- Δυνατότητα αποσυναρμολόγησης και επαναχρησιμοποίησης των μελών του φορέα ή και ανακύκλωσης αυτών και αναδημιουργία νέων.

Τα κύρια μειονεκτήματα των κατασκευών από χάλυβα είναι:

- Μεγάλο κόστος κατασκευής, που αφορά στη μελέτη, στο κόστος του υλικού, στην αντιδιαβρωτική προστασία, στη συντήρηση, στο κόστος πυροπροστασίας, κ.α.
- Χρειάζεται εξειδικευμένο εργατοτεχνικό προσωπικό για τη συναρμολόγηση του φορέα της κατασκευής.

Είναι γεγονός ότι τα πλεονεκτήματα έναντι των μειονεκτημάτων υπερτερούν, στη χρήση του χάλυβα ως υλικό για τη διαμόρφωση του φορέα των κατασκευών. Δίκαια λοιπόν ο χάλυβας θεωρείται στις μέρες μας ένα από τα πιο διαδεδομένα δομικά υλικά. Σίγουρα θα πρωταγωνιστήσει και τα επόμενα χρόνια στις κατασκευές και στη χώρα μας.

3.5 Αρχές και Βασικοί Έλεγχοι Αντοχής και Λειτουργικότητας με την Κανονιστική Διάταξη του Ευρωκώδικα 3

3.5.1 Γενικό Πλαίσιο Ευρωκωδίκων

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εξέλιξη της επιστήμης στον τομέα των κατασκευών είναι θεαματική, καθώς και η ανάγκη της κοινής εφαρμογής τεχνικών κανόνων, εντός του πλαισίου των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Γενικά κάθε κράτος είχε αναπτύξει δικά του κανονιστικά κείμενα σε σχέση με το σχεδιασμό και τις απαιτήσεις των κατασκευών που αφορούν στον τομέα του πολιτικού μηχανικού. Ανατέθηκε λοιπόν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) η σύνταξη και η πλήρης επίβλεψη μεθόδων και τεχνικών απαιτήσεων για το σχεδιασμό των κατασκευών, με γνώμονα την ασφάλεια, τη λειτουργικότητα και την αντοχή τους. Το 1990 καθιερώθηκαν τα ευρωπαϊκά αυτά πρότυπα κανονιστικά κείμενα, αρχικά σε επίπεδο δοκιμαστικό και στη συνέχεια αποτέλεσαν βασικά κείμενα εφαρμογής στα κράτη μέλη που συμμετέχουν σε αυτή. Οι Ευρωκώδικες αποτελούνται από πενήντα οχτώ (58) Ευρωπαϊκά Πρότυπα τα οποία κατηγοριοποιούνται σε δέκα (10) κύριες κατηγορίες. Περιλαμβάνουν οδηγίες που σχετίζονται με τις απαιτήσεις για τη μελέτη ενός έργου που άπτεται του τομέα του πολιτικού μηχανικού, με κύριο στόχο την ασφάλεια και λειτουργικότητα του εν λόγω έργου. Καλύπτουν όλο το φάσμα των σχετικών αντικειμένων από την αρχή του σχεδιασμού ενός έργου και για όλα τα δομικά υλικά που εφαρμόζονται στις σύγχρονες κατασκευές (σκυρόδεμα, χάλυβας, σύμμικτες κατασκευές, ξύλο, τοιχοποιία, αλουμίνιο). Παράλληλα περιλαμβάνει και ανάλυση της συμπεριφοράς των κατασκευών στο σεισμό ή και την πυρκαγιά, όπως επίσης λαμβάνει υπόψη τη φύση του εδάφους θεμελίωσης.

Πίνακας 3-2 Μέρη Ευρωκωδίκων

Κωδικός Αριθμός	Τίτλος
EN 1990	Ευρωκώδικας 0: Βασικές Αρχές Σχεδιασμού
EN 1991	Ευρωκώδικας 1: Δράσεις
EN 1992	Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός Κατασκευών από Σκυρόδεμα
EN 1993	Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός Κατασκευών από Χάλυβα
EN 1994	Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός Σύμμικτων Κατασκευών από Χάλυβα και Σκυρόδεμα
EN 1995	Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός Κατασκευών από Ξύλο
EN 1996	Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός κατασκευών από Τοιχοποιία
EN 1997	Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός Σχεδιασμός
EN 1998	Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός
EN 1999	Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός Κατασκευών από Αλουμίνιο

Οι Ευρωκώδικες συμπληρώνονται από τα Εθνικά Προσαρτήματα, τα οποία περιέχουν παραμέτρους που υιοθετούνται από κάθε χώρα προκειμένου να επιτευχθεί ασφάλεια στον τομέα και στο επίπεδο που επιλέγει η χώρα, λόγω ειδικών συνθηκών που επικρατούν σε αυτή.

Οι μέθοδοι που αναπτύσσονται στα ευρωπαϊκά αυτά πρότυπα, βασίζονται στον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων των δράσεων που επιβάλλονται στην κατασκευή. Καθορίζεται τόσο η ποσοτική όσο και η ποιοτική τους διάσταση. Με τον τρόπο αυτό, περιγράφονται τα δυσμενέστερα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη των μελών του φορέα. Οπότε, είναι πολύ βασική η αρχική εκτίμηση των δράσεων, που θα επιβληθούν επί του φορέα της μελετώμενης κατασκευής, σε συνδυασμό με τις ιδιαίτερες τοπολογικές συνθήκες, καιρικές και γεωμορφολογικές. Εξετάζονται δηλαδή από τη μια, οι καταστάσεις του φορέα που δύναται να επιφέρουν αστοχία του φορέα ή τμήματος αυτού. Από την άλλη μελετάται, η πιθανή απουσία των ελάχιστων απαιτήσεων που πρέπει να ικανοποιεί ο φορέας ή μέλος αυτού.

3.5.2 Γενικές Αρχές

Προκειμένου να εφαρμοστούν οι Ευρωκώδικες για τη μελέτη μιας κατασκευής θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις, όπως:

- Επιλογή του φορέα και της μεθόδου ανάλυσης και σχεδιασμού του από έμπειρους επιστήμονες
- Η πραγματοποίηση της κατασκευής επιβάλλεται να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό
- Κατά τη φάση κατασκευής του έργου θα επιβλέπεται και θα ελέγχεται ποιοτικά από έμπειρο μηχανικό, σε όλα τα στάδια κατασκευής του μέχρι την τελική του παράδοση
- Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του έργου θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις που ορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές και κανονισμούς.
- Απαιτείται συντήρηση του φορέα
- Θα πληρούνται οι παραδοχές σχεδιασμού του φορέα κατά τη χρήση του.

Ο σχεδιασμός ενός έργου είναι αναγκαίο να διέπεται από τις εξής αρχές:

- Εξασφάλιση, αντοχής, λειτουργικότητας και ανθεκτικότητας του φορέα.
- Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός έργου λαμβάνεται υπόψη ότι μπορεί να είναι κατάλληλο για χρήση καθ' όλη την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του, και ανταποκρίνεται επαρκώς στις δράσεις, που θα εκτεθεί ο φορέας.
- Ακόμη και στην περίπτωση ειδικών συνθηκών, όπως η περίπτωση έκθεσης του φορέα σε πυρκαγιά, θα πρέπει ο φορέας να αντέχει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 καθορίζεται η ενδεικτική διάρκεια ζωής μιας κατασκευής. Για την Ελλάδα έχει πραγματοποιηθεί διαφοροποίηση των τιμών αυτών, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3-3).

Πίνακας 3-3 Ενδεικτική Διάρκεια Σχεδιασμού σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα του EC1

Κατηγορία Διάρκειας Ζωής Σχεδιασμού	Ενδεικτική Διάρκεια Ζωής Σχεδιασμού (χρόνια)	Παραδείγματα
1	10	Προσωρινές κατασκευές
2	25	Δομικά στοιχεία τα οποία μπορούν να αντικατασταθούν
3	25	Αγροτικές και παρεμφερείς κατασκευές
4	50	Κτίρια και παρεμφερή
5	100	Μνημειακά κτίρια, γέφυρες και άλλα τεχνικά έργα

(*)Οι φορείς και τα δομικά στοιχεία τα οποία μπορούν να αποσυναρμολογηθούν εν όψει επαναχρησιμοποίησης τους, δεν πρέπει να θεωρούνται προσωρινά

Όσον αφορά στις δράσεις σχεδιασμού που λαμβάνονται υπόψη για την ανάλυση του μελετώμενου έργου και θεωρείται ότι θα ενεργήσουν επί της κατασκευής, ταξινομούνται ανάλογα με τη μεταβολή τους στο χρόνο σε:

- Μόνιμες Δράσεις (G). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλα τα κατακόρυφα φορτία που για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου δε μεταβάλλεται θεωρητικά το μέγεθός τους.
- Μεταβλητές Δράσεις (Q). Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται κατακόρυφα φορτία που θα επιβληθούν επί του φορέα της κατασκευής και αφορούν στους ανθρώπους και τον εξοπλισμό που τοποθετείται εντός της κατασκευής, όπως και στα φορτία ανέμου και χιονιού.
- Τυχηματικές Δράσεις (A). Περιλαμβάνει φορτίσεις από ενδεχόμενες ειδικές συνθήκες (πυρκαγιά, εκρήξεις, πρόσκρουση οχήματος, κ.α.) .

Επιπλέον σε σεισμικές περιοχές όπως είναι και η Ελλάδα κατά το σχεδιασμό και την ανάλυση μιας κατασκευής μελετάται και η συμπεριφορά του έναντι των σεισμικών δράσεων (A_{Ed}).

Σε κάθε περίπτωση ελέγχεται ώστε η δράση σχεδιασμού (E_d) να είναι μικρότερη ή ίση της οριακής τιμής αντοχής (R_d) του φορέα.

3.5.3 Οριακές Καταστάσεις

Γενικά για το σχεδιασμό και την ανάλυση μιας μεταλλικής κατασκευής εξετάζονται βάσει του ευρωκώδικα οι οριακές καταστάσεις του φορέα. Κύριο μέλημα του μελετητή είναι η διασφάλιση της ασφάλειας της κατασκευής έναντι αστοχίας. Έπειτα είναι αναγκαία η ικανοποίηση ορισμένων απαιτήσεων και ελέγχων που σχετίζονται με την ποιότητα λειτουργίας της κατασκευής. Οπότε διακρίνουμε δύο κατηγορίες οριακών καταστάσεων:

- Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Ultimate limit States – ULS). Συνδέεται με την ασφάλεια των ανθρώπων έναντι της αντοχής και ευστάθειας του φορέα.
- Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (Servicibility Limit States – SLS). Αφορά στην άνεση των χρηστών και στην εξωτερική εμφάνιση του φορέα από έντονες και επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις με αποτέλεσμα την παραμόρφωση που μπορεί να εντοπιστεί στο φορέα ή σε μέλος αυτού.

Για τις οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας υπάρχει επιπλέον η διάκριση σε αναστρέψιμες και μη αναστρέψιμες. Στην περίπτωση των αναστρέψιμων καταστάσεων μετά την επιβολή των δράσεων επί της κατασκευής, αν αποσυρθούν οι δράσεις που τις προκάλεσαν, τότε τα αποτελέσματά τους δεν επιφέρουν συνέπειες επί του φορέα. Αντίθετα, στις μη αναστρέψιμες καταστάσεις λειτουργικότητας, μετά την απομάκρυνση των δράσεων ορισμένες συνέπειες παραμένουν στο φορέα, ως παραμένουσες παραμορφώσεις.

Ο έλεγχος επάρκειας ενός φορέα στη φάση σχεδιασμού του σε συνάρτηση των οριακών καταστάσεων αστοχίας ή λειτουργικότητας πραγματοποιείται για τις καταστάσεις σχεδιασμού, που περιγράφονται παρακάτω, και οι οποίες περιλαμβάνουν όλους τους πιθανούς συνδυασμούς δράσεων που επιβάλλονται στην κατασκευή τόσο σε επίπεδο κατασκευής όσο και κατά την προβλεπόμενη χρήση της. Συγκεκριμένα οι καταστάσεις σχεδιασμού ενός φορέα διακρίνονται ως:

- **Καταστάσεις Διαρκείας.** Αφορούν σε κανονικές συνθήκες χρήσης.
- **Παροδικές Καταστάσεις.** Αυτές έχουν σχέση με προσωρινές καταστάσεις που εκτίθεται ο φορέας.

- **Τυχηματικές καταστάσεις.** Σχετίζονται με καταστάσεις στις οποίες μπορεί να επιβληθούν επί του φορέα σε εξαιρετικές περιπτώσεις.
- **Καταστάσεις έναντι σεισμού.** Αφορά τις περιπτώσεις εκείνες που στο φορέα επιβάλλονται σεισμικά φορτία.

3.5.4 Συνδυασμοί Δράσεων

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις καταστάσεων σχεδιασμού, διαμορφώνονται αντίστοιχες εκφράσεις συνδυασμού δράσεων. Οι επιβαλλόμενες φορτίσεις εκτός των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας (γ), συνδέονται και με κατάλληλο συντελεστή συνδυασμού (ψ). Οι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων καθορίζονται από πίνακα (βλέπε Πίνακας 3-4), βάσει της χρήσης της κατασκευής ή της κατηγορίας της φόρτισης (άνεμος, χιόνι).

Πίνακας 3-4 Προτεινόμενες Τιμές Συντελεστών ψ_i για Κτίρια (EC1)

Δράσεις	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1)			
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: χώροι γραφείων	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)*			
Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{ m}$	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{ m}$	0,50	0,20	0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές ψ μπορούν να καθορισθούν από το Εθνικό Προσάρτημα.			
* Για χώρες οι οποίες δεν αναφέρονται παρακάτω, βλέπε συναφείς τοπικές συνθήκες.			

3.5.4.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Οι έλεγχοι στην οριακή κατάσταση αστοχίας πραγματοποιούνται για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- EQU: Απώλεια στατικής ισορροπίας του φορέα ή τμήματος αυτού.

- STR: Αστοχία σε εσωτερικό τμήμα ή έντονη παραμόρφωση του φορέα ή μέλους αυτού.
- GEO: Αστοχία ή έντονη παραμόρφωση που αφορά στο έδαφος.
- FAT: Αστοχία από κόπωση του φορέα ή μέλους του.

Οι συνδυασμοί δράσεων σχεδιασμού που εφαρμόζονται στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας είναι:

a) Για καταστάσεις Διάρκειας ή Παροδικές

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

b) Για Τυχηματικές καταστάσεις

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} (\text{ή } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

c) Για Σεισμικές καταστάσεις

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Οι εκφράσεις των συνδυασμών δράσεων είναι συμβολική. Αποτυπώνει την παράλληλη παρουσία των φορτίσεων που εκτιμάται ότι θα δράσουν επί του φορέα του έργου. Τα σύμβολα που υπεισέρχονται στις σχέσεις, εκφράζουν:

$G_{k,j}$: χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων

P : χαρακτηριστική τιμή της προέντασης

$Q_{k,1}$: χαρακτηριστική τιμή της επικρατέστερης μεταβλητής δράσης

$Q_{k,i}$: χαρακτηριστική τιμή των λοιπών μεταβλητών δράσεων i που συνυπάρχουν

A_d : τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης

A_{Ed} : τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης

$\gamma_{G,j}$: επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση j

γ_P : επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη προένταση

$\gamma_{Q,i}$: επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση i

$\psi_{0,j}$, $\psi_{1,i}$, $\psi_{2,i}$: συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων (Βλ. πίνακα 4)

Σημειώνεται ότι οι τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τους ελέγχους STR και GEO, προτείνεται να λαμβάνονται όπως παρακάτω:

$$\gamma_{G,j}=1,35$$

$$\gamma_{G,j}=1,00$$

$$\gamma_{Q,i} \text{ ή } \gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ (δυσμενής- ευνοϊκή=0)}$$

Οι συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται κατά τη διενέργεια των ελέγχων στον εξεταζόμενο φορέα είναι:

- Σε κατάσταση στατικής ισορροπίας του φορέα (EQU),

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

Θα πρέπει οπότε οι σταθεροποιητικές φορτίσεις ($E_{d,stab}$) να είναι πάντα μεγαλύτερες ή ίσες των αποσταθεροποιητικών φορτίσεων ($E_{d,dst}$), στις οποίες εκτίθεται ο φορέας.

- Σε κατάσταση αστοχίας ή υπερβολικής παραμόρφωσης μιας διατομής, ενός μέλους ή μιας σύνδεσης (STR, GEO), θα πρέπει να ικανοποιείται:

$$E_d \leq R_d$$

Δηλαδή, οι τιμές του αποτελέσματος των δράσεων σχεδιασμού (E_d) να είναι μικρότερες ή ίσες της αντίστοιχης αντοχής (R_d).

3.5.4.2 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Στην περίπτωση της Οριακής Κατάστασης Λειτουργικότητας κατά τον έλεγχο του φορέα, οι συνδυασμοί των φορτίσεων, είναι οι ακόλουθοι:

- a) Χαρακτηριστικός συνδυασμός

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

b) Συχνός συνδυασμός

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

c) Οιονεί μόνιμος συνδυασμός

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Όπως και στην οριακή κατάσταση αστοχίας, ομοίως και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, η απαίτηση ικανοποίησης κατά τον έλεγχο είναι:

$$E_d \leq C_d ,$$

Αυτό σημαίνει, ότι σε κάθε περίπτωση ο φορέας της κατασκευής θα πρέπει να αντιστέκεται (C_d) έναντι των οποιωνδήποτε εντατικών μεγεθών, που είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των δράσεων (E_d) που επιβάλλονται σε αυτόν.

3.5.5 Μέθοδοι Ανάλυσης

Αφού προσδιοριστεί ο φορέας της κατασκευής και επιλεγούν και οι δράσεις που θα ασκηθούν σε αυτή και κατά συνέπεια ορισθούν και οι συνδυασμοί των δράσεων, ακολουθεί ο έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι απαιτήσεις επάρκειας σε επίπεδο διατομής και μέλους του φορέα, προϋποθέτουν τον προσδιορισμό των δυσμενέστερων εντατικών και παραμορφωσιακών μεγεθών. Προηγείται της ανάλυσης η μόρφωση του σωστού προσομοιώματος του φορέα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων λαμβάνεται χωρικό. Είναι σημαντικό να περιλαμβάνονται όλα τα κύρια αλλά και δευτερεύοντα μέλη της κατασκευής (υποστυλώματα, δοκοί, σύνδεσμοι, συνδέσεις, δευτερεύουσες δοκοί, μηκίδες, τεγίδες, κ.α.). Είναι δυνατό να γίνεται απλοποίηση του φορέα κατά περίπτωση, χωρίς όμως να αφαιρούνται και τα αντίστοιχα φορτία, των μελών εκ των οποίων άγονται. Γενικά, η προσομοίωση πρέπει να αντικατοπτρίζει την πραγματική συμπεριφορά του φορέα, έπειτα από την επιβολή των δράσεων. Επίσης, όσον αφορά τον τρόπο που αλληλεπιδρούν το έδαφος θεμελίωσης με την ανωδομή, προβλέπονται ειδικοί

κανόνες, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικά 7 (EN 1997), που αφορά στον γεωτεχνικό σχεδιασμό.

Στις περιπτώσεις στατικά ορισμένων φορέων η επίλυση πραγματοποιείται με χρήση των εξισώσεων ισορροπίας του φορέα. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου ο φορέας είναι στατικώς αόριστος γίνεται επιπλέον χρήση εκφράσεων που στηρίζονται στη γεωμετρία και είναι γνωστές ως συνθήκες συμβιβαστού των παραμορφώσεων. Δυο είναι οι βασικές μέθοδοι ανάλυσης.

- Η **ελαστική ανάλυση**, η οποία βασίζεται στη θεώρηση ότι το υλικό συμπεριφέρεται ελαστικά, καθ' όλη τη διάρκεια της φόρτισης. Όσο αυξάνεται η τάση παρατηρείται αντίστοιχη αύξηση της παραμόρφωσης. Κατά τη θεωρία 1^{ης} τάξης η ανάλυση εκφράζεται στον αρχικό απαραμόρφωτο φορέα. Βασικά εφαρμόζονται δύο μέθοδοι για τον προσδιορισμό των εντατικών και παραμορφωσιακών μεγεθών. Η μέθοδος των δυνάμεων και η μέθοδος των μετακινήσεων. Από την άλλη, η ανάλυση του φορέα με τη θεωρία 2^{ης} τάξης, μπορεί να πραγματοποιηθεί δίχως κανένα περιορισμό. Επειδή όμως είναι πολύπλοκη μέθοδος απαιτείται η χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων, τα οποία στηρίζονται στη μέθοδο των μετακινήσεων. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, δεν ισχύει η αρχή της επαλληλίας, λόγω του ότι η σχέση τάσης-παραμόρφωσης δεν είναι γραμμική. Στην περίπτωση αυτή, λαμβάνεται υπόψη η παραμορφωμένη γεωμετρία του φορέα.
- Η **πλαστική ανάλυση**. Η συμπεριφορά του φορέα δεν είναι ελαστική. Η σχέση τάσης- παραμόρφωσης ακολουθεί διγραμμική μορφή. Επομένως μετά το όριο διαρροής (f_y) του υλικού του φορέα, το υλικό συνεχίζει να παραμορφώνεται, σε όλη την πλαστική περιοχή μέχρι την τελική κατάρρευσή του. Αρχικά με αύξηση του φορτίου έχουμε ανακατανομή των τάσεων σε μια διατομή του φορέα με επιπλέον αύξηση της φόρτισης πραγματοποιείται επιπλέον ανακατανομή των παραμορφωσιακών μεγεθών και σε άλλες διατομές του φορέα. Δημιουργείται πλαστική άρθρωση στο σημείο αυτό του φορέα, η οποία συνεπάγεται με άρθρωση, υπό την επιβολή φόρτισης. Ο φορέας τελικά καταρρέει, με την εμφάνιση τόσων πλαστικών αρθρώσεων ώστε τον καθιστούν σε μηχανισμό, μειώνοντας παράλληλα και το βαθμό υπερστατικότητάς του. Η αντοχή του

φορέα, που είναι αποτέλεσμα της ολκιμότητας του υλικού, εξαρτάται και από το συντελεστή σχήματος της διατομής (f), σε στατικά ορισμένους φορείς. Όπου,

$$f = \frac{M_{pl}}{M_{el}} = \frac{W_{pl}}{W_{el}}$$

M_{el} , W_{el} : Ροπή αρχικής διαρροής της διατομής, Ελαστική ροπή αντίστασης

M_{pl} , W_{pl} : Πλαστική ροπή διατομής, Πλαστική ροπή αντίστασης.

Σε στατικά αόριστες κατασκευές η αντοχή επηρεάζεται και από τη λειτουργία της ανακατανομής των ροπών επί της διατομής.

3.5.6 Ευρωκώδικας 3

Το κανονιστικό Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 1993, αναφέρεται στο σχεδιασμό των κατασκευών από χάλυβα. Αποτελείται από 6 μέρη. Συγκεκριμένα τα μέρη αυτά περιλαμβάνουν:

Μέρος 1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια

Μέρος 2: Γέφυρες από Χάλυβα

Μέρος 3: Πύργοι, Ιστοί και Καπνοδόχοι

Μέρος 4: Σιλό, Δεξαμενές και Αγωγοί

Μέρος 5: Χαλύβδινοι Πάσσαλοι

Μέρος 6: Κατασκευές που στηρίζουν Γερανογέφυρες

Το πρώτο μέρος (Μέρος 1) διακρίνεται στις εξής επιμέρους κατηγορίες:

EN 1993-1-1 Γενικές αρχές

EN 1993-1-2 Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

EN 1993-1-3 Λεπτότοιχα μέλη ψυχρής έλασης

EN 1993-1-4 Ανοξείδωτος χάλυβας

EN 1993-1-5 Κύρτωση πλακών

EN 1993-1-6 Κελύφη

EN 1993-1-7 Πλάκες φορτιζόμενες εκτός επιπέδου

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι προκειμένου να μελετηθεί μια χαλύβδινη κατασκευή δεν λαμβάνονται υπόψη μόνο ο Ευρωκώδικας 3, που αφορά στον

σχεδιασμό των κατασκευών από χάλυβα, αλλά απαιτείται να εφαρμόζονται και παράμετροι, που προδιαγράφονται σε άλλα τεύχη του Ευρωκώδικα (Ευρωκώδικας 0, 1, 4, 7, 8, 9).

3.5.7 Ατέλειες

Μία μεταλλική κατασκευή στην πραγματικότητα συμπεριφέρεται διαφορετικά από τη μελέτη. Κατά τη διαδικασία ανάλυσης του φορέα γίνονται διάφορες θεωρήσεις οι οποίες πλησιάζουν σε μεγάλο βαθμό στον τρόπο που ο φορέας συμπεριφέρεται στην πράξη. Σύμφωνα με τους κανονισμούς, για το λόγο αυτό, απαιτείται να λαμβάνονται υπόψη φαινόμενα τα οποία είναι αποτέλεσμα έπειτα από την επιρροή φόρτισης του φορέα και ευθύνονται για τη μείωση της φέρουσας ικανότητας του. Τα φαινόμενα αυτά είναι γνωστά ως ατέλειες και αφορούν σε γεωμετρικές και δομικές ατέλειες. Οι γεωμετρικές ατέλειες έχουν σχέση με γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φορέα, τα οποία υφίστανται αλλοίωση σε σχέση με την αρχική τους κατάσταση. Ενώ, οι δομικές ατέλειες έχουν να κάνουν με τάσεις που αναπτύσσονται εντός του υλικού και έχουν ως συνέπεια την παραμόρφωση μέλους του φορέα, ακόμη και όταν δεν επιβάλλεται οποιαδήποτε φόρτιση. Δηλαδή δημιουργούνται κατά τη φάση παραγωγής του μέλους.

Ο Ευρωκώδικας 3, αντιμετωπίζει τις ατέλειες χρησιμοποιώντας τιμές, μορφώνοντας εκφράσεις, βάσει της γεωμετρίας του φορέα ή μέλους του, που μπορούν να αντικαταστήσουν τα αποτελέσματα που δημιουργούν, οι αποκλίσεις, που αναφέρθηκαν παραπάνω. Κατά την ανάλυση του φορέα μιας μεταλλικής κατασκευής, βάσει του Ευρωκώδικα 3, είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις των ατελειών, οι οποίες διακρίνονται σε:

- Καθολικές ατέλειες πλαισίων (δίχως πλευρική εξασφάλιση) και συστημάτων δυσκαμψίας (με πλευρική εξασφάλιση) και
- Τοπικές ατέλειες των μελών, έναντι ευστάθειας τους

3.5.8 Βασικοί Έλεγχοι Αντοχής και Λειτουργικότητας

3.5.8.1 Κατάταξη Διατομών

Σημειώνεται ότι προηγείται της ανάλυσης η κατάταξη των διατομών των μελών του φορέα. Είναι απαραίτητη η διαδικασία αυτή, προκειμένου να επιλεγεί η μέθοδος

ανάλυσης και των ελέγχων. Από την ανάλυση προκύπτουν τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη, ωστόσο θα καθοριστεί και με ποιο τρόπο θα πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των διατομών. Βάσει του συνδυασμού των μεθόδων ανάλυσης συναρτήσει των μεθόδων υπολογισμού της αντοχής των διατομών των μελών, υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3-5, που ακολουθεί.

Πίνακας 3-5 Πιθανοί Συνδυασμοί Μεθόδων Ανάλυσης και Μεθόδων Υπολογισμού Αντοχής των Διατομών

Μέθοδος	Μέθοδος Ανάλυσης (Υπολογισμός Εντατικών Μεγεθών)	Μέθοδοι Ανάλυσης και Προσδιορισμού της Αντοχής Διατομής Μέλους
I	Πλαστική	Πλαστική
II	Ελαστική	Πλαστική
III	Ελαστική	Ελαστική
IV	Ελαστική	Ελαστική (με ενεργές διατομές)

Η διάκριση των διατομών ενός μέλους, καθορίζει την αντοχή της διατομής ώστε να αναλάβει μεγάλες παραμορφώσεις δίχως να επέλθει η διαρροή της, έναντι τοπικού λογισμού, με αντίστοιχη ικανότητα σε στροφή.

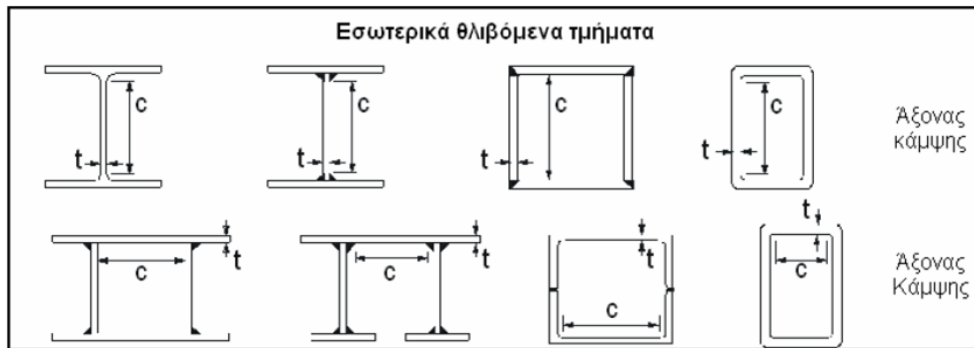
Οι διατομές κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες και εξαρτώνται από τη γεωμετρία τους αλλά και από το είδος της φόρτισης. Εξετάζεται το πέλμα και ο κορμός και αν ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες τότε η διατομή κατατάσσεται στην αμέσως μεγαλύτερη κατηγορία. Ελέγχεται ο λόγος πλάτους σκέλους c (κορμός ή πέλμα) της διατομής προς το λόγο πάχους t αυτής (c/t), σε συνάρτηση με την ποιότητα του χάλυβα της διατομής. Η παρακάτω σχέση,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

όπου f_y είναι το όριο διαρροής σε MPa του χάλυβα της εξεταζόμενης διατομής, συγκρίνεται με το λόγο c/t και όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 6 προκύπτει η

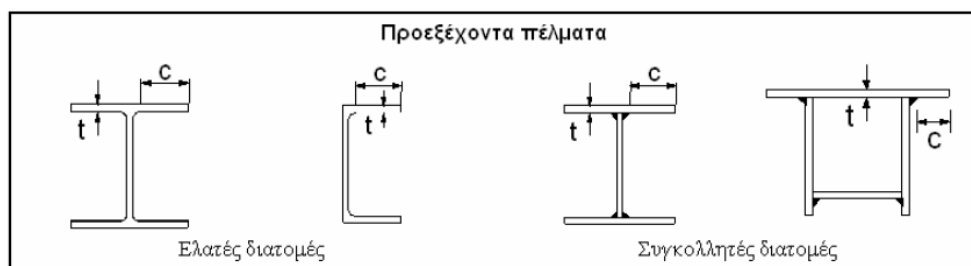
κατάταξη της εξεταζόμενης διατομής. Στην περίπτωση που μια διατομή δεν ικανοποιεί τα όρια των κατηγοριών 1,2 ή 3, τότε η διατομή ανήκει στην κατηγορία 4. Σε αυτή την κατηγορία, η διατομή ή μέρος αυτής, μέσα στην ελαστική περιοχή θα εμφανίσει τοπικό λυγισμό.

Πίνακας 3-6 Κατάταξη Εσωτερικών Θλιβόμενων Στοιχείων



Κατηγορία	Τμήμα που υλόκεται σε κάμψη	Τμήμα που υλόκεται σε θλίψη	Τμήμα που υλόκεται σε κάμψη και θλίψη			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	όταν $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ όταν $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Πίνακας 3-7 Κατάταξη Προεξέχοντων Τμημάτων Διατομής



Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη				
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3		Για k_{σ} βλέπε EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

3.5.9 Έλεγχοι στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας συμπεριλαμβάνονται έλεγχοι που αφορούν στην ασφάλεια του φορέα έναντι αστοχίας. Διενεργούνται έλεγχοι σε επίπεδο διατομής, όπου εξετάζεται η αντοχή αυτών και επιπλέον, ελέγχεται η ευστάθεια μελών του φορέα. Η ικανοποίηση της επάρκειας γίνεται για όλες τις φάσεις του έργου, τόσο κατά την ανέγερση όσο και κατά τη λειτουργία του. Γενικά όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θα πρέπει να ισχύει η απαίτηση ότι η τιμή των αποτελεσμάτων των δράσεων σχεδιασμού θα πρέπει να υπερτερεί της τιμής αντοχής. Η τιμή σχεδιασμού της αντοχής (R_d), προσδιορίζεται με διαίρεση της χαρακτηριστικής τιμής (R_k) με έναν συντελεστή ασφαλείας του υλικού γ_{M1} . Από το Εθνικό Προσάρτημα του Ευρωκώδικα 3 καθορίζονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας γ για κτίρια ως κάτωθι:

$\gamma_{M0}=1,00$ (αντοχή διατομών, έναντι διαρροής ανεξάρτητα της κατηγορίας διατομής)

$\gamma_{M1}=1,00$ (αντοχή μελών έναντι απώλειας της ευστάθειας)

$\gamma_{M2}=1,25$ (αντοχή διατομών έναντι εφελκυστικής θραύσης)

Συνοπτικά, οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται στην οριακή κατάσταση αστοχίας αφορούν την αντοχή σε επίπεδο διατομής και επίπεδο μέλους, και συμπεριλαμβάνουν τους ακόλουθους:

Έλεγχοι Αντοχής Διατομής

- Έλεγχος αντοχής σε εφελκυσμό
- Έλεγχος αντοχής σε θλίψη
- Έλεγχος αντοχής σε κάμψη (πλευρικά εξασφαλισμένα μέλη)
- Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα
- Συνδυασμός των παραπάνω

Έλεγχοι Αντοχής Μελών

- Έλεγχος λόγω αξονικής θλιπτικής δύναμης
- Έλεγχος σε κάμψη (Πλευρικός λυγισμός)
- Έλεγχος σε θλίψη και κάμψη (Στρεπτοκαμπτικός λυγισμός)

Έλεγχος Ασφάλειας σε Πυρκαγιά

Ωστόσο, στην οριακή κατάσταση αστοχίας συμπεριλαμβάνεται και ο έλεγχος έναντι ασφάλειας σε περίπτωση πυρκαγιάς. Η επίδραση αύξησης της θερμότητας στο πλήθος των δομικών υλικών συμβάλει στην απώλεια αντοχής των μελών και κατ' επέκταση στην ευστάθεια του φορέα της κατασκευής. Γενικά, οι απαιτήσεις που καθορίζονται από τον ευρωκώδικα για την εξασφάλιση της ασφάλειας μιας κατασκευής σε συνθήκες πυρκαγιάς είναι οι κάτωθι:

Κατά τη χρονική περίοδο εκδήλωσης της πυρκαγιάς να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του φορέα, ώστε να μπορούν οι χρήστες να εγκαταλείψουν το κτίριο, αλλά και οι ομάδες διάσωσης να έχουν την απαραίτητη ασφάλεια κατά τη διάρκεια συμβολής τους. Επιπλέον θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο περιορισμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς και του καπνού τόσο μέσα στο ίδιο το κτίριο όσο και σε τυχόν γειτονικά κτίρια ή κατασκευές.

Ο έλεγχος αντοχής σε όλη τη χρονική περίοδο έκθεσης σε περίπτωση πυρκαγιάς πραγματοποιείται με την ικανοποίηση της σχέσης:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$$

όπου, $E_{fi,d}$: το αποτέλεσμα των δράσεων σχεδιασμού στην κατάσταση πυρκαγιάς. $E_{fi,d} = n_{fi} E_d$, (n_{fi} μειωτικός συντελεστής). Η τιμή του μειωτικού συντελεστή n_{fi} μπορεί να ληφθεί 0,65, εκτός από την περίπτωση κατασκευής που η χρήση της βάσει του προτύπου EN 1991-1-1, ανήκει στην κατηγορία E, οπότε στην περίπτωση αυτή η συνιστώμενη τιμή είναι 0,70.

$R_{fi,d,t}$: η αντοχή σχεδιασμού στην κατάσταση πυρκαγιάς. Υπολογίζεται με βασική θεώρηση την ομοιόμορφη διανομή της θερμοκρασίας στη διατομή, λαμβάνοντας υπόψη τις μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες.

Στον προσδιορισμό της αντοχής υπεισέρχεται ένας μειωτικός συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από το δείκτη πυραντίστασης του εξεταζόμενου μέλους. Δείκτης πυραντίστασης καλείται ο χρόνος κατά τον οποίο ένα στοιχείο μιας κατασκευής η οποία εκτίθεται σε πυρκαγιά, για ένα χρονικό διάστημα, αντιστέκεται στα θερμικά αποτελέσματα της φωτιάς. Πέραν από μια ορισμένη τιμή θερμοκρασίας, η οποία χαρακτηρίζεται ως κρίσιμη θερμοκρασία, το μέλος χάνει την αντοχή του και επέρχεται η αστοχία.

Για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς, σε μια κατασκευή, η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η επένδυση του μεταλλικού φορέα με κατάλληλα μονωτικά υλικά, τοποθετούμενα σε στρώσεις. Εφαρμόζονται δύο βασικές μέθοδοι οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Επένδυση των μελών από ειδικές **πυράντοχες πλάκες**. Αποτελούνται από ορυκτές ίνες και πρόσμικτα και συμπεριφέρονται με ιδιαίτερη αντοχή στη φωτιά. Χρησιμοποιούνται για τη διαμερισματοποίηση της κατασκευής και ως ψευδοροφή. Μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε εξωτερικά όσο και σε εσωτερικά στοιχεία της κατασκευής με αισθητικά αποδεκτό αποτέλεσμα από αρχιτεκτονικής απόψεως. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν αντίσταση σε χτυπήματα, σκουριά και φθορά. Δεν επηρεάζονται από την υγρασία.

- Εξειδικευμένες **πυράντοχες βαφές**. Πρόκειται για ειδικά κονιάματα τα οποία εφαρμόζονται σε τέσσερις στρώσεις συνήθως με ψεκασμό. Εκτεταμένη είναι η χρήση βερμικουλίτη ή ορυκτών ινών με συνδετικό υλικό το τσιμέντο ή γύψο. Εξαιτίας όμως του τελικού αποτελέσματος, η χρήση τους περιορίζεται σε μη εμφανής περιοχές, του φέροντος οργανισμού.

3.5.10 Έλεγχοι στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Από την άλλη, οι έλεγχοι που γίνονται στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα της συμπεριφοράς του φορέα έπειτα από τη φόρτιση του, σε κατάσταση λειτουργίας του. Αυτό που εξετάζεται είναι το αποτέλεσμα των μετατοπίσεων του φορέα και των δυναμικών επιρροών, να είναι σε ανεκτό επίπεδο των χρηστών. Υπολογίζονται οι κατακόρυφες και οριζόντιες μετατοπίσεις και πραγματοποιείται η σύγκρισή τους με επιτρεπόμενες τιμές που ορίζονται από τον Ευρωκώδικα 3 και το Εθνικό Προσάρτημα EN1993-1-1. Λαμβάνονται υπόψη οι μετατοπίσεις σε περιπτώσεις στεγών, πατωμάτων αλλά και σε περιπτώσεις ειδικών συνθηκών όπου η επίπτωση της μετατόπισης συμβάλλει στην εξωτερική εικόνα της κατασκευής. Το συνολικό βέλος δ_{max} υπολογίζεται από την επίδραση τόσο των μόνιμων όσο και από των κινητών φορτίων, αλλά και από το αρχικό αντιβέλος (δ_0) στην αφόρτιστη κατάσταση.

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

δ_1 : βέλος λόγω μόνιμων δράσεων,

δ_2 : βέλος λόγω μεταβλητών δράσεων

Επιπρόσθετα, μελετάται η ταλάντωση που οφείλεται στην ύπαρξη μηχανήματος εντός μιας κατασκευής, αλλά και στον άνεμο σε πιο εύκαμπτες κατασκευές.

Για να προβλεφθούν όλες οι παραπάνω περιπτώσεις σε επίπεδο λειτουργίας της κατασκευής κατά το σχεδιασμό αυτής και βάσει του Ευρωκώδικα προδιαγράφονται ανά περίπτωση οριακές τιμές οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου η χρήση της κατασκευής να είναι ανεκτή σε κάθε περίπτωση από τους χρήστες αυτής. Συγκεκριμένα ισχύει:

Κατακόρυφες Μετατοπίσεις

Φορέας	δ_{\max}	δ_1
Μη βατές στέγες	L/200	L/250
Πατώματα και βατές στέγες	L/250	L/300

L: άνοιγμα μέλους

Οριζόντιες Μετατοπίσεις

Φορέας	Μετατόπιση
Μονώροφα κτίρια χωρίς γερανογέφυρες	$u \leq H/150$
Πολύροφα κτίρια	Ευρωκώδικας 8 (Αντισεισμικός Κανονισμός)

Ταλαντώσεις (εκτός των περιπτώσεων δυναμικής ανάλυσης)

Φορέας	Ιδιοσυχνότητα-Μετατόπιση
Πατώματα συνήθων κτιρίων	3Hz , $\delta_1 + \delta_2 \leq 28\text{mm}$ (για συχνό συνδυασμό δράσεων)
Πατώματα αιθουσών χορού, γυμναστικής και παρόμοιων χρήσεων	5Hz , $\delta_1 + \delta_2 \leq 10\text{mm}$ (για συχνό συνδυασμό δράσεων)

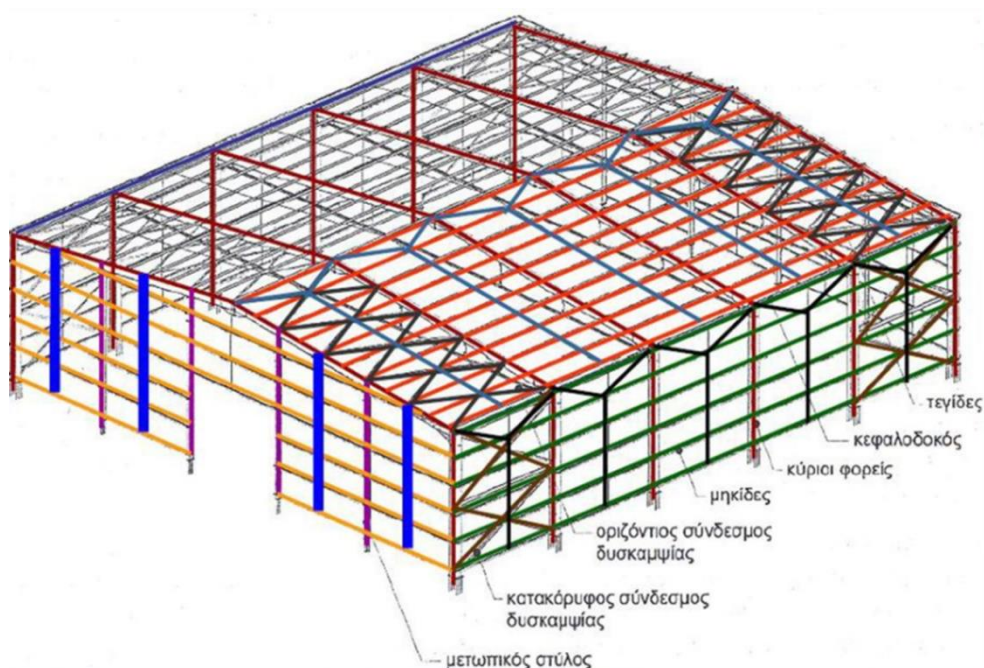
Κεφάλαιο 4

ΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

4.1 Γενικά

Η πιο συνηθισμένη μορφή φορέα εξολοκλήρου από χάλυβα είναι αυτή των μονώροφων κτιρίων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως αποθηκευτικοί, αθλητικοί, βιομηχανικοί, εμπορικοί, εκθεσιακοί χώροι ή ακόμη και στέγαστρα σταθμών, χώρων στάθμευσης, διοδίων κα. Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένα τυπικό μεταλλικό κτίριο, και τα οποία φαίνονται και στην Εικόνα 4-1, είναι:

- Κύριος φορέας - Πλαίσια (Υποστυλώματα και ζύγωμα),
- Κεφαλοδοκός,
- Τεγίδες/Μηκίδες,
- Μετωπικοί στύλοι
- Οριζόντιοι και κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας,
- Ελκυστήρες τεγίδων και μηκίδων.



Εικόνα 4-1 Σχηματική Απεικόνιση Κύριων Μελών Μεταλλικού Μονώροφου Κτιρίου (Φωτόπουλος, 2018)

Στην περίπτωση των πολυώροφων κτιρίων από χάλυβα, ο φέρων οργανισμός αυτών δεν είναι αμιγώς μεταλλικός. Υπάρχουν κύρια στοιχεία του φέροντος οργανισμού, όπως οι πλάκες, που αποτελούνται από σκυρόδεμα και συνδέονται με διατμητικούς συνδέσμους με τις δοκούς ή ακόμη μπορούν να είναι και σύμμικτες (σκυρόδεμα και χάλυβα). Επιπρόσθετα μπορούν να κατασκευαστούν και οι δοκοί και τα υποστυλώματα με σύμμικτη συμπεριφορά. Σε αυτή την κατηγορία τα κύρια μέρη του φορέα διαφοροποιούνται σε σχέση με τα μονώροφα μεταλλικά κτίρια, και συνίστανται από :

- Υποστυλώματα,
- Κύριες δοκούς, που συνδέονται με τα υποστυλώματα,
- Δευτερεύουσες δοκούς, οι οποίες συνδέονται με τις κύριες δοκούς,
- Κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας και
- Πλάκες

Στα πολυώροφα κτίρια ο φορέας αποτελείται από “χωρικό” πλαίσιο, το οποίο συνίσταται από τα υποστυλώματα και τις κύριες δοκούς και κατά τις δύο διευθύνσεις.

Γενικά, η επιλογή του φορέα και των μελών που θα περιλαμβάνει, καθορίζονται σε πρώτη φάση στην προμελέτη, όπου επιλέγεται σύμφωνα με τις διαστάσεις του κτιρίου, ο τύπος του κύριου φορέα και οι αποστάσεις μεταξύ των πλαισίων. Διαμορφώνεται ο φέρων οργανισμός του κτιρίου με αρχική εκτίμηση των διατομών των μελών του φορέα, λαμβάνοντας υπόψη τον ασφαλή τρόπο μεταβίβασης των οριζόντιων και κατακόρυφων φορτίων στη θεμελίωση. Στα πολυώροφα κτίρια πραγματοποιείται ο καθορισμός του κύριου χωρικού πλαισίου, με τις θέσεις των υποστυλωμάτων και των δοκών. Επιπλέον ορίζονται οι δευτερεύουσες δοκοί και το σύστημα των πλακών που θα επιλεγεί. Τέλος και στις δύο περιπτώσεις κτιρίων προσδιορίζεται η εξασφάλιση της πλευρικής ευστάθειας.

Στη διαδικασία επιλογής και μόρφωσης του φορέα υπεισέρχονται διάφορες παράμετροι όπως η λειτουργικότητα της κατασκευής, η ασφάλεια, το κόστος καθώς και οι περιορισμοί αρχιτεκτονικών και ηλεκτρομηχανολογικών απαιτήσεων. Όλα τα ανωτέρω θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από το μελετητή, ώστε να επιτυγχάνεται κατά το δυνατό η βέλτιστη συμπεριφορά του φορέα, η οποία θα αποτελέσει τελικά και το σωστό σχεδιασμό της κατασκευής.

4.2 Κύριοι Φορείς Μονώροφων Μεταλλικών Κτιρίων

Ο κύριος φορέας αυτών των κτιρίων αποτελείται από πλαίσια, τα οποία συνίστανται από υποστυλώματα και ζυγώμα. Οι διατομές των μελών επιλέγονται να είναι μορφής I, τα υποστυλώματα συνηθίζεται να είναι τύπου HEA ή HEB, λόγω της μεγαλύτερης ανοχής τους σε λυγισμό και τα ζυγώματα επιλέγονται να είναι τύπου IPE. Τα πλαίσια τοποθετούνται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, κατά κανόνα 6 με 6,50μ. Παραλαμβάνουν τόσο τα κατακόρυφα όσο και τα οριζόντια φορτία που δρουν στο επίπεδό τους, επί της κατασκευής.

Μεγάλη σημασία δίνεται και στον τρόπο σύνδεσης, υποστυλώματος και ζυγώματος προκειμένου να επιτευχθεί η ευστάθεια εν μέρει του πλαισίου και συνολικά της κατασκευής. Σημειώνεται ότι οι κόμβοι αυτοί θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα παραλαβής ροπών. Για την περαιτέρω ενίσχυση του κόμβου τοποθετείται στοιχείο αποτελούμενο από τμήμα της διατομής του ζυγώματος. Η κλίση των ζυγωμάτων εξαρτάται από το άνοιγμα του πλαισίου και το επιθυμητό ύψος της κατασκευής, πιθανές αρχιτεκτονικές απαιτήσεις και την απορροή των ομβρίων. Συνήθως η κλίση αυτή κυμαίνεται μεταξύ 6-20%.

Το πλαίσιο δύναται να μορφωθεί ως αμφιαρθρωτό ή αμφίπακτο. Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης είναι απόρροια των εδαφολογικών συνθηκών. Έτσι στην περίπτωση χαλαρών εδαφών προτιμάται η αρθρωτή λύση. Ανάλογα με το πλάτος του μελετώμενου κτιρίου είναι δυνατό να διαμορφώνονται πολύστυλα πλαίσια. Τα ενδιάμεσα υποστυλώματα συνδέονται αμφιαρθρωτά, οπότε παραλαμβάνουν μόνο αξονικές δυνάμεις.

Τα κατακόρυφα φορτία ευθύνονται για τις μεγάλες τιμές καμπτικών ροπών που εμφανίζονται επί του πλαισίου, αλλά επιπλέον σε αυτά οφείλεται και η εμφάνιση πλευρικών ωθήσεων στη θεμελίωση. Για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης, εισάγεται στη στάθμη του κόμβου υποστυλώματος - ζυγώματος ο ελκυστήρας. Παρά το γεγονός ότι συμβάλλει στη μείωση των καμπτικών ροπών, σημαντικό μειονέκτημα τοποθέτησής του είναι ότι το διαμορφωμένο πλαίσιο χαρακτηρίζεται ως εύκαμπτο. Οι μειωμένες τιμές καμπτικών ροπών οδηγούν σε επιλογή μικρότερων διατομών. Επιπλέον ειδική μέριμνα θα πρέπει να λαμβάνεται ως προς την μελέτη ευστάθειας,

στις περιπτώσεις πλαισίων, όπου η κλίση των ζυγωμάτων είναι πολύ μικρή και ο ελκυστήρας προσδίδει όχι αμελητέες θλιπτικές δυνάμεις στο ζύγωμα.

Ενδεικτικά η μόρφωση των κύριων φορέων σε μονώροφα κτίρια διακρίνεται στις περιπτώσεις που περιγράφονται παρακάτω:

Μεταλλικά δικτύωματα που εδράζονται σε υποστυλώματα από σκυρόδεμα. Στο πάνω μέρος των υποστυλωμάτων κατά τη διεύθυνση μιας κιονοστοιχίας εδράζεται δοκός επίσης από οπλισμένο σκυρόδεμα, στην οποία εδράζεται το δίκτυωμα. Η έδραση επί της δοκού σκυροδέματος πραγματοποιείται με αγκύρια που τοποθετούνται κατά τη φάση σκυροδέματος πραγματοποιείται με αγκύρια που τοποθετούνται κατά τη φάση σκυροδέτησης στη δοκό και μια πλάκα συναρμογής, η λειτουργία της οποίας περιορίζεται στη διατήρηση σταθερών αποστάσεων μεταξύ των αγκυρίων. Έχουν την δυνατότητα να γεφυρώνουν αποστάσεις μέχρι και 50μ ανοίγματος. Αποτελούν επίπεδους δικτυωτούς φορείς, οι οποίοι συνίστανται από στοιχεία, κάτω πέλματος, άνω πέλματος, ορθοστάτες και διαγώνιους. Οι διατομές που χρησιμοποιούνται για αυτά τα μέλη είναι γωνιακά (ισοσκελή, ανισοσκελή), διατομές U και κοίλες (τετραγωνικές, ορθογωνικές ή κυκλικές). Η σύνδεση μεταξύ αυτών των στοιχείων συντελείται με κοχλίωση ή συγκόλληση και τη χρήση ειδικού ελάσματος όταν πρόκειται για διατομές γωνιακές ή U, για τα μέλη που συντρέχουν στον κόμβο.

- Ολόσωμα μεταλλικά πλαίσια, αποτελούν και την πιο διαδεδομένη επιλογή σε περιπτώσεις βιομηχανικών κτιρίων και αποθηκών.
- Πλαίσια με ολόσωμα μέλη και ελκυστήρα
- Πλαίσια με ολόσωμα υποστυλώματα και δικτυωτά ζυγώματα. Αποτελεί συνδυασμό των ολόσωμων πλαισιωτών φορέων με ζυγώματα δικτυωμάτων. Εφαρμόζονται σε περιπτώσεις ανοιγμάτων μεγαλύτερων των 30m. Το δίκτυωμα συνδέεται στο υποστύλωμα μέσω ελάσματος, το οποίο είναι συγκολλημένο στο πέγμα του υποστυλώματος και σε αυτό συγκολλούνται ή κοχλιώνονται οι ράβδοι που συντρέχουν στο ακραίο μέρος του δικτυώματος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να λαμβάνεται ως προς την παραλαβή της τέμνουσας από το υποστύλωμα στην περιοχή μεταξύ άνω και κάτω πέλματος του δικτυώματος. Πολύ σημαντική είναι και η εξασφάλιση της πλευρικής ευστάθειας σε μια περιοχή του δικτυώματος κοντά στο ένα από τα δύο

υποστυλώματα, όπου κατά την επιρροή οριζόντιων δράσεων, βρίσκεται υπό θλίψη.

4.3 Δοκοί

Στα μονώροφα κτίρια τα οριζόντια γραμμικά στοιχεία που αποτελούν σημαντικό στοιχείο του φορέα αποτελούν οι κεφαλοδοκοί. Αυτοί εδράζονται επί των κεφαλών των υποστυλωμάτων και καλύπτουν όλο το μήκος του κτιρίου, διατηρώντας σταθερή την απόσταση μεταξύ των κύριων πλαισίων του φορέα.

Στα πολώροφα κτίρια τα οριζόντια μέλη που αποτελούν και τα βασικά στοιχεία του φορέα, μπορούν να διακριθούν στις κύριες και στις δευτερεύουσες δοκούς. Οι κύριες δοκοί συνδέονται στα άκρα τους, με δύο διαδοχικά υποστυλώματα και το άνοιγμά τους συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 5 - 18 m. Είναι όμως πιθανή και η διάταξη όπου οι κύριες δοκοί διαμορφώνονται σε συνέχεια και διακόπτονται τα υποστυλώματα στον αντίστοιχο όροφο. Τότε η απαιτούμενη ευστάθεια, εξασφαλίζεται είτε από σύστημα κατακόρυφων συνδέσμων, είτε από την ύπαρξη τοιχωμάτων. Οι δευτερεύουσες δοκοί χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου παρουσιάζονται μεγάλα ανοίγματα του φορέα, προκειμένου να μειωθούν τα ανοίγματα των πλακών, για την αποφυγή βελών κάμψης.

Οι δευτερεύουσες δοκοί συνδέουν δύο διαδοχικές κύριες δοκούς. Αυτές οι δοκοί λειτουργούν ως αμφιέριστες δοκοί. Η σύνδεση με τις κύριες δοκούς γίνεται με απλή σύνδεση τέμνουσας. Η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω σύνδεσης γωνιακών που κοχλιώνονται τόσο στη δευτερεύουσα όσο και στην κύρια δοκό. Άλλη περίπτωση σύνδεσης αποτελεί η χρήση μετωπικής πλάκας στη δευτερεύουσα δοκό, η οποία κοχλιώνεται σε άλλη πλάκα που έχει συγκολληθεί στην κύρια δοκό. Επιπλέον μπορεί να συνδεθεί δευτερεύουσα δοκός με κύρια μέσω πλάκας στο πάνω πέλμα της δευτερεύουσας δοκού. Η θέση των δευτερευουσών δοκών σε σχέση με αυτή των κύριων δύναται είτε να είναι α) στην ίδια στάθμη, β) είτε οι δευτερεύουσες δοκοί να «πατάνε» πάνω στις κύριες, γ) είτε να βρίσκονται σε χαμηλότερη θέση, μέσα στο ύψος του κορμού της κύριας. Ανάλογα με την επιλογή της θέσης των δευτερευουσών δοκών έναντι των κύριων δοκών εξαρτάται και η τοποθέτηση της πλάκας καθώς καθορίζεται ταυτόχρονα και η λειτουργία των δοκών. Η πιο συνηθισμένη διαμόρφωση δοκών είναι η περίπτωση όπου κύριες και δευτερεύουσες βρίσκονται σε

μία ενιαία στάθμη. Τότε η πλάκα επικάθεται τόσο στις κύριες όσο και στις δευτερεύουσες δοκούς, οπότε και οι δύο λειτουργούν ως σύμμικτα μέλη.

Στα κτίρια που δεν προβλέπονται δευτερεύουσες δοκοί, η διατομή των κύριων δοκών είναι συνήθως ασύμμετρη, έχει μικρότερο άνω πέλμα και μεγαλύτερο κάτω πέλμα. Τα χαλυβδόφυλλα της πλάκας τοποθετούνται με τις αυλακώσεις παράλληλα στις κύριες δοκούς. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε σύμμικτη λειτουργία των δοκών αυτών. Σε αντίθετη περίπτωση που η μελέτη προβλέπει και χρήση δευτερευουσών δοκών, τότε τα χαλυβδόφυλλα τοποθετούνται με τις αυλακώσεις παράλληλα στις κύριες δοκούς.

Η σύνδεση των κύριων δοκών με τα υποστυλώματα μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρεις τρόπους:

1. Απλές συνδέσεις τέμνουσας, οι οποίες λειτουργούν ως αρθρώσεις και παραλαμβάνουν μόνο δύναμη, έχοντας στροφική ικανότητα.
2. Συνδέσεις ροπής, οι οποίες λειτουργούν ως πακτώσεις και παραλαμβάνουν δύναμη και ροπή και
3. Ημιάκαμπτες συνδέσεις, με λειτουργία μεταξύ πάκτωσης και άρθρωσης.

Η συνηθέστερη διατομή που επιλέγεται είναι μορφής I, HEA ή IPE, απλής ή διπλής συμμετρίας. Για τη διέλευση των αγωγών των Η/Μ δικτύων, είναι δυνατό να ανοιχθούν οπές στον κορμό, όπου προβλέπεται από την αντίστοιχη ηλεκτρομηχανολογική μελέτη. Για την εξασφάλιση της πυροπροστασίας του κτιρίου οι δοκοί εγκιβωτίζονται σε σκυρόδεμα λειτουργώντας ως σύμμικτες διατομές..

4.4 Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας

Οι οριζόντιες δυνάμεις που δρουν στο επίπεδο της επικάλυψης, παραλαμβάνονται αρχικά από τους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας μέσω αξονικών δυνάμεων και στη συνέχεια διαμέσου των κύριων δοκών, ισοκατανέμονται στους κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας και από εκεί στη θεμελίωση. Οι τρεις (3) περιπτώσεις κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι :

- Οι σύνδεσμοι τύπου X, όπου ενεργή είναι η εφελκυόμενη μόνο διατομή.

- Οι σύνδεσμοι V ή Λ και
- Σύνδεσμοι K

Στις περιοχές με σεισμική δραστηριότητα, στα μελετώμενα μεταλλικά κτίρια οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας αποτελούν τα μέλη που απορροφούν ενέργεια και διαστασιολογούνται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, στην οριακή κατάσταση αστοχίας ικανοποιώντας ορισμένες συνθήκες. Στη νεότερη έκδοση του Ευρωκώδικα 8, συμπεριλαμβάνονται συνδέσεις που έχουν την δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας, η λειτουργία των οποίων πραγματοποιείται μέσω ορθογωνικών διατομών πείρων που υφίστανται ανελαστική κάμψη. Τέτοιες συνδέσεις είναι οι συνδέσεις τύπου INERD, με σημαντικά πλεονεκτήματα στα οποία συμπεριλαμβάνονται η αυξημένη δυσκαμψία και πλαστιμότητα του φορέα σε συχνούς και μεγάλους σεισμούς και παραλαβή των αξονικών δυνάμεων τόσο από το εφελκόμενο όσο και από το θλιβόμενο μέλος.

4.5 Υποστυλώματα

Τα υποστυλώματα αποτελούν τους τελικούς αποδέκτες όλων των επιβαλλόμενων κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων του φορέα προτού αυτά μεταβιβαστούν στη θεμελίωση και από εκεί στο έδαφος. Οι διατομές που συνήθως επιλέγονται, είναι οι διατομές μορφής διπλού «T» κυρίως πλατύπελμες, τύπου HEA, HEB ή και HEM λόγω του ότι παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά-σε διαξονική κάμψη παρουσία ισχυρής αξονικής και τέμνουσας δύναμης. Στα πολυώροφα κτίρια όπου επιλέγεται η πλαισιακή χωρική λειτουργία του φορέα της κατασκευής ως προς τις δύο κύριες διευθύνσεις, δύναται να τοποθετηθούν υποστυλώματα σταυροειδούς διατομής. Επιπλέον είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και κοίλες διατομές, που παρουσιάζουν παρόμοια δυσκαμψία στις δύο διευθύνσεις. Συνηθισμένος είναι επίσης και ο μερικώς ή πλήρης εγκιβωτισμός των μεταλλικών διατομών των υποστυλωμάτων από σκυρόδεμα, προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη πυροπροστασία της κατασκευής. Σε αυτή την περίπτωση η διατομή αντιμετωπίζεται ως σύμμικτη, με πλήθος πλεονεκτημάτων έναντι των απλών μεταλλικών κατασκευών. Τα πιο σημαντικά από τα πλεονεκτήματα αυτά αποτελούν η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας, πολύ καλή συμπεριφορά έναντι πυρκαγιάς και σε περίπτωση σεισμού, αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη σύνδεση των υποστυλωμάτων στη βάση τους, η οποία είναι ανάλογη των εντατικών μεγεθών που καταλήγουν στη θεμελίωση.

4.6 Πλάκες

Οι πλάκες στα κτίρια παραλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής και τα μεταφέρουν στις δοκούς κι από εκεί μέσω των υποστυλωμάτων μεταβιβάζονται στο έδαφος. Επιπλέον μεταφέρουν και τα οριζόντια φορτία της κατασκευής, που προέρχονται από σεισμικές δράσεις και θερμοκρασιακή μεταβολή. Τοποθετούνται συνήθως πάνω από τις δοκούς κύριες και δευτερεύουσες. Οι τύποι των πλακών που χρησιμοποιούνται ευρέως στις μεταλλικές κατασκευές είναι οι σύμμικτες πλάκες, πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα και πλάκες χωρίς δοκούς.

Οι σύμμικτες πλάκες χρησιμοποιούνται συνήθως στις κατασκευές μεταλλικών κτιρίων. Αποτελούνται από χαλυβδόφυλλα και έγχυτο σκυρόδεμα. Τα χαλυβδόφυλλα έχουν τραπεζοειδή διατομή και αυλακώσεις σε όλη την επιφάνεια τους. Τα χαλυβδόφυλλα στηρίζονται στις δοκούς και προσαρμόζονται σε αυτές με διατμητικούς ήλους. Πριν την έγχυση του σκυροδέματος τοποθετείται το πλέγμα οπλισμού και έπειτα πραγματοποιείται η διάστρωση του σκυροδέματος.

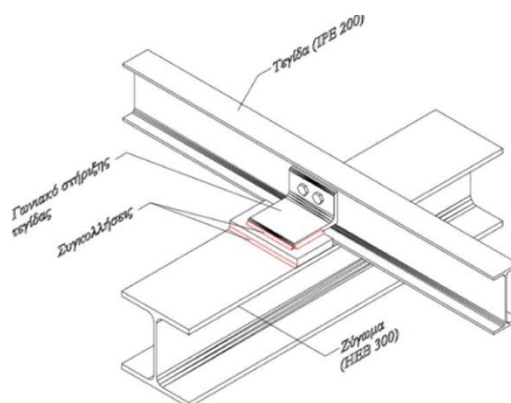
Ο άλλος τύπος πλάκας που χρησιμοποιείται στις μεταλλικές κατασκευές είναι οι πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος. Για την κάλυψη των κενών μεταξύ των δοκών τοποθετούνται πρόπλακες οπλισμένες όπου προεξέχει ο οπλισμός, ώστε να επιτευχθεί η σύνδεση με τον οπλισμό του έγχυτου σκυροδέματος της πλάκας. Σε άλλη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθούν πρόπλακες οπλισμένες, όπου στη θέση των δοκών υπάρχει αρμός, ο οποίος γεμίζεται με μη συρρικνούμενη κονία. Υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα κατασκευής πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση ξυλοτύπων, όπως παραδοσιακά γίνεται στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τέλος οι πλάκες χωρίς δοκούς, διαμορφώνονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε στο σώμα τους εντάσσονται οι δοκοί που τις στηρίζουν. Οι δοκοί σε αυτή την περίπτωση έχουν άνισα πέλματα με πλατύτερο κάτω πέλμα. Οι πλάκες αυτές έχουν σύμμικτη λειτουργία, στο εσωτερικό των οποίων τοποθετείται χαλυβδόφυλλο και πλέγμα οπλισμού, όπως στις σύμμικτες πλάκες. Τα χαλυβδόφυλλα αυτά έχουν μεγαλύτερο ύψος και μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα από αυτή που συνηθίζεται στις σύμμικτες πλάκες.

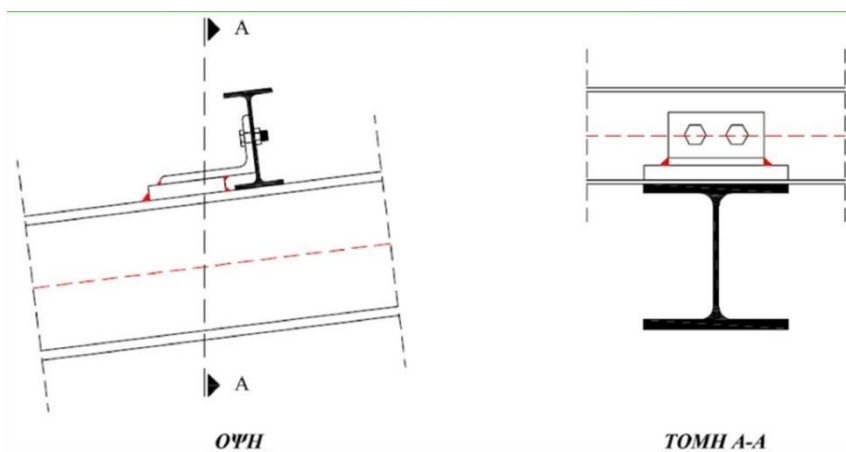
4.7 Συμπληρωματικά Στοιχεία του Φέροντος Οργανισμού

Στα μονώροφα μεταλλικά κτίρια άλλα στοιχεία που συμπληρώνουν τον φέρων οργανισμό της κατασκευής αποτελούν οι τεγίδες, στην περίπτωση που υπάρχει στέγη, και οι μηκίδες που πλαισιώνουν τον κύριο φορέα, τοποθετούμενες στα κατακόρυφα μέλη αυτού, πάνω στις οποίες ενσωματώνονται τα φύλλα πλευρικής επένδυσης. Τόσο οι τεγίδες όσο και οι μηκίδες αποτελούν στοιχεία τα οποία μεταφέρουν στον κύριο φορέα τις δράσεις από τα φύλλα επικάλυψης και πλευρικής επένδυσης. Άλλα στοιχεία που συμπληρώνουν τον κύριο σκελετό ενός μονώροφου μεταλλικού κτιρίου είναι οι μετωπικοί στύλοι. Λειτουργούν συνδυαστικά με τη χρήση τεγίδων και μηκίδων και τοποθετούνται ανάλογα με το μήκος που δύναται να γεφυρώσει η μηκίδα (4-7μ) όμως η θέση τους επίσης εξαρτάται από τη διάταξη των τεγίδων και των οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψιάς. Όλα αυτά τα επιπλέον στοιχεία που συμπληρώνουν το φορέα της κατασκευής είναι πολύ σημαντικά γιατί εκτός από την παραλαβή και μεταφορά των φορτίων στον κύριο φορέα αυτής συμβάλουν στην ευστάθεια της και στην αποφυγή πλευρικού λυγισμού των πελμάτων των μελών στα οποία επικάθονται.

Οι τεγίδες τοποθετούνται σε απόσταση από 1,30μ έως 4,00μ. Καταπονούνται κυρίως από κάμψη. Οι συνηθέστερες διατομές που χρησιμοποιούνται είναι είτε ελατές διατομές τύπου ΙΡΕ, είτε διαμορφωμένες εν ψυχρώ διατομές τύπου U. Κατασκευάζονται είτε ως αμφιέριστα στοιχεία, είτε ως συνεχείς δοκοί. Ο τρόπος που συνδέονται με τις κύριες δοκούς φαίνονται στην παρακάτω σχηματική απεικόνιση (Εικόνα 4-2 & Εικόνα 4-3).



Εικόνα 4-2 Τρισδιάστατη Σχηματική Απεικόνιση Σύνδεσης Τεγίδας σε Κύρια Δοκό (Φωτόπουλος, 2018)



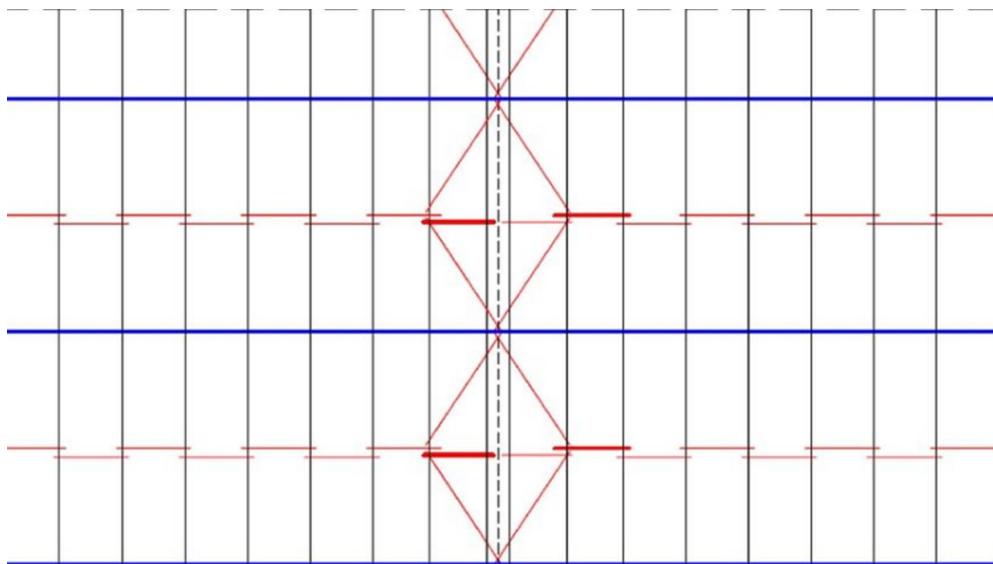
Εικόνα 4-3 Τρόπος Σύνδεσης Τεγίδας σε Ώψη και Τομή (Φωτόπουλος, 2018)

Από την άλλη οι μηκίδες μπορούν να έχουν την ίδια διατομή με αυτή των τεγίδων. Οι αποστάσεις μεταξύ των μηκίδων είναι 1,50m έως 2,50m. Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των τεγίδων, οπότε διαμορφώνονται τόσο ως αμφιέρειστες δοκοί, όσο και ως αρθρωτές δοκοί.

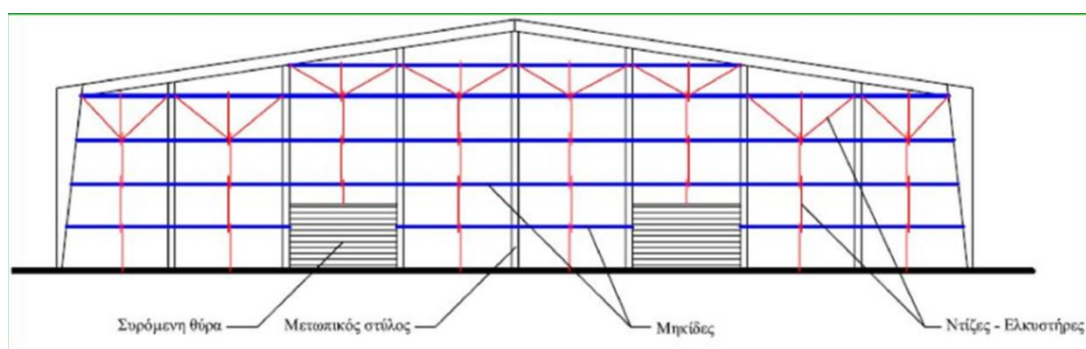
Οι μετωπικοί στύλοι τοποθετούνται επί του επιπέδου των ακραίων πλαισίων της κατασκευής και χρησιμοποιούν κυρίως διατομές τύπου ΙΡΕ. Καταπονούνται επίσης από κάμψη, η οποία προέρχεται από την ανεμοπίεση. Η στατική τους λειτουργία, μπορεί να είναι είτε αμφιαρθρωτή, είτε πάκτωση-άρθρωση, σε περιπτώσεις μεγάλου ύψους. Σε αυτές τις περιπτώσεις προβλέπεται η κατασκευή δικτυωτών, επίπεδων ή χωρικών, μετωπικών στύλων, προκειμένου να εξασφαλιστεί ευστάθεια.

Σε πολλά μεταλλικά μονώροφα κτίρια, κατά τη μόρφωση τους είναι απαραίτητη η χρήση ελκυστήρων τεγίδων ή/και μηκίδων. Τα δομικά αυτά στοιχεία προσφέρουν ασφάλεια έναντι πλευρικής αστάθειας των τεγίδων/μηκίδων, εξασφαλίζοντας την γενικότερη ευστάθεια της κατασκευής. Τοποθετούνται συνήθως στο μέσον του ύψους του κορμού της τεγίδας/μηκίδας και συνδέονται σε αυτόν με κοχλίες, στο μέσον ή στα τρίτα του ανοίγματος της, μεταξύ διαδοχικών μελών. Η λειτουργία των ελκυστήρων είναι η αποτροπή της πλευρικής μετατόπισης τεγίδων/μηκίδων στο άνοιγμα και οπότε καταπονούνται από την αντίστοιχη εφελκυστική δύναμη, από όπου προέρχεται και η ονομασία του, ελκυστήρας (ντίζες). Κάθε ελκυστήρας μεταφέρει αθροιστικά την εφελκυστική δύναμη που αντιστοιχεί σε όλες τις προηγούμενες τεγίδες, που βρίσκονται σε χαμηλότερη στάθμη. Ο ελκυστήρας που βρίσκεται στην

ανώτερη στάθμη είναι αυτός που καταπονείται περισσότερο, οπότε η διαμόρφωση πραγματοποιείται με σύνδεση του ελκυστήρα του δεύτερου φανώματος, από την ανώτερη στάθμη, με λοξούς ελκυστήρες, που αγκυρώνονται κοντά στους κύριους φορείς (Εικ 4-4 και Εικ, 4-5). Οι διατομές που χρησιμοποιούνται είναι κυκλικής διατομής, συνήθως συμπαγείς, με διαμέτρους που κυμαίνονται μεταξύ 12-16mm.



Εικόνα 4-4 Διάταξη ελκυστήρων Τεγίδων σε Κάτοψη (Φωτόπουλος,2018)



Εικόνα 4-5 Διαμόρφωση Μετώπου Βιομηχανικού Μονώροφου Μεταλλικού Κτιρίου με Ντίζες Μηκίδων (Φωτόπουλος, 2018)

4.8 Μόρφωση Κόμβων- Συνδέσεις

Πολύ σημαντικό ρόλο για την τελική μορφή και λειτουργία της κατασκευής παίζει η μόρφωση των κόμβων αυτής, ο τρόπος που θα συνδεθούν τα μέλη μεταξύ τους. Οι συνδέσεις των μελών υπόκεινται σε περιορισμούς βάσει του Ευρωκώδικα 3 και η σχεδιάσή αλλά και κατασκευή τους, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Η λειτουργία τους, αφορά εκτός από την ευστάθεια και τη σωστή μεταφορά των εντατικών μεγεθών από

στοιχείο σε στοιχείο της μεταλλικής κατασκευής και τελικά στο έδαφος. Οι συνδέσεις μπορεί να είναι κοχλιωτές, οι οποίες πραγματοποιούνται στο εργοτάξιο, είτε συγκολλητές οι οποίες γίνονται στο εργοστάσιο παραγωγής των μεταλλικών μελών και η συνέχεια των μελών εξασφαλίζεται με κοχλίωση, έξω από τον κόμβο.

Στον Ευρωπαϊκό χώρο συναντώνται οχτώ κατηγορίες κοχλιών, M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30 και M36, ανάλογα με τη διάμετρο του κορμού του, σε mm. Οι κοχλίες συνοδεύονται από τα εξαρτήματά τους τα οποία είναι τα περικόχλια και οι δακτύλιοι. Πρέπει να τονιστεί ότι η ποιότητα του χάλυβα του κοχλία είναι καλύτερη από αυτή του ελάσματος. Ο Ευρωκώδικας 3, στο μέρος 1.8, που αφορά στη σχεδίαση των κόμβων, διακρίνει πέντε κατηγορίες υλικών για κοχλίες, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 8. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου κοχλία θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι ο κορμός μετά την τοποθέτηση θα πρέπει να εξέχει, μετά το περικόχλιο, τουλάχιστον ένα βήμα του σπειρώματος μετά τη σύσφιξη. Ωστόσο, η διάταξη των κοχλιών πραγματοποιείται βάσει ορισμένων περιορισμών, που σχετίζονται με τις μέγιστες και ελάχιστες αποστάσεις τόσο μεταξύ τους όσο και από τα άκρα του ελάσματος.

	Ελάχιστη	Μέγιστη		
		Κατασκευές από χάλυβες που συμφωνούν με το EN 10025 εκτός εκείνων που συμφωνούν με το EN 10025-5		Κατασκευές από χάλυβες που συμφωνούν με το EN 10025-5
		Χάλυβας εκτεθειμένος σε κλιματικές συνθήκες ή άλλα διαβρωτικά περιβάλλοντα	Χάλυβας μη εκτεθειμένος	Χάλυβας χωρίς προστασία
Απόσταση από άκρο e_1	$1,2d_0^7$	$4t + 40 \text{ mm}$		Η μεγαλύτερη από $8t$ ή 125 mm
Απόσταση από άκρο e_2	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Η μεγαλύτερη από $8t$ ή 125 mm
Απόσταση e_3 σε επιμήκειες οπές	$1,5d_0$			
Απόσταση e_4 σε επιμήκειες οπές	$1,5d_0$			
Βήμα p_1	$2,2d_0$	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t_{min}$ ή 175 mm
Βήμα $p_{1,0}$		Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm		
Βήμα $p_{1,1}$		Η μικρότερη από $28t$ ή 400 mm		
Βήμα p_2	$2,4d_0$	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t$ ή 200 mm	Η μικρότερη από $14t_{min}$ ή 175 mm

Εικόνα 4-6 Μέγιστες και Ελάχιστες Αποστάσεις Μεταξύ Κοχλιών και Από τα Άκρα

Πίνακας 4-1 Κατηγορίες Υλικού Κοχλιών (Πηγή: Ευρωκώδικας3)

	Κοινοί			Υψηλής Αντοχής	
	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
F _y [MPa]	240	300	480	640	900
F _u [MPa]	400	500	600	800	1000

Όπου, για την κατηγορία 5.6 ισχύει:

$f_u=500\text{MPa}$ και $f_y=0,6 \times 500=300\text{MPa}$.

Οι κανονικές οπές των ελασμάτων έχουν διάμετρο που να ικανοποιεί τη σχέση $d_o=d+a$,

Όπου d_o : η οπή του ελάσματος σε mm, d :η διάμετρος του κορμού του κοχλία σε mm και a : η ανοχή σε mm (Βλέπε Πίνακα 4-2).

Πίνακας 4-2 Ανοχή a σε mm για Κανονικές Οπές Ελασμάτων

Τύπος Κοχλιών	Κανονικές Οπές, Ανοχή a (mm)
M12	1
M14	1
M16	2
M20-M22	2
M24	2
$\geq M27$	3

Γενικά ο σχεδιασμός των συνδέσεων αφορά στη μεταφορά είτε τέμνουσας δύναμης που δρα κάθετα στον άξονα του κοχλία, είτε εφελκυστικής δύναμης που εφαρμόζεται παράλληλα στον άξονά του κοχλία, είτε συνδυασμού τέμνουσας και εφελκυστικής δύναμης ταυτόχρονα. Αντίστοιχα διακρίνονται δύο κατηγορίες συνδέσεων ανάλογα με τις δυνάμεις μεταφοράς. Οι συνδέσεις διάτμησης διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες, την κατηγορία A, την κατηγορία B και την Κατηγορία C. Οι συνδέσεις εφελκυσμού μπορούν να είναι χωρίς προένταση (κατηγορία D) και με προένταση (κατηγορία E). Στον Πίνακα 4-3, που ακολουθεί φαίνεται συγκεντρωτικά οι κατηγορίες συνδέσεων με τους ελέγχους στους οποίους υπόκεινται.

Πίνακας 4-3 Έλεγχοι που Απαιτούνται Ανά Κατηγορία Συνδέσεων

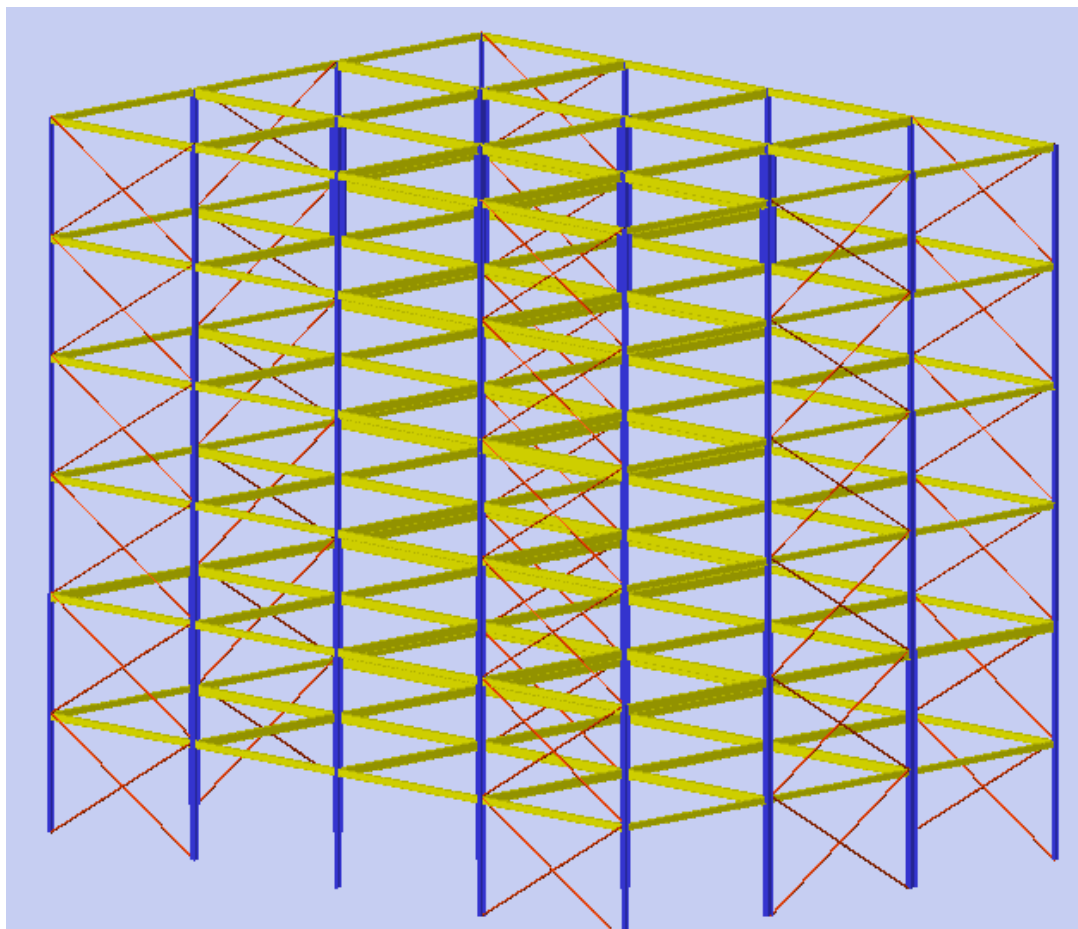
Κατηγορία	Έλεγχοι	Παρατηρήσεις
Συνδέσεις Διάτμησης		
A Άντυνας	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ (Διάτμηση κορμού) $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ (Σύνθλιψη άντυνας οπών)	Δεν απαιτείται προένταση κατηγορίες κοχλιών από 4.6 μέχρι και 10.9 Η δύναμη μεταφέρεται μέσω επαφής του κορμού του κοχλία με την άντυνα της οπής.
B Ανθεκτικές σε Ολίσθηση στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ (Ολίσθηση ελασμάτων) $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ (Διάτμηση κορμού) $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ (Σύνθλιψη άντυνας οπών)	Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9. Η δύναμη μεταφέρεται μέσω τριβής μεταξύ των ελασμάτων που εξασφαλίζεται λόγω προέντασης του κοχλία.
C Ανθεκτικές σε Ολίσθηση στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ (Ολίσθηση ελασμάτων) $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ (Σύνθλιψη άντυνας οπών) $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9. Η δύναμη μεταφέρεται μέσω τριβής μεταξύ των ελασμάτων που εξασφαλίζεται λόγω προέντασης του κοχλία.
Συνδέσεις Εφελκυσμού		
D Χωρίς προένταση	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ (Εφελκυσμός κορμού) $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ (Διάτρηση ελάσματος)	Δεν απαιτείται προένταση. Κατηγορίες κοχλιών από 4.6 μέχρι και 10.9. $B_{p,Rd}$ (αντοχή σε διάτρηση)
E Με προένταση	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ (Εφελκυσμός κορμού) $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$ (Διάτρηση ελάσματος)	Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9. $B_{p,Rd}$ (αντοχή σε διάτρηση)

Κεφάλαιο 5

Μεταλλικά Κτίρια Παραμετρικής Ανάλυσης

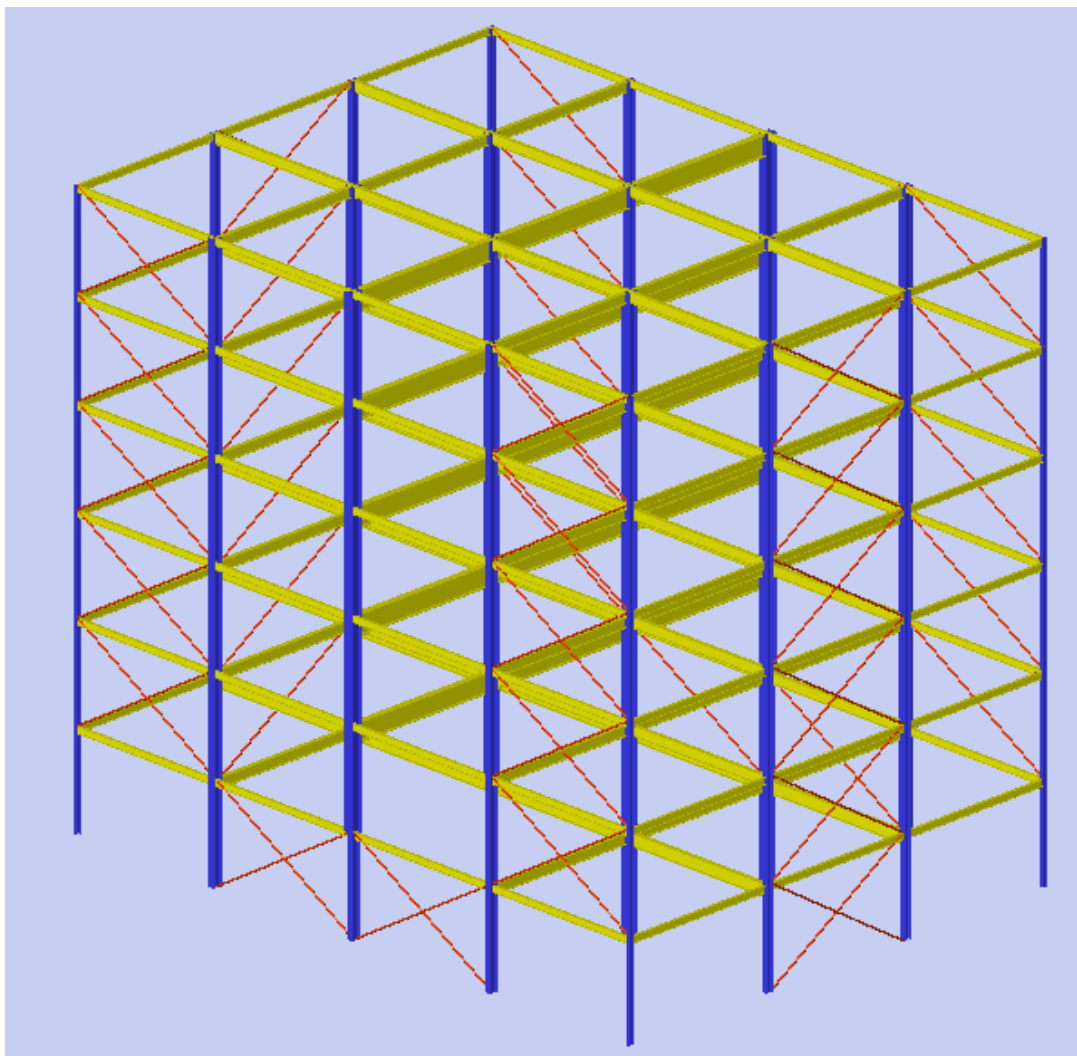
5.1 Περιγραφή Φορέα

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν συνολικά τέσσερα νέα κτίρια με μεταλλικό φορέα. Κάθε κτίριο διαστασιολογήθηκε για ελάχιστη διάρκεια ζωής 50ετών, υπό συνθήκες συνήθους χρήσης, ανάλογα με την κατηγορία που ανήκει. Η αντοχή και η διαστασιολόγηση όλων των επιμέρους μελών των κατασκευών, έχει υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη όλα όσα ορίζονται και επιβάλλουν οι διεθνείς αλλά και εθνικές προδιαγραφές (Ευρωκώδικες και Εθνικά προσαρτήματα), για την ανάλυση των μεταλλικών κατασκευών. Αρχικά, μορφώθηκε ο φορέας του αρχικού τυπικού κτιρίου (κτίριο Α). Η κάτοψη αυτού είναι ορθογωνική διαστάσεων 20,00m x 15,00m με τέσσερα φατνώματα κατά τη x διεύθυνση και τρία φατνώματα στην y. Οι αποστάσεις των υποστυλωμάτων τόσο κατά τη x όσο και κατά την y διεύθυνση είναι 5,00m. Πρόκειται για κτίριο εξαώροφο, ισόγειο και πέντε στάθμες άνωθεν αυτού, με ύψος ορόφου 3m. Η προοριζόμενη χρήση και των τεσσάρων κτιρίων προβλέπεται να έχει χρήση κατοικίας ή γραφείων, οπότε βάσει του Ευρωκώδικα 1, ανήκει στην κατηγορία Α ή Β, αντίστοιχα. Όπως προτείνεται και στο Εθνικό προσάρτημα του Ευρωκώδικα 1, για τις ανωτέρω κατηγορίες κτιρίων, οι μεταβλητές δράσεις ελήφθησαν 2KN/m^2 . Ο κύριος φορέας αποτελείται από τα υποστυλώματα, τις κύριες δοκούς που τα συνδέει και πλάκα από σκυρόδεμα, πάχους 12cm. Επιπλέον στον κύριο φορέα περιλαμβάνονται και οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας που έχουν τοποθετηθεί και στις δύο διευθύνσεις, x και y. Πιο αναλυτικά, στη διεύθυνση x, έχουν τοποθετηθεί στο πρώτο και τέταρτο φάτνωμα. Κατά τη διεύθυνση y τοποθετήθηκαν κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας στο μεσαίο φάτνωμα, σε όλο το ύψος του κτιρίου. Επιλέχθηκαν μέλη τετραγωνικής διατομής, τύπου SHS, ώστε λόγω συμμετρίας έχουν ίδια ροπή αδράνειας κατά τους άξονες συμμετρίας της διατομής. Είναι απαραίτητοι για το φορέα, για την παραλαβή όλων των οριζόντιων φορτίων (σεισμός, άνεμος) που δρουν σε αυτόν κατά τη διάρκεια ζωής του, παρέχοντάς του πλευρική εξασφάλιση.



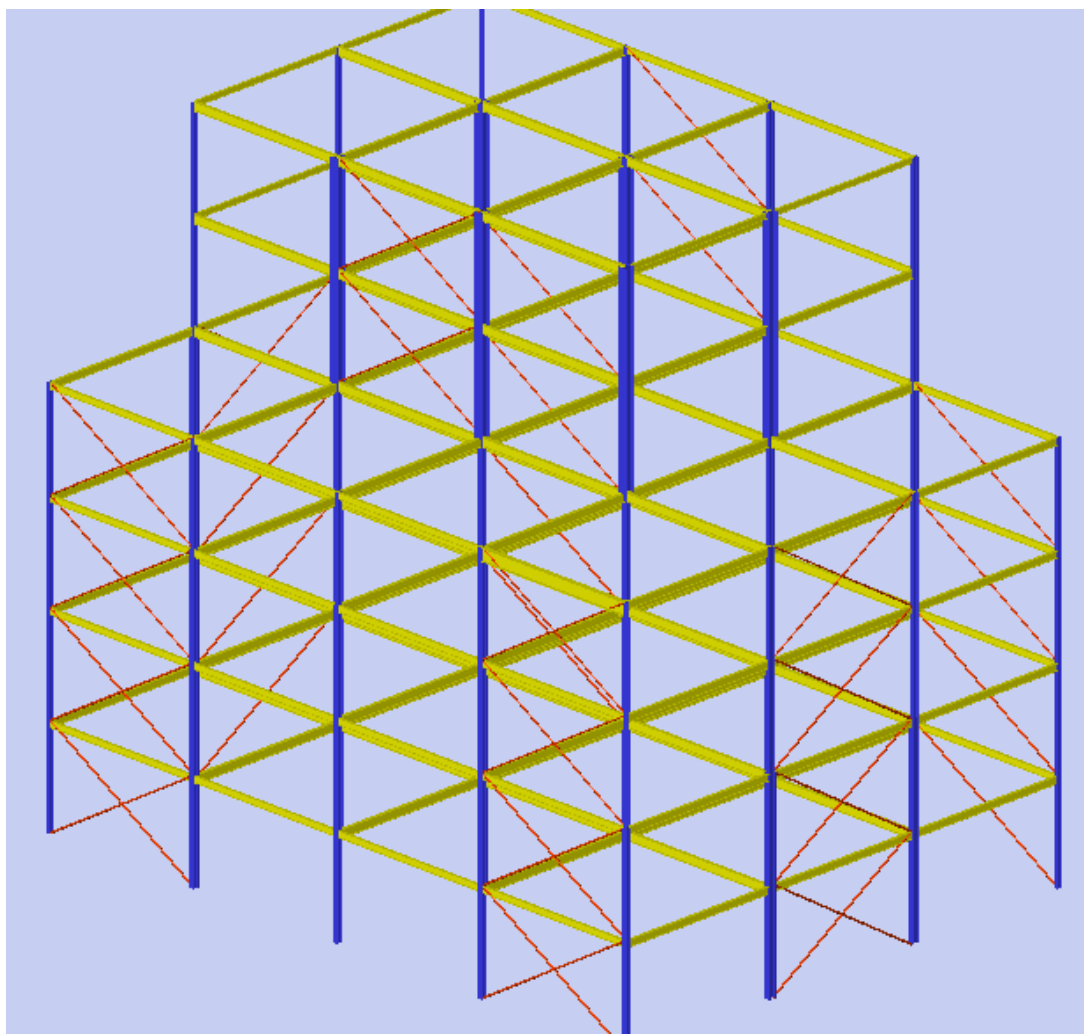
Εικόνα 5-1 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Α

Τα τρία άλλα κτίρια προέκυψαν από τον αρχικό φορέα με αφαίρεση ορισμένων μελών αυτού, διαμορφώνοντας τρία νέα κτίρια, τα οποία στη συνέχεια αναλύθηκαν λαμβάνοντας τις ίδιες παραμέτρους με το κτίριο Α. Συγκεκριμένα το κτίριο Β, δημιουργήθηκε από το κτίριο Α με αφαίρεση της τρίτης στήλης υποστυλωμάτων από τη στάθμη του ισογείου (Βλέπε Εικόνα 5-2). Από την στάθμη οροφής ισογείου μέχρι και τη στάθμη οροφής πέμπτου ορόφου, οι διαμορφωμένοι ξυλότυποι είναι πανομοιότυποι με τους αντίστοιχους του κτιρίου Α.



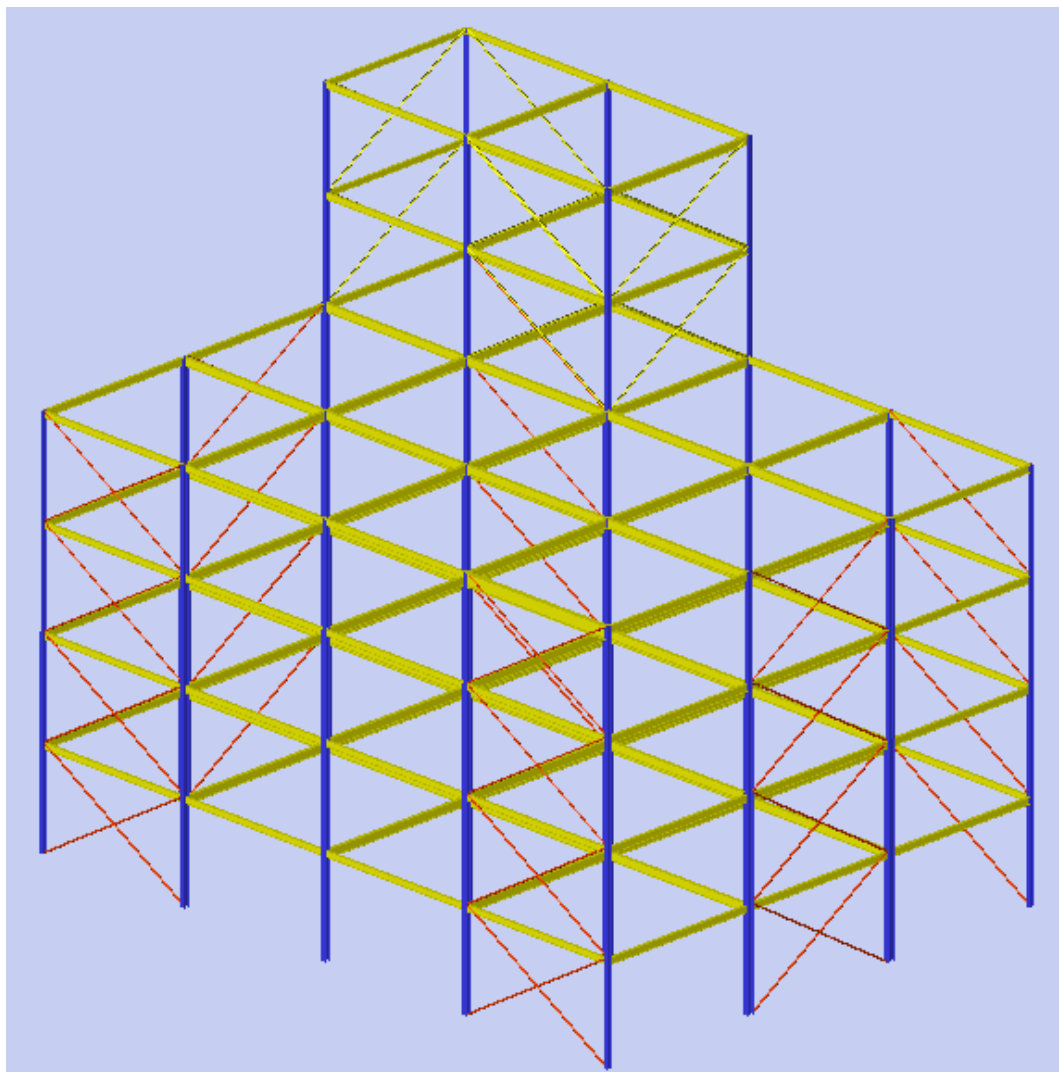
Εικόνα 5-2 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Β

Το κτίριο Γ, έχει όπως και τα υπόλοιπα, ορθογωνική κάτοψη με υποστυλώματα ανά 5m , κατά τη x και κατά την y διεύθυνση. Η τυπική αυτή διαμόρφωση ακολουθεί τις στάθμες ισογείου, πρώτου, δεύτερου και τρίτου ορόφου. Οι ξυλότυποι οροφής τέταρτου και πέμπτου ορόφου, έχουν ορθογωνική επίσης κάτοψη, διαστάσεων 15m x 10m και έχουν προκύψει αφαιρώντας όλα τα υποστυλώματα των αξόνων “4” και “Ε”. Οι δύο τελευταίοι όροφοι είναι κατά 5m μέσα, τόσο κατά τη x όσο και κατά την y διεύθυνση.



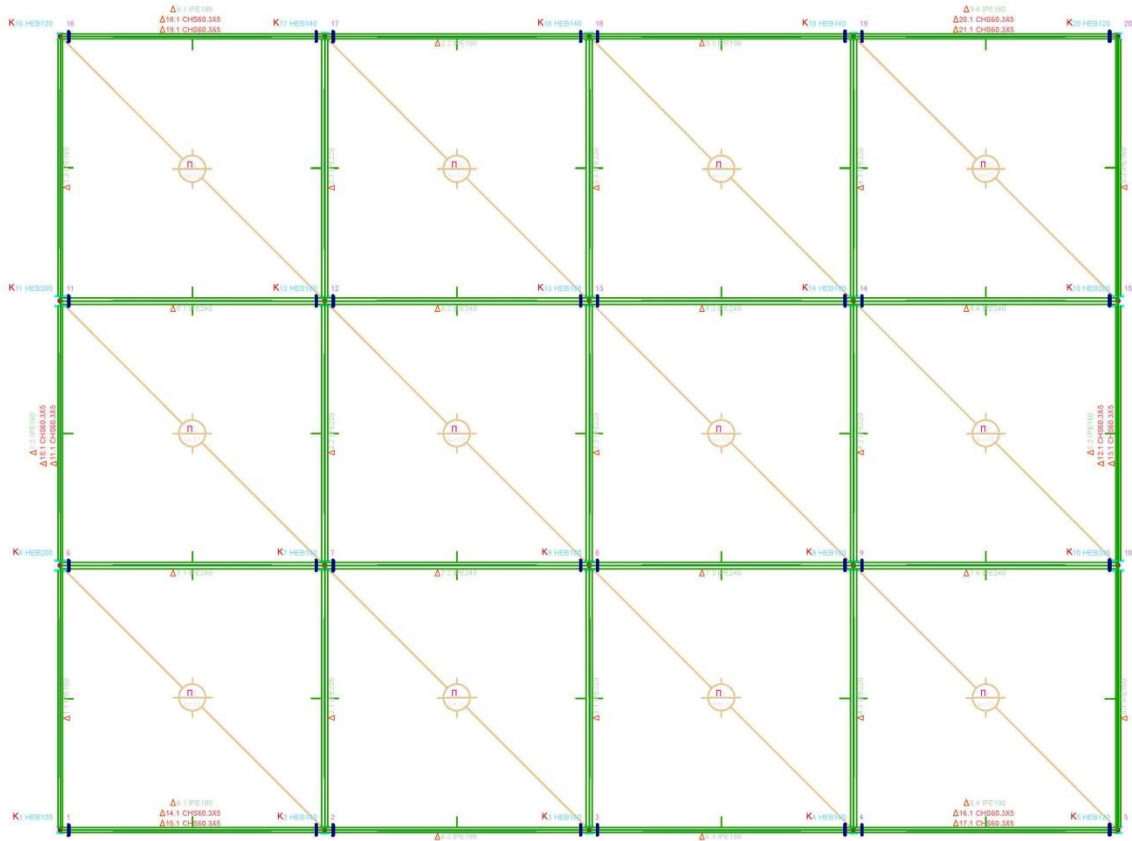
Εικόνα 5-3 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Γ

Όσον αφορά το φορέα του κτιρίου Δ, ακολουθεί την ίδια ακριβώς λογική διαμόρφωσης με αυτή του κτιρίου Γ, για τις στάθμες οροφής ισογείου μέχρι και τρίτου ορόφου, με κάτοψη, την κάτοψη οροφής του τυπικής στάθμης οροφής του κτιρίου Α. Ωστόσο, οι ξυλότυποι που αναφέρονται στις δύο τελευταίες στάθμες οροφών του συγκεκριμένου κτιρίου, έχουν ορθογωνική μορφή κάτοψης διαστάσεων 10m x 5m. Αφαιρείται δηλαδή, δύο σειρές και δύο στήλες υποστυλωμάτων, υπολείπονται τα υποστυλώματα των αξόνων “3”, “4”, “D” και “E”.

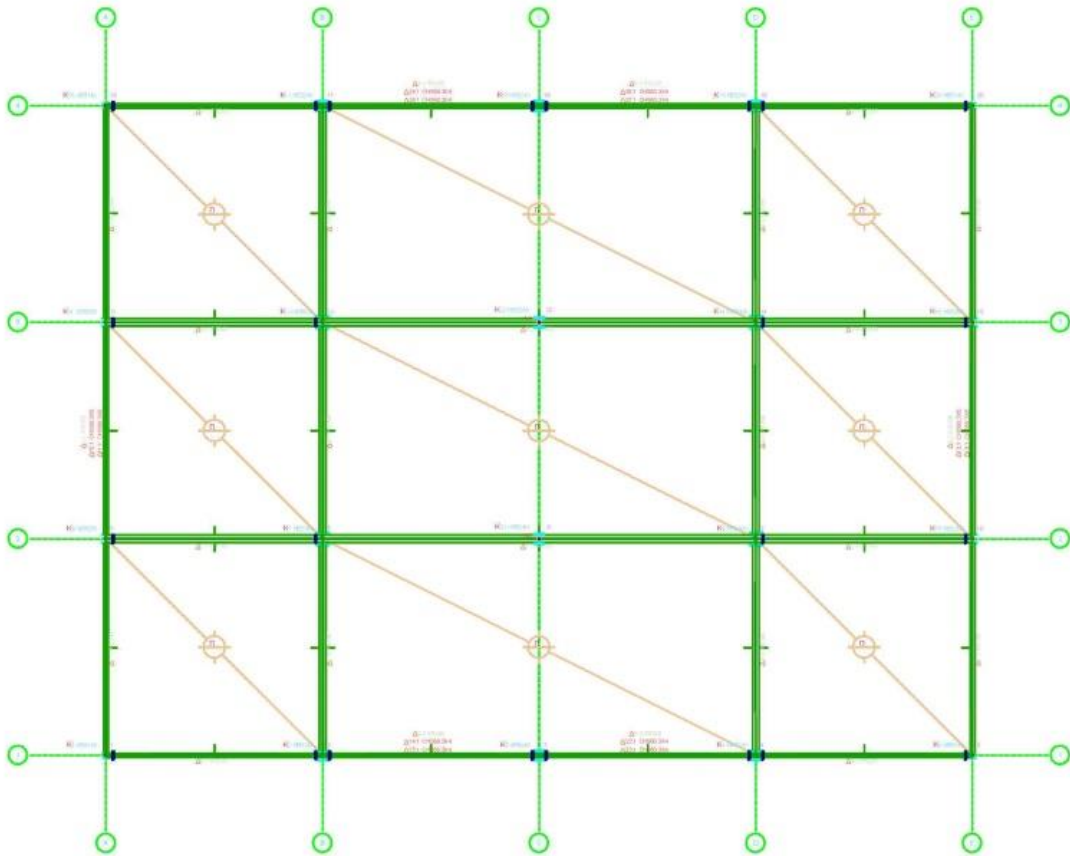


Εικόνα 5-4 Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα Δ

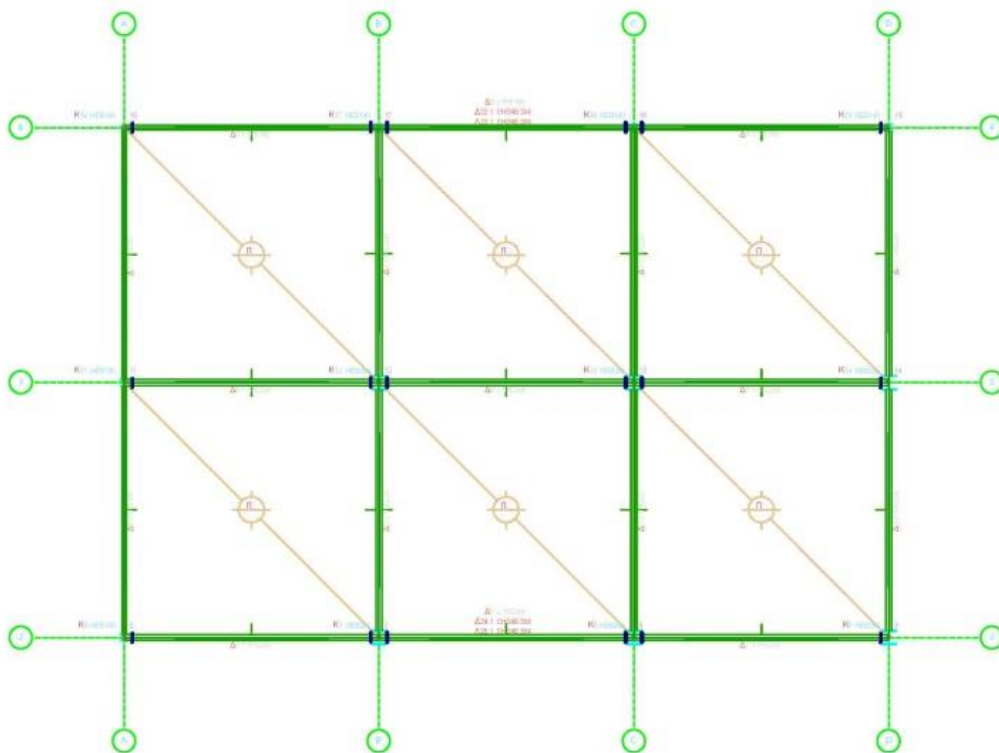
Στις εικόνες που ακολουθούν, φαίνονται, ξυλότυπος τυπικής οροφής τυπικού (κτίριο Α), αλλά και παραγόμενων κτιρίων (κτίρια Β, Γ και Δ) (Εικ. 5-1), ξυλότυπος στάθμης ισογείου κτιρίου Β (Εικ. 5-2), ξυλότυπος στάθμης οροφής τέταρτου και πέμπτου ορόφου, κτιρίων Γ και Δ (Εικ. 5-3 και 5-4, αντίστοιχα).



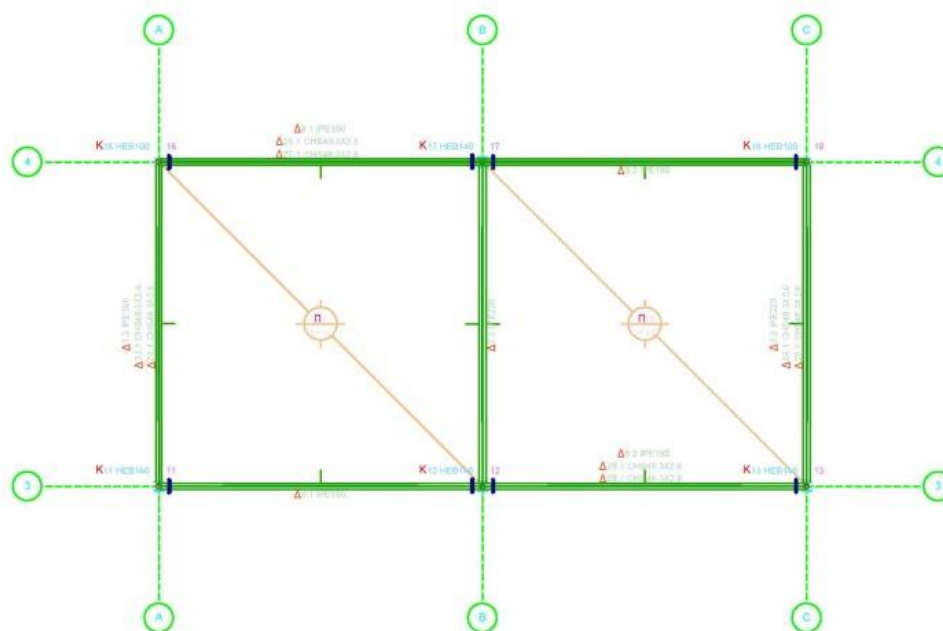
Εικόνα 5-5 Κάτοψη Ξυλότυπου Οροφής Τυπικού Ορόφου, κτίριο Α



Εικόνα 5-6 Ξυλότυπος Οροφής Ισογείου, Κτίριο Β.



Εικόνα 5-7 Ξυλότυπος Οροφής 4^{ου} και 5^{ου} ορόφου, κτίριο Γ



Εικόνα 5-8 Ξυλότυπος Οροφής 4^{ου} και 5^{ου} Ορόφου, Κτίριο Δ

Επιπλέον της διαστασιολόγησης των κτιρίων, που πραγματοποιήθηκε αρχικά, σε δεύτερη φάση έγινε χρήση ανελαστικής ανάλυσης (pushover) σε όλα τα μελετώμενα κτίρια, προκειμένου να διαπιστωθεί η πραγματική ανελαστική συμπεριφορά αυτών. Η ανελαστική ανάλυση pushover, είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια του μελετητή, που τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται ολοένα και περισσότερο, σε νέες αλλά και υφιστάμενες κατασκευές. Σε κάθε μία περίπτωση εφαρμόζεται για να εξαχθούν διαφορετικά συμπεράσματα που αφορούν στην απόκριση της κατασκευής, έπειτα από την επιβολή οριζόντιων δυνάμεων που ολοένα αυξάνουν.

Όταν η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε νέα κτίρια, προσδιορίζεται η καμπύλη αντίστασης της κατασκευής, και προσδιορίζεται μέσω των συντελεστών α_0 και α_1 , ο λόγος α_0/α_1 , από τον οποίο τελικά προκύπτει η υπεραντοχή του κτιρίου. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτυπώνει την ικανότητα του κτιρίου να απορροφά ενέργεια, από τη στιγμή που θα επέλθει η διαρροή στο πρώτο μέλος του φορέα, μέχρι και τη στιγμή που η κατασκευή θα καταρρεύσει.

Κεφάλαιο 6

Λογισμικό Ανάλυσης

6.1 Παρουσίαση Λογισμικού Διαστασιολόγησης

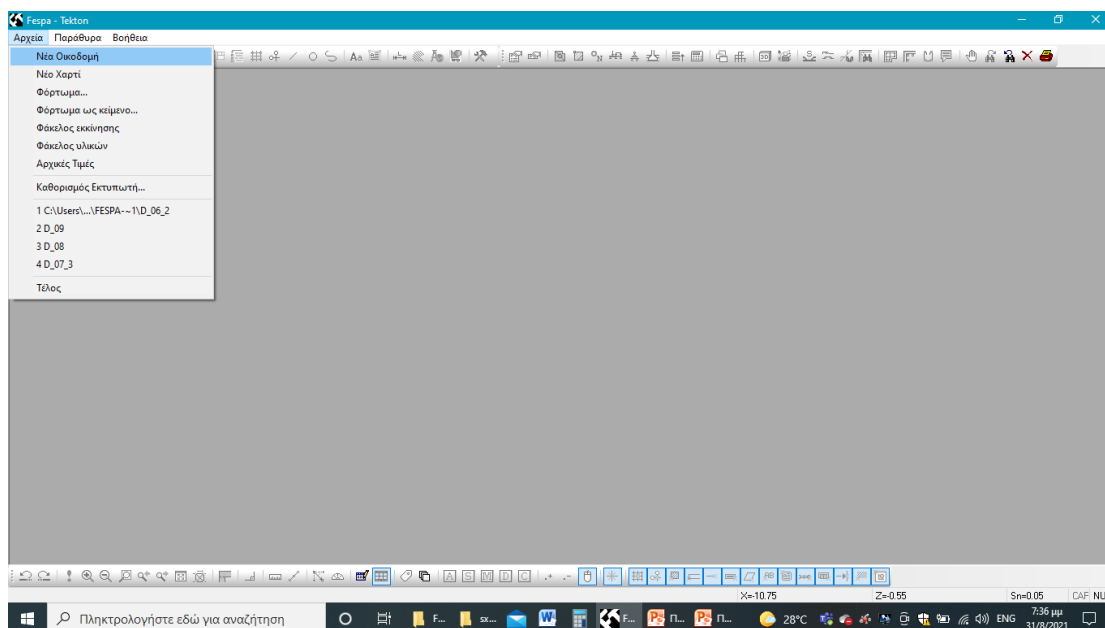
Για την ανάλυση και διαστασιολόγηση, καθώς και την ανελαστική αποτίμηση των μελετώμενων κτιρίων έγινε χρήση του λογισμικού FESPA M και FESPA R, που παρέχονται από την εταιρεία LH Λογισμική και αφορούν στην ακαδημαϊκή χρήση της εφαρμογής. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε είναι η 20^η. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί για την ανάλυση και διαστασιολόγηση των κατασκευών τους εξής κανονισμούς και Διατάξεις:

- Ευρωκώδικας 3: Υπολογισμός Κατασκευών από Χάλυβα
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός - έκδοση 2000
- Διόρθωση λαθών στον Ελληνικό Αντισεισμικό κανονισμό (ΕΑΚ-2000),
- Τροποποίηση και συμπλήρωση της απόφασης έγκρισης του "Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού"
- Τροποποίηση διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000 λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας

- Ευρωκώδικας 1: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεων στις κατασκευές
- Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός
- Ελληνικός κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος
- Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97

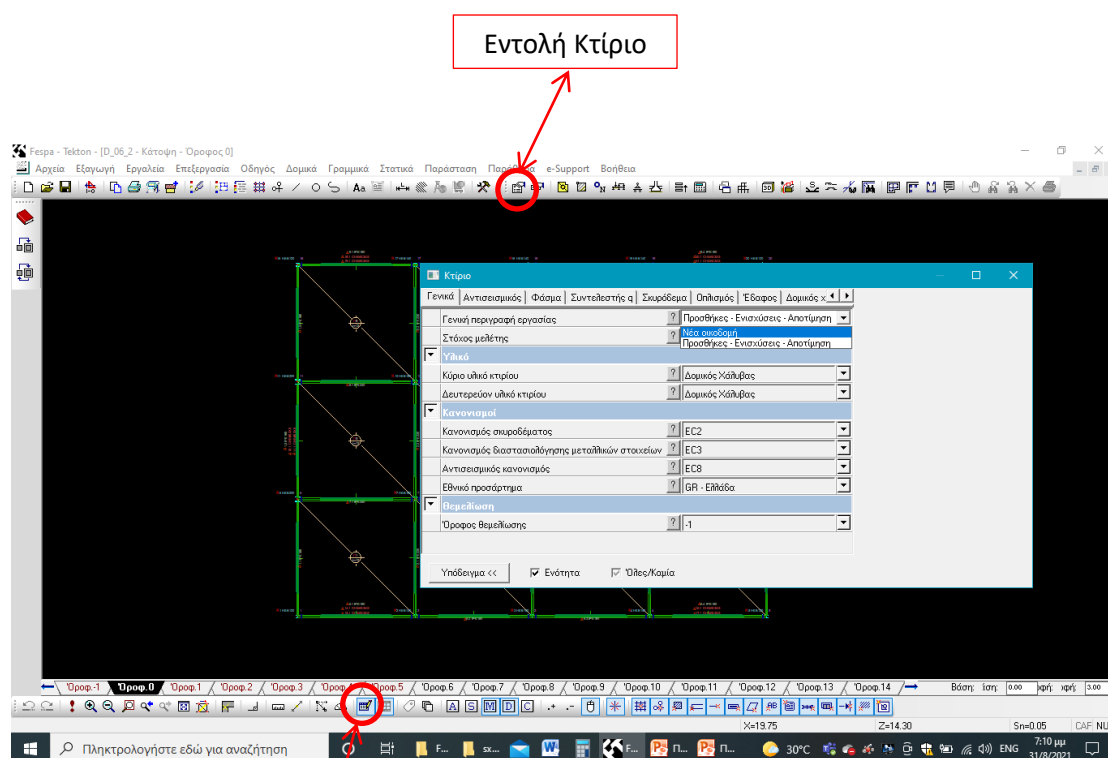
Η εισαγωγή του μοντέλου στο πρόγραμμα για τη διαμόρφωση του φορέα και την ανάλυση και διαστασιολόγησή του, με τις παραμέτρους που επιλέγησαν, ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά αφού ανοίξει η εφαρμογή του fespa, δημιουργούμε ένα νέο αρχείο έργου. Από το μενού Αρχείο, επιλέγουμε «Νέα οικοδομή» (Εικ. 6-1). Εμφανίζεται στην οθόνη η επιφάνεια εργασίας της εφαρμογής με την ονομασία που έχουμε επιλέξει.



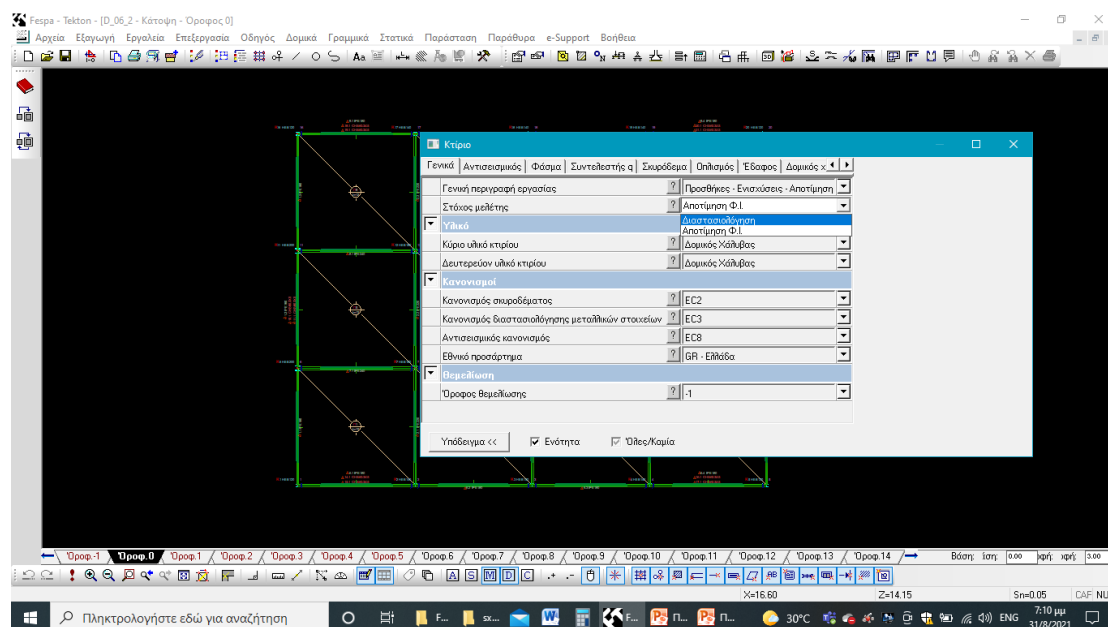
Εικόνα 6-1 Αρχική Επιφάνεια Εργασίας Εφαρμογής

Προτού ξεκινήσει η εισαγωγή των μελών του φορέα για τη διαμόρφωση του μοντέλου, ορίζονται οι αρχικές παράμετροι της μελετώμενης κατασκευής. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω της εντολής κτίριο, με ενεργοποιημένη την εντολή «Παράθυρο Παραμέτρων». Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6-2, εμφανίζεται το παράθυρο παραμέτρων της εντολής Κτίριο. Η εντολή αυτή περιλαμβάνει καρτέλες που αφορούν σε ενότητες από τις οποίες διέπεται η διαμόρφωση του φορέα. Στην πρώτη καρτέλα «Γενικά», επιλέγεται, Γενική Επιλογή Εργασίας / Νέα Οικοδομή και Στόχος μελέτης / Διαστασιολόγηση (Εικ. 6-2).



Εικόνα 6-2 Παράθυρο παραμέτρων Εντολής Κτίριο, καρτέλα Γενικά

Στην ίδια καρτέλα, στις ενότητες Υλικά, Κανονισμοί και Θεμελίωση, καθορίζονται οι σχετικές παράμετροι. Ως κύριο υλικό επιλέγεται ο χάλυβας και στους κανονισμούς επιλέγονται οι Ευρωκώδικες 2, 3 και 8, που αφορούν στο κανονιστικό πλαίσιο που αναφέρεται στο σχεδιασμό των κατασκευών από σκυρόδεμα, χάλυβα και στον αντισεισμικό σχεδιασμό αυτών, αντίστοιχα. Στη Θεμελίωση επιλέγεται η τιμή «-1», ως στάθμη θεμελίωσης, εφόσον δεν προβλέπεται υπόγειο στην εν λόγω κατασκευή (Εικ. 6-3).



Εικόνα 6-3 Παράθυρο παραμέτρων Εντολής Κτίριο, καρτέλα Γενικά

Άλλες παράμετροι που τροποποιούμε, βρίσκονται στις καρτέλες Φάσμα, Δομικός Χάλυβας και Φορτία Ανέμου και Χιονιού. Στην καρτέλα Φάσμα (Εικ. 6-4) ορίζουμε τις παραμέτρους που σχετίζονται με τα κριτήρια σχεδιασμού του κτιρίου, ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται η κατασκευή. Επιπλέον, με επιλογή κατάλληλων τιμών συντελεστών, επιτυγχάνεται η ασφαλής απορρόφηση ενέργειας εξαιτίας των σεισμικών δράσεων. Ο συντελεστής συμπεριφοράς q , είναι αυτός που ευθύνεται για την αύξηση ολκιμότητας της κατασκευής και βάσει του Ευρωκώδικα 8 (EC8, §5.2.2) καθορίζεται η τιμή αυτού ανάλογα με το δομικό σύστημα του φορέα και την κατηγορία πλαστιμότητας. Όσον αφορά τα δεδομένα των σεισμικών δράσεων στην καρτέλα Φάσμα (Εικ. 6-4), επελέγη:

Σεισμική Ζώνη Z1,

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0,16g,

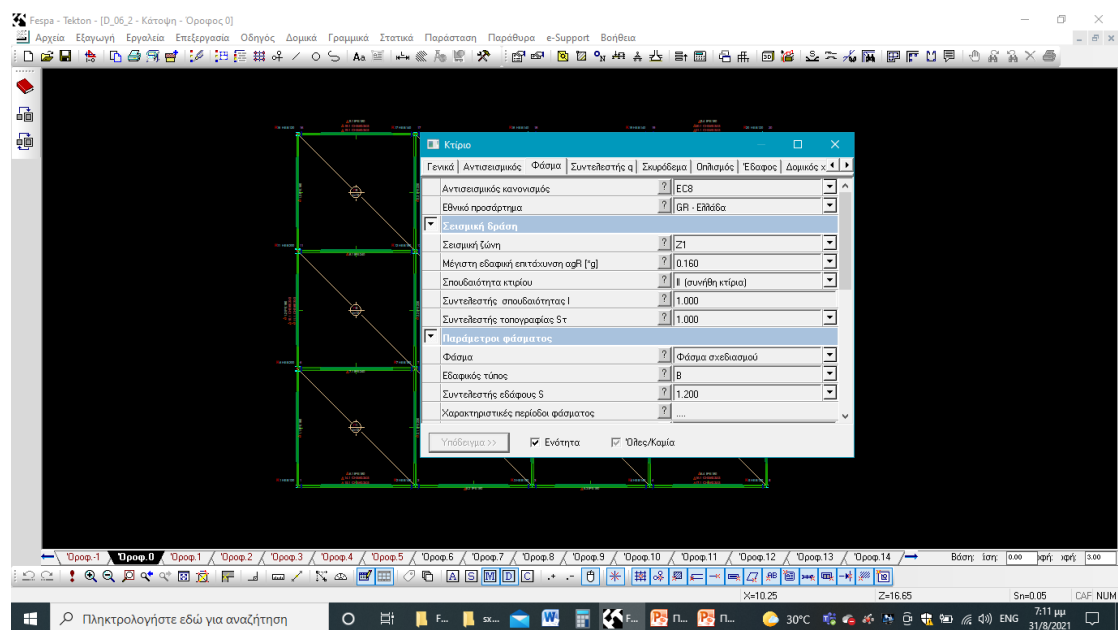
Συντελεστής σπουδαιότητας 1,00,

Τύπος εδάφους B,

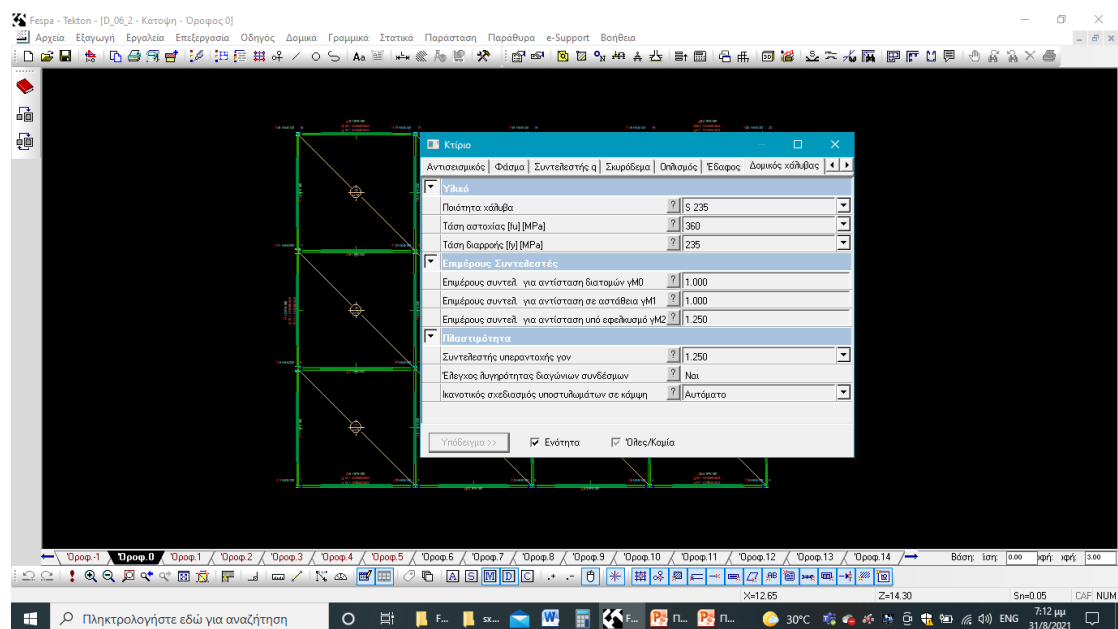
Συντελεστής Εδάφους 1,20,

Κατηγορία Πλαστιμότητας Μέση (ΚΠΜ).

Στην καρτέλα Δομικός χάλυβας προσδιορίστηκε η ποιότητα του χάλυβα, S235 (Εικ. 6-5).

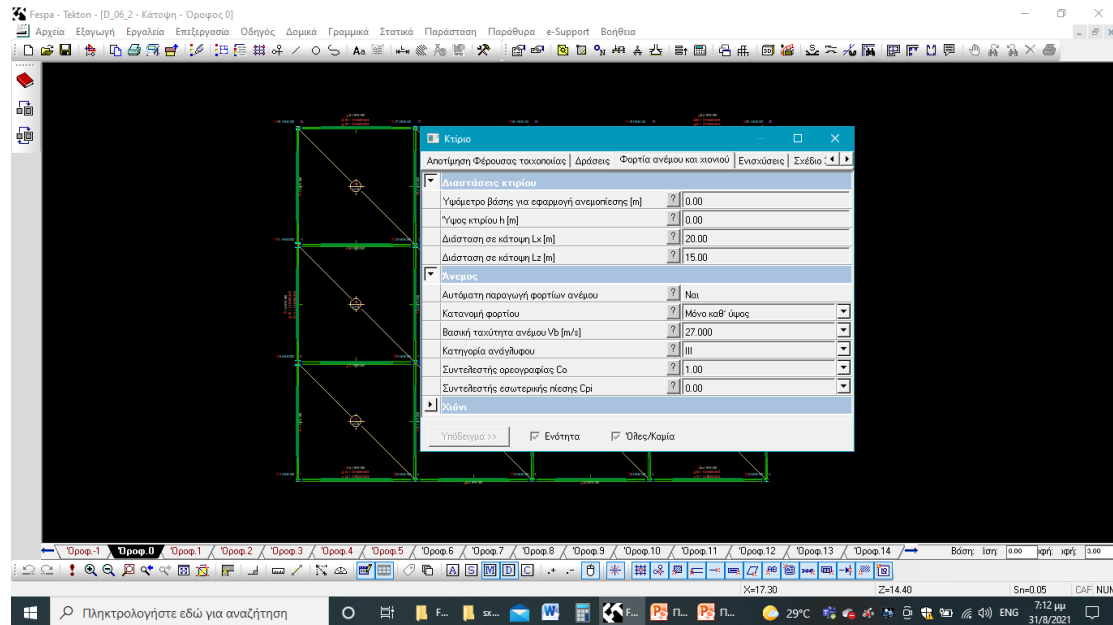


Εικόνα 6-4 Οντότητα Κτίριο, καρτέλα Φάσμα

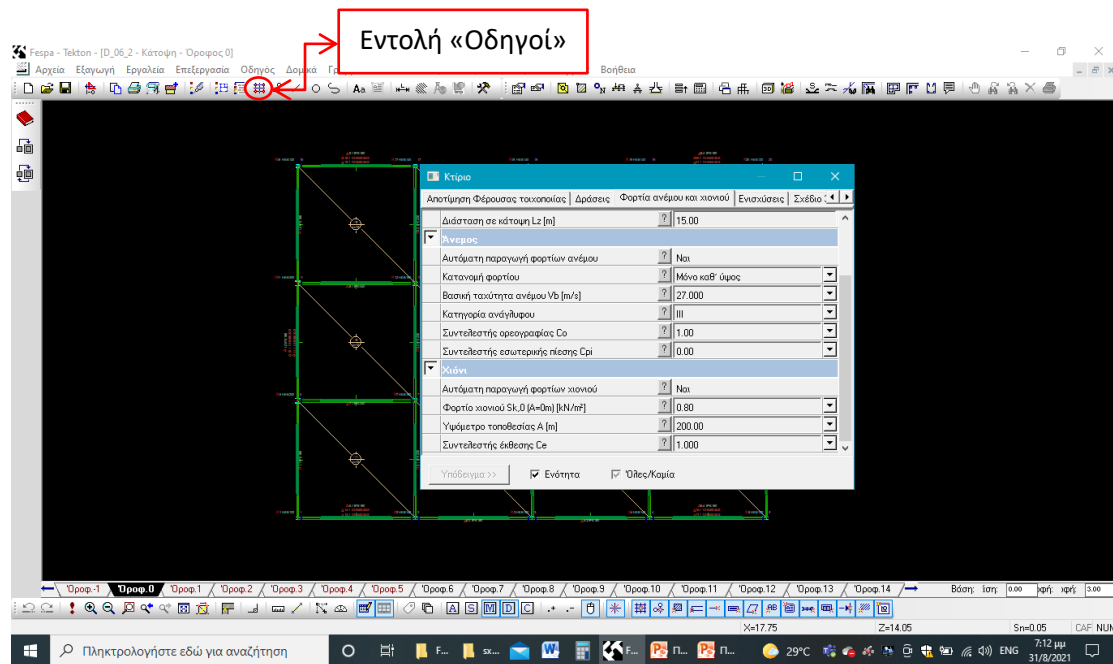


Εικόνα 6-5 Καρτέλα Δομικός Χάλυβας, οντότητας Κτίριο

Τέλος στην καρτέλα Φορτία Ανέμου και Χιονιού καθορίζεται αρχικά οι διαστάσεις του κτιρίου και στις αντίστοιχες ενότητες η αυτόματη παραγωγή των φορτίων ανέμου και χιονιού και ορίζονται σχετικές παράμετροι, όπως φαίνεται στις Εικόνες 6-6 και 6-7



Εικόνα 6-6 Καρτέλα Φορτία Ανέμου και Χιονιού, Ενότητες Διαστάσεις Κτιρίου και Άνεμος



Εικόνα 6-7 Καρτέλα Φορτία Ανέμου και Χιονιού, Ενότητα Χιόνι

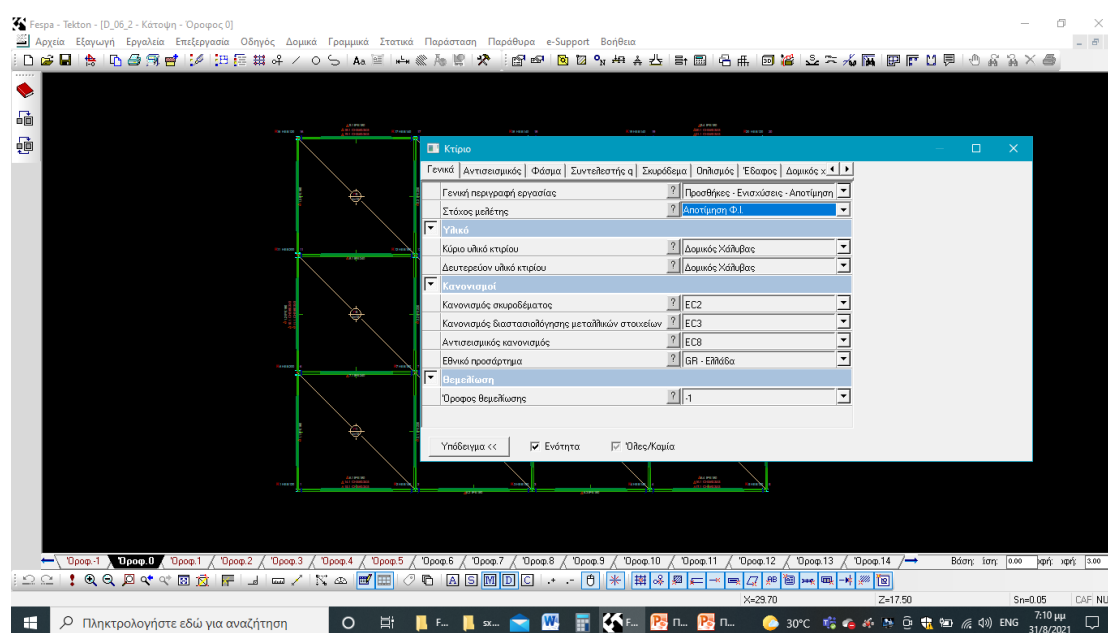
Αφού εισαχθούν οι γενικές αυτές παράμετροι, που όμως είναι βασικές για το σχεδιασμό της κατασκευής, ξεκινάει η μόρφωση του φορέα με την εισαγωγή των διατομών των μελών που τον απαρτίζουν. Για τη σωστή τοποθέτηση των διατομών εισάγεται κάρναβος στις επιθυμητές αποστάσεις, ώστε τα σημεία τομών του να ορίζουν τη θέση των υποστυλωμάτων σε κάτοψη του εισαγόμενου μοντέλου. Η οντότητα του προγράμματος με την οποία μπορούν να εισαχθούν οριζόντια και κατακόρυφα ευθύγραμμα τμήματα είναι αυτή που ονομάζεται «οδηγός» (Εικ. 6-8). Στην περίπτωση του μελετώμενου κτιρίου Α, τοποθετήθηκαν τέσσερα οριζόντια ευθύγραμμα τμήματα και πέντε κατακόρυφα, ώστε να απέχουν μεταξύ τους απόσταση 5,00m.

Η εισαγωγή των μελών του φορέα, υποστυλωμάτων και δοκών, πραγματοποιείται με τη βοήθεια των οντοτήτων της εφαρμογής, «υποστυλώματα» και «δοκοί», αντίστοιχα. Κάθε επιμέρους οντότητα απαρτίζεται από ένα σύνολο επιπλέον εντολών που εξυπηρετούν στην τελική μόρφωση του φορέα. Στα σημεία τομών του καννάβου γίνεται η εισαγωγή των διατομών των υποστυλωμάτων, εφόσον καθοριστούν η διατομή και άλλοι παράμετροι αυτού, από το «Παράθυρο Παραμέτρων» της οντότητας Υποστυλώμα. Οι διατομές των υποστυλωμάτων είναι τύπου ΗΕΒ. Οι δοκοί εφαρμόζονται αντίστοιχα με τα υποστυλώματα, αφού πρώτα καθοριστεί η διατομή και τυχόν άλλοι παράμετροι. Οι διατομές που επελέγησαν είναι τύπου ΙΡΕ, μικρότερες διατομές περιμετρικά και μεγαλύτερες στα ενδιάμεσα πλαίσια. Γενικότερα στις κατώτερες στάθμες οι διατομές ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στις πιο πάνω στάθμες του κτιρίου. Για την ευστάθεια του κτιρίου και την παραλαβή των οριζόντιων δράσεων με ασφάλεια από το φορέα, προστέθηκαν διαγώνιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, τόσο κατά τη x όσο και κατά την y διεύθυνση. Κατά την x διεύθυνση οι σύνδεσμοι τοποθετήθηκαν στα ακραία φαντώματα του φορέα σε όλο το ύψος αυτού. Στην y διεύθυνση, κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας τοποθετήθηκαν στο μεσαίο φάνωμα του φορέα, επίσης καθ' όλο το ύψος της κατασκευής. Έπειτα από την Οντότητα «Πλάκα», προστίθεται στο φορέα πλάκες, με πάχος $d=12\text{cm}$.

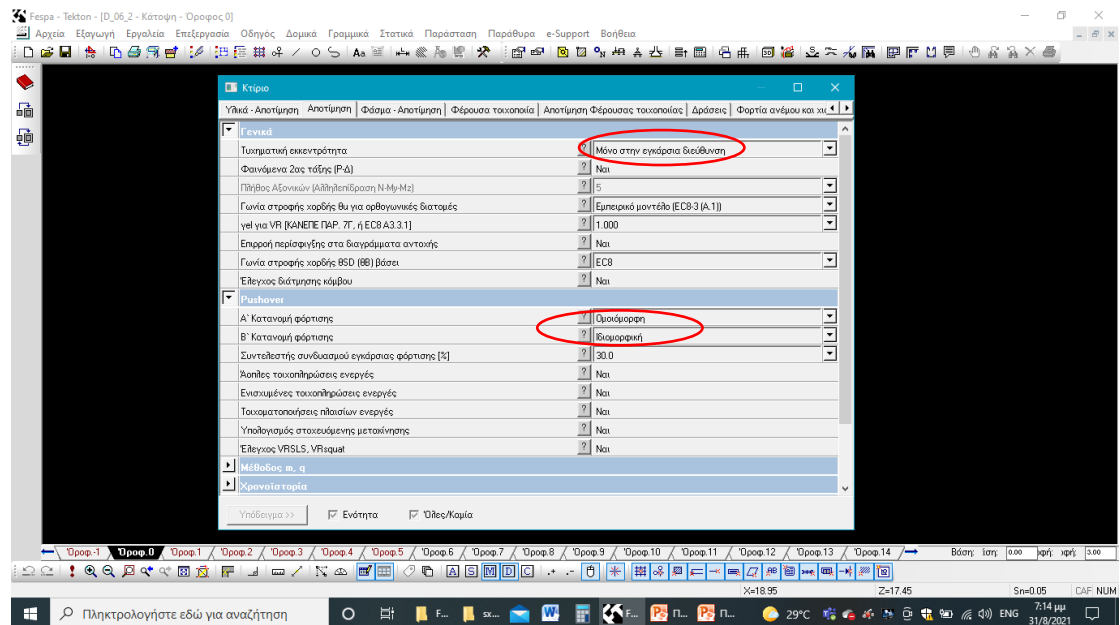
Επόμενο βήμα είναι από την οντότητα «Παραγωγές», εκτελείται η εντολή «Προσαρμογή Δοκών», έτσι ώστε τα φορτία των πλακών, να μεταβιβαστούν στα

μέλη του φορέα. Τέλος, Γίνεται η Επίλυση επιλέγοντας τη σχετική Εντολή και εξάγεται το Τεύχος των Αποτελεσμάτων.

Κατά τον ίδιο τρόπο πραγματοποιείται και η ανελαστική ανάλυση των κτιρίων, με κάποιες παραλλαγές παραμέτρων όσον αφορά στην εντολή Κτίριο. Πιο συγκεκριμένα οι αλλαγές αυτές αφορούν στην Καρτέλα Γενικά, όπου επιλέγεται Γενική Περιγραφή Εργασίας: Προσθήκες – Ενισχύσεις-Αποτίμηση, και Στόχος Μελέτης: Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας (Εικ. 6-8). Άλλες παράμετροι που επιλέγονται βρίσκονται στις καρτέλες Αποτίμηση και Φάσμα Αποτίμηση, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικ. 6-8 και 6-9).

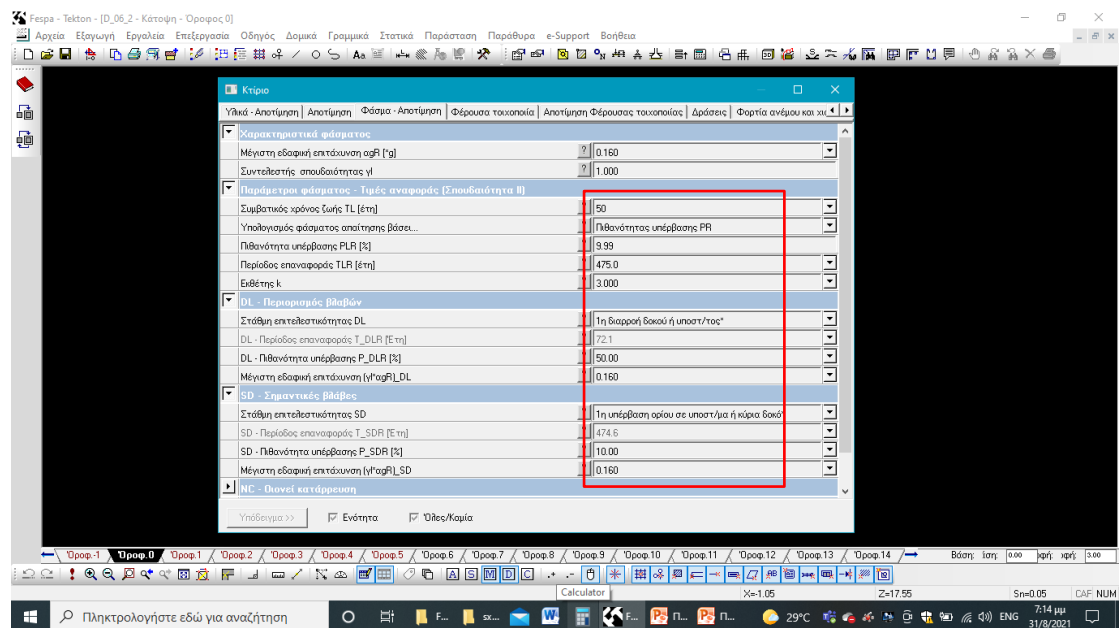


Εικόνα 6-8 Καρτέλα γενικά, Εντολής Κτίριο, Παράμετροι Ανελαστικής Ανάλυσης Pushover

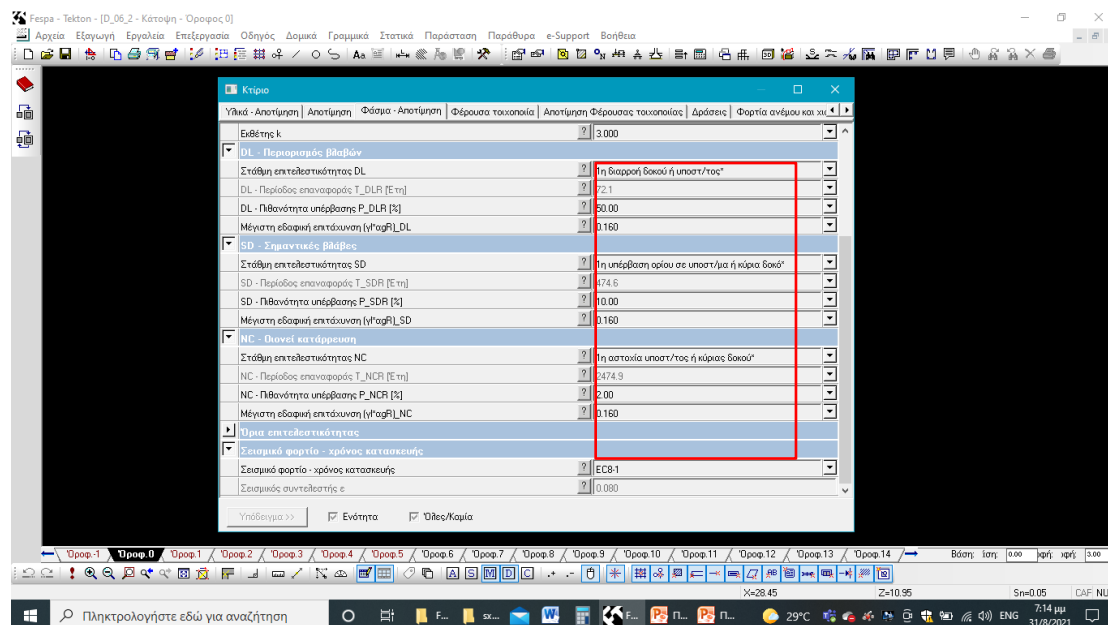


Εικόνα 6-9 Καρτέλα Αποτίμηση, Εντολής Κτίριο, Ανελαστική Ανάλυση Pushover

Για όλα τα μελετώμενα κτίρια κατά την εκτέλεση της ανελαστικής ανάλυσης pushover, στην καρτέλα Φάσμα-Αποτίμηση (Εικ. 6-10), στην επιλογή των σταθμών επιτελεστικότητας, ως πιθανότητα υπέρβασης εισήχθησαν οι τιμές, 50%, 10% και 2% για τις στάθμες επιτελεστικότητας περιορισμένες βλάβες, σημαντικές βλάβες και οιονεί κατάρρευση αντίστοιχα.



(α)



(β)

Εικόνα 6-10 Καρτέλα Φάσμα Αποτίμηση, Εντολής Κτίριο, Ανελαστική Ανάλυση Pushover

Για την αποτίμηση των κατασκευών επιλέγεται από την εντολή Επίλυση, Ανάλυση Pushover. Μετά το τέλος της ανάλυσης εξάγεται το τεύχος αυτής με τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας ADRS, για κάθε ένα από τα μελετώμενα κτίρια, τα οποία εν συνεχεία συγκρίνονται μεταξύ τους (κεφ. 7).

6.2 Μέθοδος Ανελαστικής Στατικής Ανάλυσης (pushover)

Οι σύγχρονες μέθοδοι αντισεισμικού σχεδιασμού κτιρίων, όπως περιγράφονται και στον Ευρωκώδικα 8 εξετάζουν τη συμπεριφορά του κτιρίου, στην ελαστική περιοχή του φάσματος απόκρισης, μέχρι να δημιουργηθούν οι πρώτες ζημιές. Προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη ασφάλεια της κατασκευής γίνεται χρήση του συντελεστή συμπεριφοράς. Στην περίπτωση που επιθυμούμε να ελέγξουμε τη συμπεριφορά του κτιρίου, έπειτα από την εμφάνιση των βλαβών και μέχρι αυτό να διαρρεύσει ολοκληρωτικά, εφαρμόζουμε μεθόδους ανελαστικής ανάλυσης (στατική ή δυναμική).

Κατά τη διαδικασία της μεθόδου μη γραμμικής (ανελαστικής) στατικής ανάλυσης (pushover), το προσομοίωμα της κατασκευής υποβάλλεται σε εφαρμογή διαδοχικών οριζόντιων δυνάμεων, οι οποίες σταδιακά αυξάνουν. Η επιβολή των δυνάμεων γίνεται σε κάθε επίπεδο του εξεταζόμενου φορέα, είτε με γραμμική κατανομή, είτε με ιδιομορφική (συνήθως της 1^{ης} ιδιομορφής του συστήματος). Πραγματοποιείται κάθε φορά, ανάλυση του φορέα, έως ότου φτάσει σε αστοχία τοπικά ή στο σύνολό του. Η

μειωμένη δυσκαμψία των μελών που έχουν φτάσει να αστοχήσουν, λαμβάνεται υπόψη στις επόμενες στατικές ανελαστικές αναλύσεις του φορέα. Τελικά προκύπτει η καμπύλη ικανότητας της κατασκευής η οποία αποτελεί αποτέλεσμα της τέμνουσας βάσης και της αντίστοιχης μετατόπισης του κέντρου βάρους της κορυφής του φορέα. Η καμπύλη ικανότητας είναι συνάρτηση εντατικών μεγεθών (δύναμη, ροπή) και παραμορφωσιακών μεγεθών (σχετική μετατόπιση, γωνία στροφής). Στη συνέχεια γίνεται μετατροπή αυτής της καμπύλης ικανότητας του κτιρίου σε καμπύλη ικανότητας μονοβάθμιου ισοδύναμου συστήματος. Η μετατροπή είναι απαραίτητη για τον έλεγχο του φορέα με τους αντίστοιχους στόχους σεισμικής απαίτησης.

Τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας των κτιρίων παρουσιάζουν σε ένα διάγραμμα την καμπύλη ικανότητας του κτιρίου και ταυτόχρονα τα ελαστικά σεισμικά φάσματα απαίτησης για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας. Σε αυτό το διάγραμμα σημειώνεται με ιδιαίτερο σύμβολο, η στοχευόμενη μετακίνηση και με διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή, η ικανότητα μετακίνησης του φορέα σε κάθε στάθμη.

Οι στάθμες επιτελεστικότητας αφορούν στο ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο πιθανόν βλαβών του φορέα. Καθορίζονται από το μελετητή, λαμβάνοντας υπόψη τη σπουδαιότητα της κατασκευής σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους (ασφάλεια, κόστος). Διακρίνονται τρεις βασικές στάθμες επιτελεστικότητας, που αναφέρονται τόσο στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής, όσο και στα μη φέροντα δομικά στοιχεία, η **στάθμη περιορισμού βλαβών** (DL-Damage Limitation), **στάθμη σημαντικών βλαβών** (SD-Severe damage) και **στάθμη οιονεί κατάρρευσης** (NC-Near Collapse). Σε κάθε περίπτωση η απαίτηση εξαρτάται από την οριακή γωνία στροφής – χορδής.

Κεφάλαιο 7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

7.1 Διαστασιολόγηση Μεταλλικών Μελών

Αρχικά έγινε προδιαστασιολόγηση των φερόντων μελών κάθε κατασκευής. Στην συνέχεια διεξήχθη ανάλυση και έλεγχος διαστασιολόγησης με το προαναφερόμενο εμπορικό λογισμικό για κάθε κτίριο. Ωστόσο, μετά τη διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης του φορέα από το πρόγραμμα, προέκυψαν για κάποια μέλη μη επάρκεια αυτών, σύμφωνα με τους συγκεκριμένους ελέγχους που προβλέπονται ανά περίπτωση από τους Ευρωκώδικες και εφαρμόζονται από το πρόγραμμα. Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν οι ανάλογες αλλαγές των διατομών των μελών και επαναλήφθηκε η διαδικασία επίλυσης του διορθωμένου πλέον φορέα. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η επιλογή των διατομών μετά τη διόρθωση έγινε με γνώμονα να τηρείται η λογική της συμμετρίας και της συνέχειας σε μια δοκοσειρά, ώστε να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η ασφάλεια της κατασκευής, μέσω της εκπλήρωσης των ελέγχων, αλλά και η οικονομία της κατασκευής, με την επιλογή της ελάχιστης απαιτούμενης διατομής.

Έπειτα από την επίλυση των εισαγόμενων φορέων των τεσσάρων κτιρίων προέκυψαν από το πρόγραμμα τα εξής αποτελέσματα, σχετικά με τη διαστασιολόγηση των μελών και την ανελαστική ανάλυση του εκάστοτε φορέα. Παρακάτω λοιπόν παρατίθενται τα σχετικά αποτελέσματα που αφορούν στους ελέγχους και την ανάλυση των δοκών και υποστυλωμάτων του φορέα, όπως αυτά προκύπτουν από τα τεύχη επίλυσης του χρησιμοποιούμενου προγράμματος.

Οι παραδοχές υπολογισμού για τον έλεγχο και τη διαστασιολόγηση των τεσσάρων μεταλλικών φορέων έχει ως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

Παραδοχές Υπολογισμού			
[1] Υλικά		[6] Στοιχεία αντισεισμικού σχεδιασμού	
Σκυρόδεμα	C25/30	Εθνικό προσάρτημα	GR(Ελλάς)
Χάλυβας οπλισμού	B500C	Κατηγορία πλαστιμότητας	ΚΠΜ
Κατηγορία έκθεσης	[XC3]	Σεισμική ζώνη	Z1
Δομικός χάλυβας	S235	Σπουδαιότητα	II
Δομική Ξυλεία	C24	$a_{gR} = 0,160$	$a_{vGR} = 0,144$
			$\gamma_I = 1,00$
		Κατακόρυφη συνιστώσα	OXI
		Τύπος φάσματος Σχεδιασμού	1
		Εδαφικός τύπος	B
		Ιδιοπερίοδοι φάσματος	$T_B=0,15$ $T_C=0,50$ $T_D=2,50$
		Συντ. απόσβεσης	$\xi=4,00\%$
		Συντελεστής τοπογραφίας	$S_T = 1,00$
[2] Μόνιμα φορτία		[6.1] Συντελεστής συμπεριφοράς	
Ειδικό βάρος σκυροδέματος	25.0 kN/m ³	Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς οριζ.	$a_{\chi}=4,00$ $a_{\zeta}=4,00$
Ειδικό βάρος χάλυβα	78.5 kN/m ³	Συντ. σεισμικής συμπεριφοράς κατακόρυφα	$a_{\nu}=1,50$
Δρομική κλινθοδομής	2.1 kN/m ²	Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση X)	
Μπατικής κλινθοδομής	3.6 kN/m ²	ΠΟΛΥΟΡΟΦΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΡΟΠΩΝ ΠΟΛΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	
Επικάλυψη πλακών γενικά	1.2 kN/m ²	Στατικό σύστημα: (Διεύθυνση Z)	
Επικάλυψη κλιμάκων	2.5 kN/m ²	ΠΟΛΥΟΡΟΦΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΡΟΠΩΝ ΠΟΛΛΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	
Επικάλυψη δώματος/Στέγης	2.0 kN/m ²	Κανονικότητα σε κάτση	-
Ειδικό βάρος γαίων	20.0 kN/m ³	Κανονικότητα καθ' ύψος	X: NAI Z: NAI
Ειδικό βάρος Δομικής Ξυλείας	3.5 kN/m ³	Βασική τιμή συντ. συμπεριφοράς	$a_{oX}=4,00$ $a_{oZ}=4,00$
[3] Μεταβλητά φορτία		Λόγος υπεραντοχής	$a_{u}/a_{1_X}=1,00$ $a_{u}/a_{1_Z}=1,00$
Δάπεδα καταικίων-γραφείων	2.0 kN/m ²	Συντελεστής τοιχωμάτων	$K_{w_X}=1,00$ $K_{w_Z}=1,00$
Δάπεδα και κλιμάκ. καταστημάτων	5.0 kN/m ²	Αντισεισμική Ανάλυση	Δυναμική με Μ.Μαζών
Κλιμάκων κατοικίας-γραφείων	3.5 kN/m ²	Ανάλυση pushover	OXI
Δάπεδα εξωστών	5.0 kN/m ²	Συντ. μείωσης μετακινήσεων Ο.Κ.Π.Β.	$\nu=0,50$
Δάπεδα χώρων στάθμευσης	5.0 kN/m ²	Ικανοτικός σχεδιασμός σε κάμψη	X: NAI Z: NAI
Δώμα / Στέγη (μη βατή)	0.5 kN/m ²	[7] Πρότυπα κ' Εθνικά προσάρτηματα (ΕΛΟΤ)	
[4] Συντελεστές ασφαλείας φορτίων-υλικών		Βάσεις σχεδιασμού	EN1990 2002
Μόνιμα φορτία	$\gamma_G=1,35$	Δράσεις στους φορείς	EN1991-1 2002
Μεταβλητά φορτία	$\gamma_Q=1,50$	Κανονισμός Σκυροδέματος	EN1992-1 2004
Σκυροδέματος	$\gamma_C=1,50$	Κανονισμός κατασκευών από Χάλυβα	EN1993-1 2006
Συντελεστής θλιπτικής αντοχής	$\alpha_{CC}=0,85$	Κανονισμός κατασκευών από τοιχοποιία	EN1996-1 2006
Χάλυβα οπλισμού	$\gamma_S=1,15$	Γεωτεχνικός Σχεδιασμός	EN1997-1 2004
Δομικός χάλυβας	$\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$	Αντισεισμικός Κανονισμός	EN1998-1,5 2004
Συντ. υπεραντοχής δομικού χάλυβα	$\gamma_{Ov}=1,25$	Προσθήκες - Ενισχύσεις - Αποτίμηση	EN1998-3 2005
Δομική Ξυλεία	$\gamma_M=1,50$		KAN.ΕΠΕ
Συνδυασμοί ΕΟ (6.10a)+(6.10b)	$\xi=0,85$		ΦΕΚ2187/Β/5/9/13
[5] Έδαφος		[8] Προβλέψεις	
Μέθοδος υπολογισμού	Απλοποιημένη μεθ. 3	Καθ' Ύψος	ΜΗΔΕΝ(0)
Δείκτης εδάφους	$K_v=60000,00$ kN/m ³	Κατ' Επέκταση	0
Επιτρεπόμενη τάση	$\sigma_{EP}=250,00$ kN/m ²		
Γωνία τριβής στη βάση θεμελίου	$\delta=30,00$ [°]		
Συντελεστές ασφαλείας (Ολίσθηση)	Στατικά $\gamma_{Rh}=1.10$		
	Σεισμικά $\gamma_{Rh}=1.00$		
Συντελεστές ασφαλείας (Φέρουσα Ικανότητα)	Στατικά $\gamma_{Rv}=1.40$		
	Σεισμικά $\gamma_{Rv}=1.00$		

Εικόνα 7-1 Πίνακας Παραδοχών Διαστασιολόγησης των Τεσσάρων Μελετώμενων Μεταλλικών Φορέων

Για τους φορείς που αναλύθηκαν, παρουσιάζονται στη συνέχεια, αποσπάσματα των πινάκων με τους συνοπτικούς ελέγχους των μεταλλικών μελών, δοκών και υποστυλωμάτων, στους αντίστοιχους πίνακες δυσμενέστερων λόγων ικανότητας μεταλλικών μελών, Πίνακας 7-1 έως Πίνακας 7-8.

Πίνακας 7-1 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Δοκών, Κτίριο Α

Όνομα	Ορόφος [l]	Τύπος [l]	Διατομή -	Κατηγορία [l]	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myy+myz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz	Πρόταση Διατομής
Δ19.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ20.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ21.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,45			CHS48.3X3.2
Δ1.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,21	0,03	0,11			IPE160
Δ1.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,20		0,06			IPE160
Δ1.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,21	0,03	0,11			IPE160
Δ2.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,03	0,60			IPE200
Δ2.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,26		0,40			IPE200
Δ2.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,03	0,60			IPE220
Δ3.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,02	0,59			IPE200
Δ3.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,26	0,01	0,39			IPE200
Δ3.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,02	0,58			IPE200
Δ4.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,03	0,60			IPE220
Δ4.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,26		0,40			IPE200
Δ4.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,03	0,60			IPE220
Δ5.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,21	0,03	0,11			IPE160
Δ5.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,20		0,06			IPE160
Δ5.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,21	0,03	0,11			IPE160
Δ6.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180
Δ6.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180
Δ7.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,04	0,75			IPE240
Δ7.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ7.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ7.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,04	0,75			IPE240
Δ8.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,04	0,75			IPE240
Δ8.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ8.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ8.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,04	0,75			IPE240
Δ9.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180
Δ9.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ9.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ9.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180
Δ10.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,99			CHS60.3X5
Δ11.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,99			CHS60.3X5
Δ12.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,99			CHS60.3X5
Δ13.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,99			CHS60.3X5
Δ14.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,43			CHS48.3X2.6
Δ15.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ16.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ17.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,43			CHS48.3X2.6
Δ18.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,43			CHS48.3X2.6
Δ19.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ20.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ21.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,43			CHS48.3X2.6
Δ1.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE160	1	0,23	0,05	0,81			IPE160
Δ1.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE160	1	0,21	0,01	0,51			IPE140
Δ1.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE160	1	0,23	0,05	0,81			IPE160
Δ2.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,04	0,57			IPE200
Δ2.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,26	0,01	0,41			IPE200
Δ2.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,04	0,58			IPE200
Δ3.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,03	0,57			IPE200
Δ3.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,26	0,01	0,41			IPE200
Δ3.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,03	0,56			IPE200
Δ4.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,04	0,58			IPE200
Δ4.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,26	0,01	0,41			IPE200
Δ4.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE220	1	0,29	0,04	0,58			IPE200
Δ5.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE160	1	0,23	0,05	0,81			IPE160
Δ5.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE160	1	0,21	0,01	0,51			IPE140
Δ5.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE160	1	0,23	0,05	0,81			IPE160
Δ6.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180
Δ6.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180
Δ7.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,05	0,75			IPE240
Δ7.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ7.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ7.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,06	0,75			IPE240
Δ8.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,05	0,75			IPE240
Δ8.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ8.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,19	0,02	0,49			IPE220
Δ8.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,23	0,06	0,75			IPE240
Δ9.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180

Στον Πίνακα 7-1, φαίνεται η επιλογή των δοκών του Α φορέα για τη στάθμη 1, δηλαδή αφορά στον ξυλότυπο οροφής του πρώτου ορόφου. Επιπλέον στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ελέγχων, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3, τα οποία βρίσκονται εντός των αποδεκτών τιμών, βάσει των ευρωπαϊκών

προτύπων. Ωστόσο στην τελευταία στήλη του πίνακα δίνεται η ελάχιστη επιτρεπόμενη επιλογή μέλους, από την εφαρμογή. Η προτεινόμενη αυτή επιλογή δεν αποτελεί δέσμευση για το μελετητή, λειτουργεί όμως ως επικουρικό εφελτήριο για τη βέλτιστη αντιμετώπιση επίλυσης του φορέα.

Στον Πίνακα 7-2, φαίνεται η επιλογή των διατομών των υποστυλωμάτων, που χρησιμοποιήθηκαν για τη μόρφωση του φορέα Α, σε κάθε στάθμη του. Επιπλέον στον ίδιο πίνακα εμφανίζονται και τα αποτελέσματα των ελέγχων βάσει των ευρωπαϊκών κανονισμών και προτύπων, όπως αυτά προκύπτουν από την ανάλυση του δεδομένου φορέα. Σημειώνεται ότι η επιλογή των διατομών των υποστυλωμάτων είναι κοινή ανά δύο ή τρεις στάθμες, προκειμένου να πληρούνται οι έλεγχοι ταυτόχρονα όμως να επιτυγχάνεται και οικονομία της κατασκευής. Για παράδειγμα στον Πίνακα 7-2, το υποσύλωμα Κ3 αποφασίστηκε να διατηρήσει τη διατομή του σε τρεις στάθμες. Από το ισόγειο μέχρι τη στάθμη του δεύτερου ορόφου η διατομή που επιλέχθηκε είναι ΗΕΒ140 και από τον τρίτο όροφο μέχρι και τη στάθμη του πέμπτου ορόφου η διατομή επιλέχθηκε να είναι ΗΕΒ120.

Πίνακας 7-2 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Α

Όνομα	Οροφος [']	Τύπος [']	Διατομή -	Κατηγορία [']	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myg+mz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz	Πρόταση Διατομής
K1	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,03	0,81	0,87	0,87	HEB120
K1	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,05	0,64	0,69	0,69	HEB120
K1	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,68	0,74	0,76	HEB100
K1	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,47	0,56	0,55	HEB100
K1	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,27	0,37	0,35	HEB100
K1	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,06	0,27	0,45	0,28	HEB100
K2	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,79	0,86	0,84	HEB140
K2	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,63	0,71	0,68	HEB140
K2	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,51	0,60	0,57	HEB120
K2	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,07	0,45	0,59	0,53	HEB120
K2	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,08	0,28	0,49	0,38	HEB100
K2	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,10	0,38	0,53	0,34	HEB120
K3	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,62	0,73	0,68	HEB140
K3	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,07	0,51	0,66	0,60	HEB140
K3	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,41	0,58	0,50	HEB120
K3	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,07	0,39	0,58	0,50	HEB120
K3	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,08	0,26	0,48	0,38	HEB100
K3	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,09	0,34	0,50	0,32	HEB100
K4	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,79	0,86	0,84	HEB140
K4	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,63	0,71	0,68	HEB140
K4	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,51	0,60	0,57	HEB140
K4	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,07	0,45	0,59	0,53	HEB120
K4	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,08	0,28	0,49	0,38	HEB100
K4	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,10	0,36	0,52	0,33	HEB100
K5	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,03	0,82	0,87	0,87	HEB120
K5	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,05	0,64	0,69	0,69	HEB120
K5	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,68	0,75	0,76	HEB100
K5	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,47	0,56	0,55	HEB100
K5	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,27	0,38	0,35	HEB100
K5	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,06	0,26	0,44	0,28	HEB100
K6	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,54	0,60	0,57	HEB160
K6	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,43	0,45	0,44	HEB140
K6	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,58	0,60	0,60	HEB120
K6	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,40	0,40	0,40	HEB100
K6	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,02	0,37	0,39	0,40	HEB100
K6	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,12	0,20	0,16	HEB100
K7	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,04	0,87	0,88	0,88	HEB180
K7	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,05	0,72	0,74	0,73	HEB160
K7	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,88	0,90	0,90	HEB140
K7	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,06	0,66	0,69	0,68	HEB120
K7	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,56	0,58	0,59	HEB100
K7	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1		0,04	0,07	0,13	0,10	HEB120
K8	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,03	0,82	0,83	0,82	HEB180
K8	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,05	0,68	0,70	0,69	HEB160
K8	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,04	0,83	0,85	0,85	HEB140
K8	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,06	0,62	0,65	0,64	HEB120
K8	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,53	0,55	0,56	HEB100
K8	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1		0,04	0,07	0,12	0,09	HEB120
K9	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,04	0,87	0,88	0,87	HEB180
K9	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,05	0,72	0,74	0,73	HEB160
K9	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,88	0,90	0,90	HEB140
K9	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,06	0,66	0,69	0,68	HEB140
K9	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,56	0,58	0,59	HEB100
K9	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1		0,04	0,07	0,13	0,09	HEB120
K10	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,54	0,60	0,57	HEB160
K10	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,43	0,45	0,44	HEB140
K10	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,58	0,60	0,60	HEB120
K10	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,40	0,40	0,40	HEB100
K10	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,02	0,37	0,39	0,40	HEB100
K10	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,12	0,19	0,15	HEB100
K11	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,54	0,60	0,57	HEB160
K11	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,43	0,45	0,44	HEB140
K11	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,58	0,60	0,60	HEB120
K11	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,40	0,40	0,40	HEB100
K11	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,02	0,37	0,39	0,40	HEB100

Πίνακας 7-3 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστλωμάτων, Κτίριο Α (συνέχεια)

Όνομα	Όροφος [L]	Τύπος [L]	Διατομή -	Κατηγορία [L]	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+m _{yy} +m _{yz}	EC3 (6.62) nz+m _{zy} +m _{zz}	Πρόταση Διατομής
K11	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,11	0,20	0,16	HEB100
K12	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,04	0,87	0,88	0,87	HEB180
K12	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,05	0,72	0,74	0,73	HEB160
K12	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,88	0,90	0,90	HEB140
K12	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,06	0,66	0,69	0,68	HEB120
K12	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,56	0,58	0,59	HEB100
K12	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1		0,04	0,07	0,13	0,10	HEB120
K13	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,03	0,82	0,83	0,83	HEB180
K13	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,05	0,68	0,70	0,69	HEB160
K13	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,04	0,83	0,85	0,85	HEB140
K13	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,06	0,62	0,65	0,64	HEB120
K13	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,53	0,55	0,56	HEB100
K13	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1		0,04	0,07	0,12	0,09	HEB120
K14	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,04	0,87	0,88	0,87	HEB180
K14	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,05	0,72	0,74	0,73	HEB160
K14	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,88	0,90	0,90	HEB140
K14	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,06	0,66	0,69	0,68	HEB140
K14	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,56	0,58	0,59	HEB100
K14	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1		0,04	0,07	0,13	0,09	HEB120
K15	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,54	0,60	0,57	HEB160
K15	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,43	0,45	0,44	HEB140
K15	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,58	0,60	0,60	HEB120
K15	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,40	0,40	0,40	HEB100
K15	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,02	0,37	0,39	0,40	HEB100
K15	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,11	0,19	0,15	HEB100
K16	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,03	0,81	0,87	0,87	HEB120
K16	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,05	0,64	0,69	0,69	HEB120
K16	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,68	0,74	0,76	HEB100
K16	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,47	0,56	0,55	HEB100
K16	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,27	0,37	0,35	HEB100
K16	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,06	0,26	0,44	0,28	HEB100
K17	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,79	0,86	0,84	HEB140
K17	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,63	0,71	0,68	HEB140
K17	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,51	0,60	0,57	HEB120
K17	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,07	0,45	0,58	0,53	HEB120
K17	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,08	0,28	0,49	0,38	HEB100
K17	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,10	0,36	0,52	0,33	HEB100
K18	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,62	0,73	0,68	HEB140
K18	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,07	0,51	0,66	0,60	HEB140
K18	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,41	0,58	0,50	HEB120
K18	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,07	0,39	0,58	0,50	HEB120
K18	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,08	0,26	0,48	0,38	HEB100
K18	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,09	0,35	0,51	0,33	HEB100
K19	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,79	0,86	0,84	HEB140
K19	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,63	0,71	0,68	HEB140
K19	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,51	0,60	0,57	HEB140
K19	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,07	0,45	0,59	0,53	HEB120
K19	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,08	0,28	0,49	0,39	HEB100
K19	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,10	0,36	0,52	0,33	HEB100
K20	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,03	0,81	0,87	0,87	HEB120
K20	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,05	0,64	0,69	0,69	HEB120
K20	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,68	0,74	0,76	HEB100
K20	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,47	0,56	0,55	HEB100
K20	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,05	0,27	0,37	0,35	HEB100
K20	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB100	1		0,06	0,26	0,44	0,28	HEB100

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τους φορείς των κτιρίων Β, Γ και Δ, όπως προέκυψαν από την ανάλυση και διαστασιολόγηση του προγράμματος, παρουσιάζονται στα αποσπάσματα των αντίστοιχων πινάκων με τους δυσμενείς λόγους ικανότητας των μεταλλικών δοκών και υποστλωμάτων, που παρατίθενται παρακάτω. Στους Πίνακες 7-3 έως 7-8, παρουσιάζονται συνοπτικά τα μέλη που απαρτίζουν τους φορείς Β (Πιν. 7-3 και 7-4), Γ (Πιν. 7-5 και 7-6) και Δ (Πιν. 7-7 και

7-8). Αφορούν στις διατομές δοκών και υποστυλωμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των ελέγχων και καθένα μέλος.

Πίνακας 7-4 Απόσπασμα Πίνακα Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Δοκών, Κτίριο Β

Όνομα	Όροφος [']	Τύπος [']	Διατομή -	Κατηγορία [']	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+mγγ+myz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz	Πρόταση Διατομής
Δ1.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20		0,16			IPE140
Δ1.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,04	0,24			IPE160
Δ2.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,28	0,03	0,13			IPE220
Δ2.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,26		0,11			IPE200
Δ2.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,27	0,03	0,13			IPE220
Δ3.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE550	1	0,28	0,01	0,66			IPE550
Δ3.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE550	1	0,28		0,15			IPE400
Δ3.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE550	1	0,28	0,01	0,66			IPE550
Δ4.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,27	0,03	0,13			IPE220
Δ4.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,26		0,11			IPE200
Δ4.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,27	0,03	0,13			IPE220
Δ5.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,04	0,24			IPE160
Δ5.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20		0,16			IPE140
Δ5.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,04	0,24			IPE160
Δ6.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ6.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,06	0,35			IPE180
Δ6.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,06	0,35			IPE180
Δ6.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ7.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ7.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,05	0,17			IPE220
Δ7.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,04	0,17			IPE220
Δ7.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ8.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ8.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,05	0,17			IPE220
Δ8.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,04	0,17			IPE220
Δ8.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ9.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ9.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,06	0,35			IPE180
Δ9.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,06	0,35			IPE180
Δ9.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ10.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,94			CHS60.3X5
Δ11.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,94			CHS60.3X5
Δ12.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,93			CHS60.3X5
Δ13.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,93			CHS60.3X5
Δ16.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,89			CHS60.3X3.2
Δ17.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,88			CHS60.3X3.2
Δ18.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,88			CHS60.3X3.2
Δ19.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,89			CHS60.3X3.2
Δ20.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,89			CHS60.3X3.2
Δ21.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,88			CHS60.3X3.2
Δ28.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,88			CHS60.3X3.2
Δ29.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X3.6	1			0,89			CHS60.3X3.2
Δ1.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,02	0,23			IPE160
Δ1.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20		0,16			IPE140
Δ1.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,02	0,24			IPE160
Δ2.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,28	0,02	0,11			IPE200
Δ2.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,26		0,09			IPE200
Δ2.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,27	0,02	0,11			IPE200
Δ3.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE600	1	0,32	0,01	0,70			IPE600
Δ3.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE600	1	0,32		0,13			IPE400
Δ3.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE600	1	0,32	0,01	0,70			IPE600
Δ4.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,27	0,02	0,11			IPE200
Δ4.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,26		0,09			IPE200
Δ4.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,27	0,02	0,11			IPE200
Δ5.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,02	0,23			IPE160
Δ5.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20		0,16			IPE140
Δ5.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,02	0,24			IPE160
Δ6.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ6.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,01	0,35			IPE180
Δ6.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,01	0,35			IPE180
Δ6.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ7.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ7.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,01	0,17			IPE220
Δ7.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,01	0,17			IPE220
Δ7.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ8.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ8.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,01	0,17			IPE220
Δ8.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,14	0,01	0,17			IPE220
Δ8.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE300	1	0,17	0,03	0,26			IPE240
Δ9.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ9.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,01	0,35			IPE180
Δ9.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,13	0,01	0,35			IPE180
Δ9.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,15	0,02	0,46			IPE180
Δ10.1	2	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,71			CHS48.3X5
Δ11.1	2	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,71			CHS48.3X5

Πίνακας 7-5 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Β

Όνομα	Όροφος [']	Τύπος [']	Διατομή -	Κατηγορία [']	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+m _{yy} +m _{yz}	EC3 (6.62) nz+m _{zy} +m _{zz}	Πρόταση Διατομής
K1	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,04	0,16	0,21	0,19	HEB100
K1	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,07	0,23	0,14	HEB100
K2	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,36	0,40	0,39	HEB160
K2	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,07	0,35	0,38	0,37	HEB160
K2	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,25	0,27	0,26	HEB140
K2	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,17	0,20	0,19	HEB140
K2	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,10	0,15	0,12	HEB120
K2	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,05	0,15	0,10	HEB140
K3	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,03	0,67	0,70	0,69	HEB200
K3	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB360	1		0,09	0,39	0,58	0,49	HEB300
K3	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB360	1		0,27	0,47	0,59	0,46	HEB320
K3	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB360	1		0,28	0,40	0,55	0,40	HEB300
K3	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB360	1		0,27	0,31	0,48	0,32	HEB300
K3	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB360	1		0,32	0,50	0,60	0,34	HEB320
K4	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,36	0,40	0,39	HEB160
K4	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,07	0,35	0,38	0,37	HEB160
K4	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,25	0,27	0,26	HEB140
K4	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,17	0,20	0,19	HEB140
K4	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,10	0,15	0,12	HEB120
K4	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB240	1		0,05	0,05	0,15	0,10	HEB140
K5	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,71	0,74	0,73	HEB140
K5	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,66	0,69	0,69	HEB120
K5	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,44	0,48	0,47	HEB100
K5	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,29	0,33	0,32	HEB100
K5	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,04	0,16	0,21	0,19	HEB100
K5	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,07	0,23	0,14	HEB100
K6	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,51	0,59	0,55	HEB160
K6	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,39	0,41	0,40	HEB140
K6	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,28	0,30	0,29	HEB120
K6	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,19	0,21	0,20	HEB100
K6	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,13	0,14	0,13	HEB100
K6	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,06	0,10	0,08	HEB100
K7	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,02	0,05	0,41	0,67	0,79	HEB280
K7	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,03	0,07	0,50	0,55	0,65	HEB240
K7	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,01	0,05	0,25	0,31	0,34	HEB180
K7	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,05	0,19	0,21	0,21	HEB160
K7	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,04	0,13	0,13	0,13	HEB140
K7	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,03	0,06	0,09	0,07	HEB120
K9	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,02	0,05	0,41	0,67	0,79	HEB280
K9	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,03	0,07	0,50	0,55	0,65	HEB240
K9	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,01	0,05	0,25	0,31	0,34	HEB180
K9	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,04	0,19	0,21	0,21	HEB160
K9	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,04	0,13	0,13	0,13	HEB140
K9	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,03	0,06	0,09	0,07	HEB120
K10	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,51	0,59	0,55	HEB160
K10	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,39	0,41	0,40	HEB140
K10	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,28	0,30	0,29	HEB120
K10	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,19	0,21	0,20	HEB100
K10	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,13	0,14	0,13	HEB100
K10	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,06	0,09	0,08	HEB100
K11	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,51	0,59	0,55	HEB160
K11	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,39	0,41	0,40	HEB140
K11	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,03	0,28	0,30	0,29	HEB120
K11	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,19	0,21	0,20	HEB100
K11	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,13	0,14	0,13	HEB100
K11	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1		0,02	0,06	0,10	0,08	HEB100
K12	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,02	0,05	0,41	0,67	0,79	HEB280
K12	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,03	0,07	0,48	0,55	0,65	HEB240
K12	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,01	0,05	0,25	0,31	0,34	HEB180
K12	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,05	0,19	0,21	0,21	HEB160
K12	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,04	0,13	0,13	0,13	HEB140
K12	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1		0,03	0,06	0,09	0,07	HEB120
K14	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,02	0,05	0,41	0,67	0,79	HEB280
K14	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,03	0,07	0,49	0,55	0,65	HEB240
K14	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB300	1	0,01	0,05	0,25	0,31	0,34	HEB180

Πίνακας 7-6 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας μεταλλικών Δοκών, κτίριο Γ

Όνομα	Όροφος [']	Τύπος [']	Διατομή -	Κατηγορία [']	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myy+mz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz	Πρόταση Διατομής
Δ19.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,61			CHS48.3X4
Δ20.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,64			CHS48.3X4
Δ21.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,57			CHS48.3X4
Δ1.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,25			IPE160
Δ1.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20		0,16			IPE160
Δ1.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,04	0,24			IPE160
Δ2.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,34			IPE200
Δ2.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,26			IPE200
Δ2.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,33			IPE200
Δ3.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,34			IPE200
Δ3.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,25			IPE200
Δ3.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,32			IPE200
Δ4.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,35			IPE200
Δ4.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,25			IPE200
Δ4.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,34			IPE200
Δ5.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,25			IPE160
Δ5.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20	0,01	0,16			IPE160
Δ5.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,04	0,25			IPE160
Δ6.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ6.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,01	0,60			IPE180
Δ6.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ7.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,35			IPE200
Δ7.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,27			IPE200
Δ7.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,28			IPE200
Δ7.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,36			IPE200
Δ8.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,34			IPE200
Δ8.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,27			IPE200
Δ8.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,29			IPE200
Δ8.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,35			IPE200
Δ9.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ9.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ9.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,01	0,60			IPE180
Δ9.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ10.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,68			CHS48.3X5
Δ11.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,70			CHS48.3X5
Δ12.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,67			CHS48.3X5
Δ13.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,66			CHS48.3X5
Δ14.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,48			CHS48.3X3.2
Δ15.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,53			CHS48.3X4
Δ16.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,52			CHS48.3X4
Δ17.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,49			CHS48.3X3.2
Δ18.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,53			CHS48.3X4
Δ19.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,58			CHS48.3X4
Δ20.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,60			CHS48.3X4
Δ21.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,50			CHS48.3X3.2
Δ1.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,26			IPE160
Δ1.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20	0,01	0,16			IPE160
Δ1.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,25			IPE160
Δ2.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,33			IPE200
Δ2.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,27			IPE200
Δ2.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,32			IPE200
Δ3.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,33			IPE200
Δ3.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,27			IPE200
Δ3.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,30			IPE200
Δ4.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,34			IPE200
Δ4.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,25			IPE200
Δ4.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,33			IPE200
Δ5.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,26			IPE160
Δ5.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20	0,01	0,16			IPE160
Δ5.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,25			IPE160
Δ6.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ6.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,01	0,60			IPE180
Δ6.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ7.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,36			IPE200
Δ7.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,30			IPE200
Δ7.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,31			IPE200
Δ7.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,37			IPE220
Δ8.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,35			IPE200
Δ8.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,29			IPE200
Δ8.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,31			IPE200
Δ8.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,36			IPE200
Δ9.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180

Πίνακας 7-7 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Γ

Όνομα	Όροφος [']	Τύπος [']	Διατομή -	Κατηγορία [']	v _y	v _z	κ _Δ \ λ _Δ	EC3 (6.61) n _y +m _{yy} +m _{yz}	EC3 (6.62) n _z +m _{zy} +m _{zz}	Πρόταση Διατομής
K1	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,42	0,46	0,45	HEB100
K1	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,04	0,29	0,34	0,33	HEB100
K1	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,03	0,21	0,27	0,26	HEB100
K1	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,05	0,09	0,27	0,18	HEB100
K2	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,04	0,42	0,48	0,45	HEB120
K2	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,30	0,37	0,34	HEB120
K2	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,18	0,30	0,24	HEB120
K2	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,20	0,40	0,26	HEB120
K3	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,04	0,33	0,43	0,38	HEB120
K3	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,25	0,37	0,31	HEB120
K3	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,16	0,30	0,23	HEB120
K3	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,18	0,38	0,25	HEB120
K4	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,04	0,42	0,48	0,45	HEB120
K4	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,30	0,38	0,34	HEB120
K4	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,18	0,31	0,24	HEB120
K4	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,19	0,39	0,25	HEB120
K5	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,42	0,46	0,44	HEB100
K5	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,04	0,29	0,34	0,32	HEB100
K5	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,03	0,21	0,27	0,26	HEB100
K5	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,05	0,09	0,27	0,18	HEB100
K6	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,01	0,02	0,57	0,64	0,65	HEB160
K6	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,02	0,02	0,41	0,48	0,50	HEB140
K6	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,02	0,42	0,46	0,48	HEB120
K6	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,02	0,55	0,37	0,47	HEB140
K6	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1	0,01	0,07	0,35	0,43	0,42	HEB120
K6	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,06	0,12	0,26	0,23	HEB100
K7	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,03	0,72	0,75	0,75	HEB160
K7	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1	0,01	0,03	0,57	0,61	0,61	HEB140
K7	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,03	0,51	0,54	0,55	HEB120
K7	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1	0,01	0,03	0,42	0,46	0,48	HEB100
K7	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1	0,01	0,07	0,19	0,22	0,18	HEB180
K7	5	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB280	1		0,06	0,03	0,12	0,08	HEB140
K8	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,03	0,66	0,67	0,67	HEB160
K8	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1	0,01	0,03	0,53	0,54	0,54	HEB140
K8	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,01	0,03	0,50	0,52	0,54	HEB120
K8	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1	0,01	0,02	0,40	0,42	0,45	HEB100

Πίνακας 7-8 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων ικανότητας μεταλλικών Δοκών, Κτίριο Δ

Όνομα	Όροφος [']	Τύπος [']	Διατομή -	Κατηγορία [']	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myy+mz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz	Πρόταση Διατομής
Δ19.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,56			CHS48.3X4
Δ20.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,66			CHS60.3X3.2
Δ21.1	0	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,61			CHS48.3X4
Δ1.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,25			IPE160
Δ1.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20	0,01	0,16			IPE160
Δ1.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,04	0,28			IPE160
Δ2.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,36			IPE200
Δ2.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,25			IPE200
Δ2.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,35			IPE200
Δ3.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,35			IPE200
Δ3.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,25			IPE200
Δ3.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,43			IPE220
Δ4.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,36			IPE200
Δ4.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,25			IPE200
Δ4.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,35			IPE200
Δ5.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,25			IPE160
Δ5.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20	0,01	0,16			IPE160
Δ5.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,24			IPE160
Δ6.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ6.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,01	0,60			IPE180
Δ6.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ7.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,35			IPE200
Δ7.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,28			IPE200
Δ7.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,28			IPE200
Δ7.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,36			IPE200
Δ8.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,35			IPE200
Δ8.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,27			IPE200
Δ8.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,28			IPE200
Δ8.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,36			IPE200
Δ9.1	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ9.2	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,01	0,60			IPE180
Δ9.3	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ9.4	1	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ10.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,96			CHS60.3X5
Δ11.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,94			CHS60.3X5
Δ12.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,89			CHS60.3X5
Δ13.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,86			CHS60.3X5
Δ14.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,46			CHS48.3X3.2
Δ15.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,52			CHS48.3X3.2
Δ16.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ17.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,48			CHS48.3X3.2
Δ18.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,49			CHS48.3X3.2
Δ19.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,51			CHS48.3X3.2
Δ20.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,60			CHS48.3X4
Δ21.1	1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΔΙΑΓΩΝΙΟΣ	CHS60.3X5	1			0,56			CHS48.3X4
Δ1.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,26			IPE160
Δ1.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20	0,01	0,17			IPE160
Δ1.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,30			IPE160
Δ2.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,35			IPE200
Δ2.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,26			IPE200
Δ2.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,34			IPE200
Δ3.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,35			IPE200
Δ3.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,26			IPE200
Δ3.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,02	0,41			IPE220
Δ4.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,35			IPE200
Δ4.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,01	0,25			IPE200
Δ4.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,03	0,34			IPE200
Δ5.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,26			IPE160
Δ5.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,20	0,01	0,16			IPE160
Δ5.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE200	1	0,21	0,03	0,25			IPE160
Δ6.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,03	0,80			IPE180
Δ6.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,16	0,02	0,60			IPE180
Δ6.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180
Δ7.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,36			IPE200
Δ7.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,30			IPE200
Δ7.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,30			IPE200
Δ7.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,37			IPE220
Δ8.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,36			IPE200
Δ8.2	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,29			IPE200
Δ8.3	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,25	0,02	0,31			IPE200
Δ8.4	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE240	1	0,27	0,04	0,37			IPE220
Δ9.1	2	ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	IPE180	1	0,18	0,04	0,80			IPE180

Πίνακας 7-9 Πίνακας Δυσμενέστερων Λόγων Ικανότητας Μεταλλικών Υποστυλωμάτων, Κτίριο Δ

Όνομα	Όροφος [l]	Τύπος [l]	Διατομή	Κατηγορία [l]	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myy+mzz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz	Πρόταση Διατομής
K1	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,48	0,52	0,51	HEB100
K1	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,32	0,37	0,36	HEB100
K1	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,23	0,28	0,27	HEB100
K1	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,06	0,09	0,26	0,17	HEB100
K2	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,04	0,47	0,53	0,50	HEB120
K2	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,32	0,39	0,36	HEB120
K2	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,19	0,30	0,23	HEB120
K2	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,20	0,39	0,25	HEB120
K3	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,04	0,33	0,42	0,38	HEB120
K3	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,25	0,37	0,31	HEB120
K3	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,16	0,29	0,23	HEB120
K3	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,08	0,19	0,39	0,25	HEB120
K4	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,04	0,47	0,52	0,50	HEB120
K4	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,33	0,39	0,36	HEB120
K4	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1		0,06	0,19	0,30	0,24	HEB120
K4	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,09	0,21	0,41	0,27	HEB120
K5	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,03	0,48	0,52	0,51	HEB100
K5	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1		0,05	0,32	0,38	0,36	HEB120
K5	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,04	0,23	0,29	0,27	HEB100
K5	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB120	1		0,05	0,09	0,27	0,18	HEB100
K6	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,01	0,03	0,69	0,78	0,77	HEB180
K6	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,02	0,03	0,47	0,54	0,56	HEB160
K6	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,03	0,42	0,46	0,48	HEB120
K6	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,04	0,55	0,35	0,48	HEB140
K7	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,03	0,60	0,63	0,63	HEB140
K7	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1	0,02	0,05	0,45	0,49	0,49	HEB140
K7	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,05	0,37	0,41	0,42	HEB120
K7	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1	0,01	0,05	0,31	0,38	0,43	HEB120
K8	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,03	0,53	0,55	0,54	HEB140
K8	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1	0,01	0,05	0,40	0,42	0,42	HEB120
K8	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,01	0,04	0,32	0,36	0,36	HEB120
K8	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1	0,01	0,05	0,23	0,32	0,32	HEB100
K9	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1		0,03	0,59	0,62	0,63	HEB140
K9	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB180	1	0,01	0,05	0,44	0,49	0,49	HEB140
K9	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,04	0,36	0,40	0,42	HEB120
K9	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1	0,01	0,05	0,31	0,37	0,38	HEB100
K10	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,01	0,03	0,63	0,71	0,71	HEB180
K10	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,02	0,03	0,42	0,49	0,51	HEB160
K10	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,02	0,42	0,41	0,44	HEB120
K10	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,03	0,55	0,33	0,45	HEB140
K11	0	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,01	0,03	0,68	0,77	0,76	HEB180
K11	1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB200	1	0,02	0,03	0,45	0,52	0,54	HEB160
K11	2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,03	0,45	0,42	0,46	HEB120
K11	3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB160	1	0,02	0,03	0,53	0,36	0,46	HEB140
K11	4	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	HEB140	1	0,01	0,03	0,38	0,29	0,37	HEB100

Αυτό γενικά που προκύπτει από την παρατήρηση των παραπάνω πινάκων για τα αντίστοιχα μέλη, δοκούς αλλά και υποστυλώματα, των φορέων που μελετήθηκαν, είναι ότι για το φορέα του κτιρίου Β, απαιτούνται μεγαλύτερες διατομές δοκών και υποστυλωμάτων στα ενδιάμεσα διαμορφωμένα φατνώματα, εξαιτίας των μεγαλύτερων ανοιγμάτων που έχει ο συγκεκριμένος φορέας.

7.2 Έλεγχος Αποτίμησης Φέρουσας Ικανότητας

Τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας προκύπτουν έπειτα από την μη γραμμική (ανελαστική), στατική ανάλυση του φορέα. Τα διαγράμματα αυτά καθορίζουν την επάρκεια μιας κατασκευής ως προς τις τρεις στάθμες επιτελεσματικότητας και τελικά

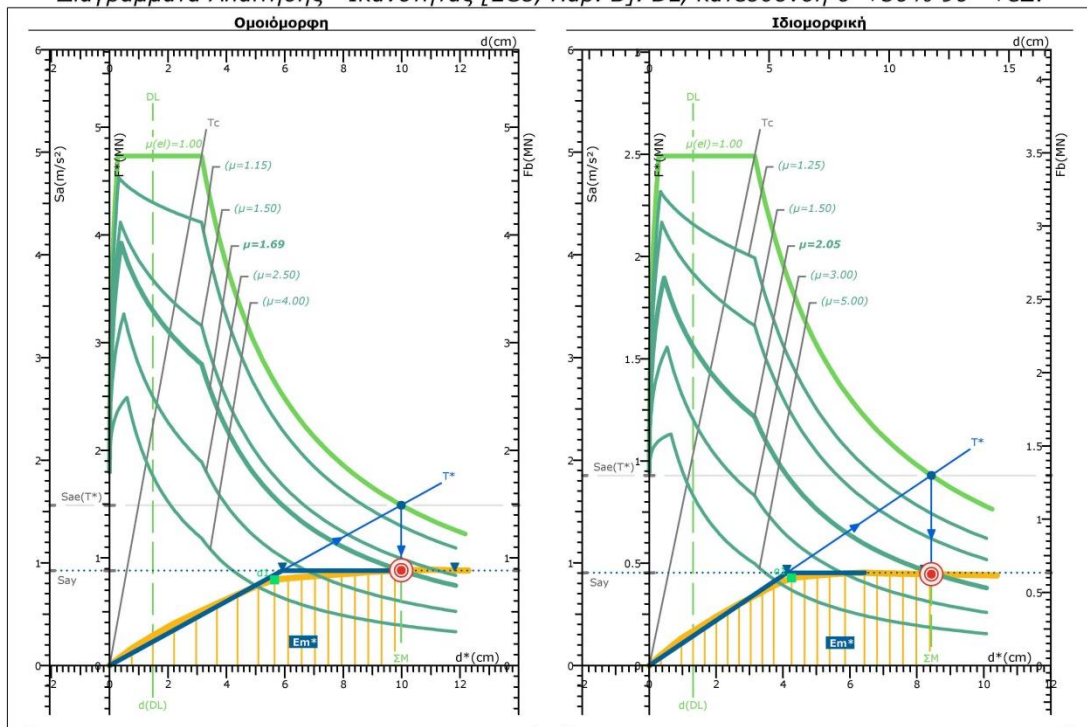
την απαίτηση ή μη ενίσχυσης της αντοχής, της συγκεκριμένης κατασκευής. Για την περίπτωση όπου εφαρμόζεται ανελαστική ανάλυση σε ένα νέο κτίριο, τότε τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή συμπεριφοράς q της κατασκευής, μέσω προσδιορισμού του λόγου a_w/a_1 .

Γενικά, ένα διάγραμμα απαίτησης ικανότητας, αποτυπώνει την καμπύλη ικανότητας της κατασκευής και τα αντίστοιχα φάσματα απαίτησης, για κάθε μία από τις στάθμες επιτελεστικότητας, περιορισμού βλαβών (DL-Damage Limitation), σημαντικών βλαβών (SD-Severe Damage) και αποφυγής κατάρρευσης (NC-Near Collapse). Στο ίδιο διάγραμμα με διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δίνεται η ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής και με μια έντονη κουκίδα πάνω στην καμπύλη, παρουσιάζεται η στοχευόμενη μετακίνηση της κατασκευής. Ο έλεγχος έγκειται στο γεγονός ότι θα πρέπει η διακεκομμένη γραμμή να βρίσκεται δεξιά της στοχευόμενης μετακίνησης, ώστε να πιστοποιείται η επάρκεια της κατασκευής.

Απομονώνοντας τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας που προκύπτουν από την ανελαστική ανάλυση των τεσσάρων φορέων για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας, προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις.

Για τη στάθμη επιτελεστικότητας, περιορισμού βλαβών (DL), αποτυπώνεται το αντίστοιχο διάγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 35, για το κτίριο Α. Στην Εικόνα 35, παρατηρείται ότι η στοχευόμενη μετακίνηση της κατασκευής βρίσκεται δεξιά από τη διακεκομμένη γραμμή, που δηλώνει την ικανότητα μετακίνησης για τη στάθμη επιτελεστικότητας, όποτε αυτό αποδεικνύει το γεγονός ότι δεν ικανοποιείται η επάρκεια της κατασκευής, στη συγκεκριμένη περίπτωση. Αυτό αποτελεί βασικό λόγο, ώστε να επανασχεδιαστεί ο φορέας προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή του και η πλαστιμότητά του. Παρ' όλα αυτά τα διαγράμματα για τις στάθμες επιτελεστικότητας σημαντικών βλαβών (SD) (Εικ. 36) και Αποφυγής Κατάρρευσης (NC) (Εικ. 37) για το ίδιο κτίριο φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Από τα αντίστοιχα διαγράμματα παρατηρείται ότι οι στοχευόμενες μετακινήσεις βρίσκονται αριστερά από την διακεκομμένη γραμμή που δηλώνει την ικανότητα μετακίνησης, για την αντίστοιχη στάθμη επιτελεστικότητας.

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. DL, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



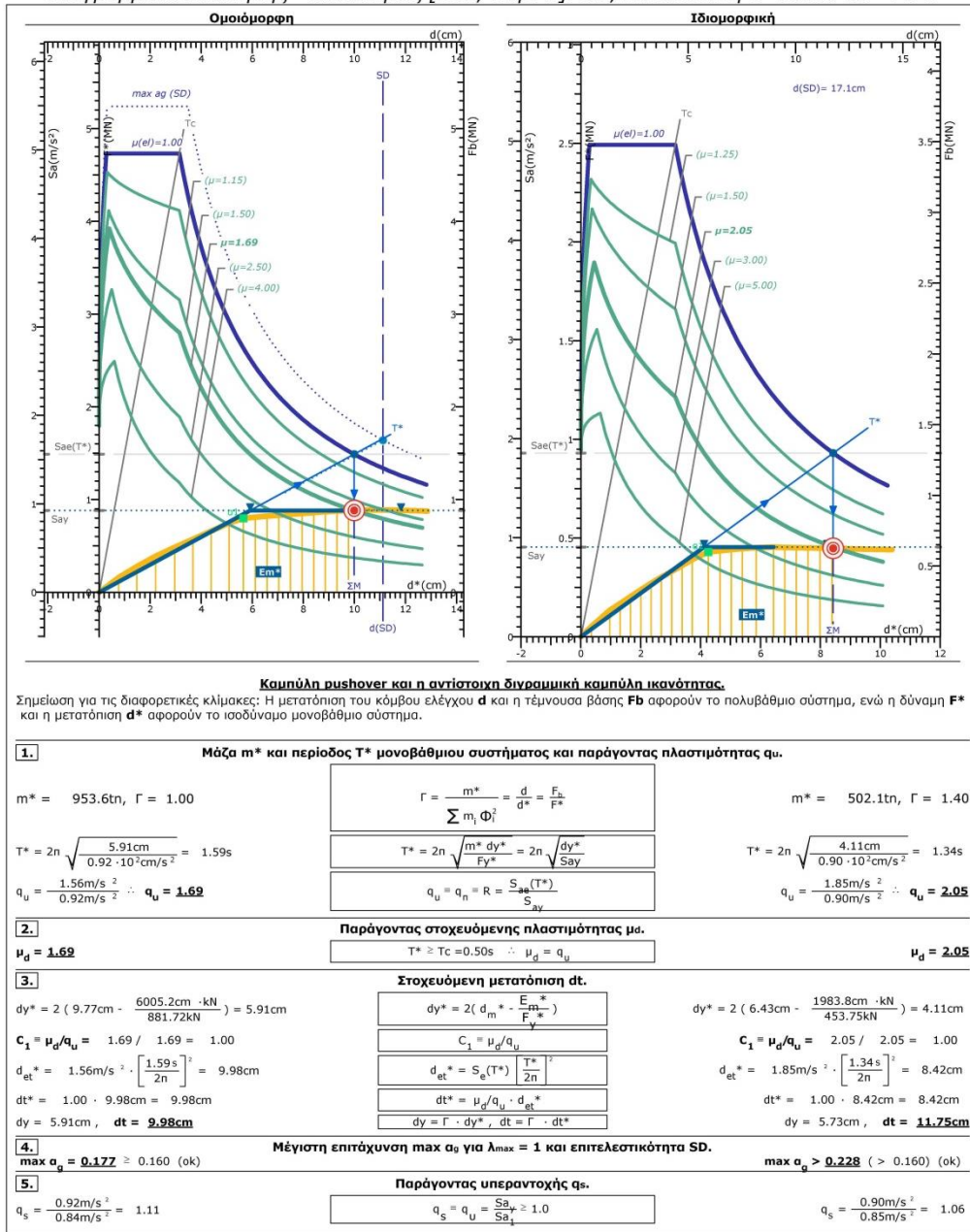
Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη διγραμική καμπύλη ικανότητας.

Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου **d** και η τέμνουσα βάσης **Fb** αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη **F*** και η μετατόπιση **d*** αφορούν το ισοδύναμο μονοβάθμιο σύστημα.

<p>1. Μάζα m* και περίοδος T* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλασιμότητας q_u.</p>		
$m^* = 953.6 \text{tn}, \Gamma = 1.00$	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$	$m^* = 502.1 \text{tn}, \Gamma = 1.40$
$T^* = 2n \sqrt{\frac{5.91 \text{cm}}{0.92 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 1.59 \text{s}$	$T^* = 2n \sqrt{\frac{m^* dy^*}{F_y^*}} = 2n \sqrt{\frac{dy^*}{S_{ay}}}$	$T^* = 2n \sqrt{\frac{4.11 \text{cm}}{0.90 \cdot 10^2 \text{cm/s}^2}} = 1.34 \text{s}$
$q_u = \frac{1.56 \text{m/s}^2}{0.92 \text{m/s}^2} \therefore q_u = 1.69$	$q_u = q_n = R = \frac{S_{ae}(T^*)}{S_{ay}}$	$q_u = \frac{1.85 \text{m/s}^2}{0.90 \text{m/s}^2} \therefore q_u = 2.05$
<p>2. Παράγοντας στοχευόμενης πλασιμότητας μ_d.</p>		
$\mu_d = 1.69$	$T^* \geq T_c = 0.50 \text{s} \therefore \mu_d = q_u$	$\mu_d = 2.05$
<p>3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.</p>		
$dy^* = 2 \left(9.77 \text{cm} - \frac{6005.2 \text{cm} \cdot \text{kN}}{881.72 \text{kN}} \right) = 5.91 \text{cm}$	$dy^* = 2 \left(d_m^* \cdot \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$	$dy^* = 2 \left(6.43 \text{cm} - \frac{1983.8 \text{cm} \cdot \text{kN}}{453.75 \text{kN}} \right) = 4.11 \text{cm}$
$C_1 = \mu_d / q_u = 1.69 / 1.69 = 1.00$	$C_1 = \mu_d / q_u$	$C_1 = \mu_d / q_u = 2.05 / 2.05 = 1.00$
$d_{et}^* = 1.56 \text{m/s}^2 \cdot \left[\frac{1.59 \text{s}}{2n} \right]^2 = 9.99 \text{cm}$	$d_{et}^* = S_e(T^*) \cdot \left[\frac{T^*}{2n} \right]^2$	$d_{et}^* = 1.85 \text{m/s}^2 \cdot \left[\frac{1.34 \text{s}}{2n} \right]^2 = 8.42 \text{cm}$
$dt^* = 1.00 \cdot 9.99 \text{cm} = 9.99 \text{cm}$	$dt^* = \mu_d / q_u \cdot d_{et}^*$	$dt^* = 1.00 \cdot 8.42 \text{cm} = 8.42 \text{cm}$
$dy = 5.91 \text{cm}, dt = 9.99 \text{cm}$	$dy = \Gamma \cdot dy^*, dt = \Gamma \cdot dt^*$	$dy = 5.73 \text{cm}, dt = 11.75 \text{cm}$
<p>4. Μέγιστη επιτάχυνση max a_g για λ_{max} = 1 και επιτελεστικότητα DL.</p>		
$\max a_g = 0.027 < 0.160 (!)$		$\max a_g = 0.028 < 0.160 (!)$
<p>5. Παράγοντας υπεραντοχής q_s.</p>		
$q_s = \frac{0.92 \text{m/s}^2}{0.84 \text{m/s}^2} = 1.11$	$q_s = q_u = \frac{S_{a_{pk}}}{S_{a_l}} \geq 1.0$	$q_s = \frac{0.90 \text{m/s}^2}{0.85 \text{m/s}^2} = 1.06$

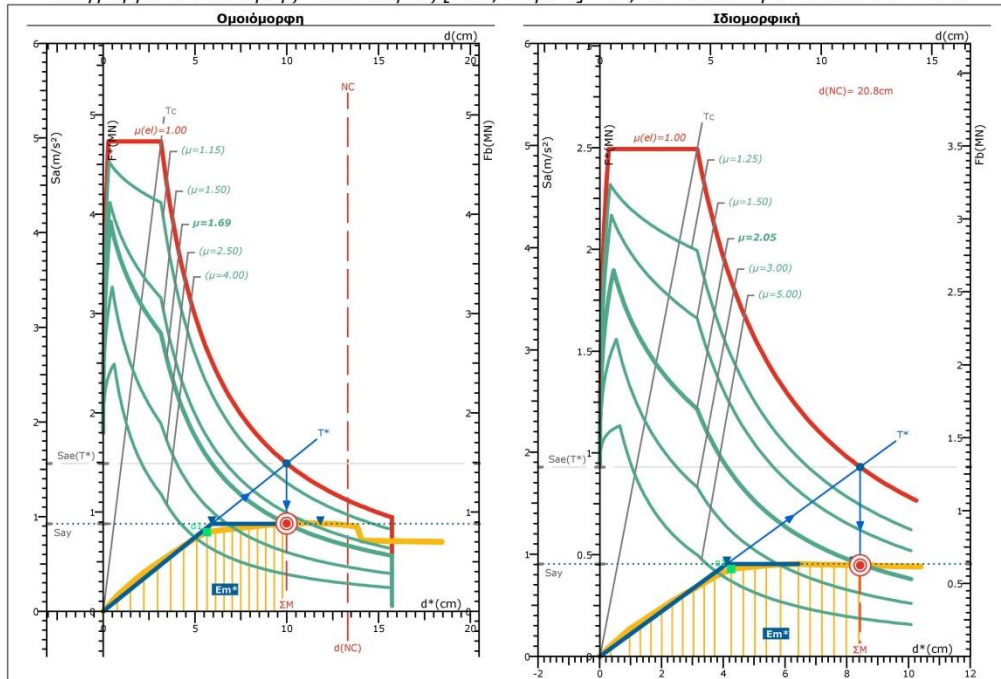
Εικόνα 7-2 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας DL, Κτίριο A

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



Εικόνα 7-3 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Κτίριο Α

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. NC, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



Καμπύλη pushover και η αντίστοιχη δυναμική καμπύλη ικανότητας.

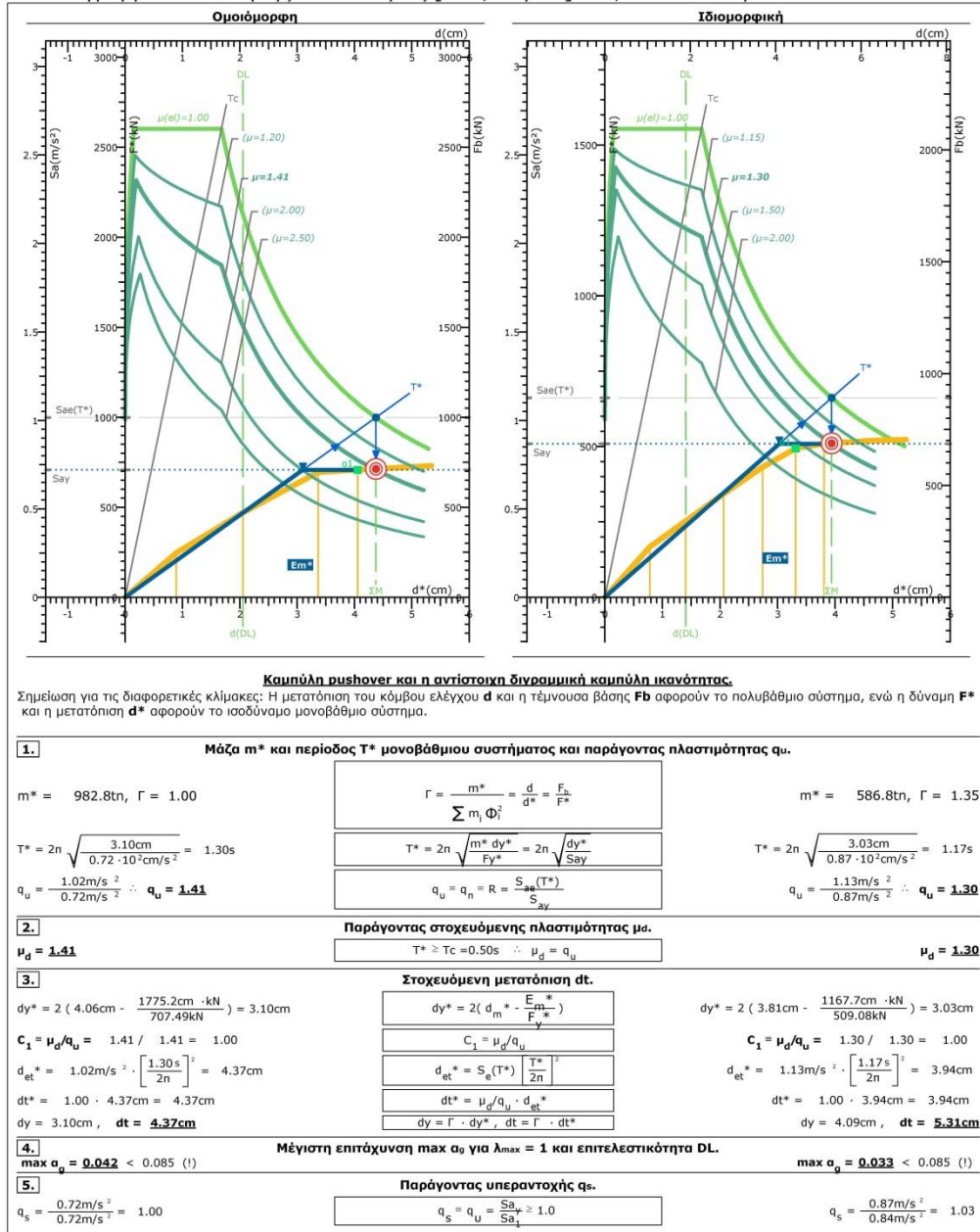
Σημείωση για τις διαφορετικές κλίμακες: Η μετατόπιση του κόμβου ελέγχου **d** και η τέμνουσα βάσης **Fb** αφορούν το πολυβάθμιο σύστημα, ενώ η δύναμη **F*** και η μετατόπιση **d*** αφορούν το ισοβάθμιο μονοβάθμιο σύστημα.

1. Μάζα m* και περιόδος T* μονοβάθμιου συστήματος και παράγοντας πλαστιμότητας q _u .		
$m^* = 953.6tn, \Gamma = 1.00$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{5.91cm}{0.92 \cdot 10^3 cm/s^2}} = 1.59s$ $q_u = \frac{1.56m/s^2}{0.92m/s^2} \therefore q_u = 1.69$	$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{d}{d^*} = \frac{F_b}{F^*}$	$m^* = 502.1tn, \Gamma = 1.40$ $T^* = 2n \sqrt{\frac{4.11cm}{0.90 \cdot 10^3 cm/s^2}} = 1.34s$ $q_u = \frac{1.85m/s^2}{0.90m/s^2} \therefore q_u = 2.05$
2. Παράγοντας στοχευόμενης πλαστιμότητας μ _d .		
$\mu_d = 1.69$	$T^* \geq T_c = 0.50s \therefore \mu_d = q_u$	$\mu_d = 2.05$
3. Στοχευόμενη μετατόπιση dt.		
$dy^* = 2 \left(9.77cm - \frac{6005.2cm \cdot kN}{881.72kN} \right) = 5.91cm$ $C_1 = \mu_d/q_u = 1.69 / 1.69 = 1.00$ $d_{et}^* = 1.56m/s^2 \cdot \left[\frac{1.59s}{2n} \right]^2 = 9.99cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 9.99cm = 9.99cm$ $dy = 5.91cm, dt = 9.99cm$	$dy^* = 2 \left(d_m^* \cdot \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$ $C_1 = \mu_d/q_u$ $d_{et}^* = S_e(T^*) \cdot \left[\frac{T^*}{2n} \right]^2$ $dt^* = \mu_d/q_u \cdot d_{et}^*$ $dy = \Gamma \cdot dy^*, dt = \Gamma \cdot dt^*$	$dy^* = 2 \left(6.43cm - \frac{1983.8cm \cdot kN}{453.75kN} \right) = 4.11cm$ $C_1 = \mu_d/q_u = 2.05 / 2.05 = 1.00$ $d_{et}^* = 1.85m/s^2 \cdot \left[\frac{1.34s}{2n} \right]^2 = 8.42cm$ $dt^* = 1.00 \cdot 8.42cm = 8.42cm$ $dy = 5.73cm, dt = 11.75cm$
4. Μέγιστη επιτάχυνση max a _g για λ _{max} = 1 και επιτελεστικότητα NC.		
$\max a_g > 0.210 (> 0.160) (ok)$		$\max a_g > 0.272 (> 0.160) (ok)$
5. Παράγοντας υπεραντοχής q _s .		
$q_s = \frac{0.92m/s^2}{0.84m/s^2} = 1.11$	$q_s = q_u = \frac{S_{a,y}}{S_{a,t}} \geq 1.0$	$q_s = \frac{0.90m/s^2}{0.85m/s^2} = 1.06$

Εικόνα 7-4 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας NC, Κτίριο A

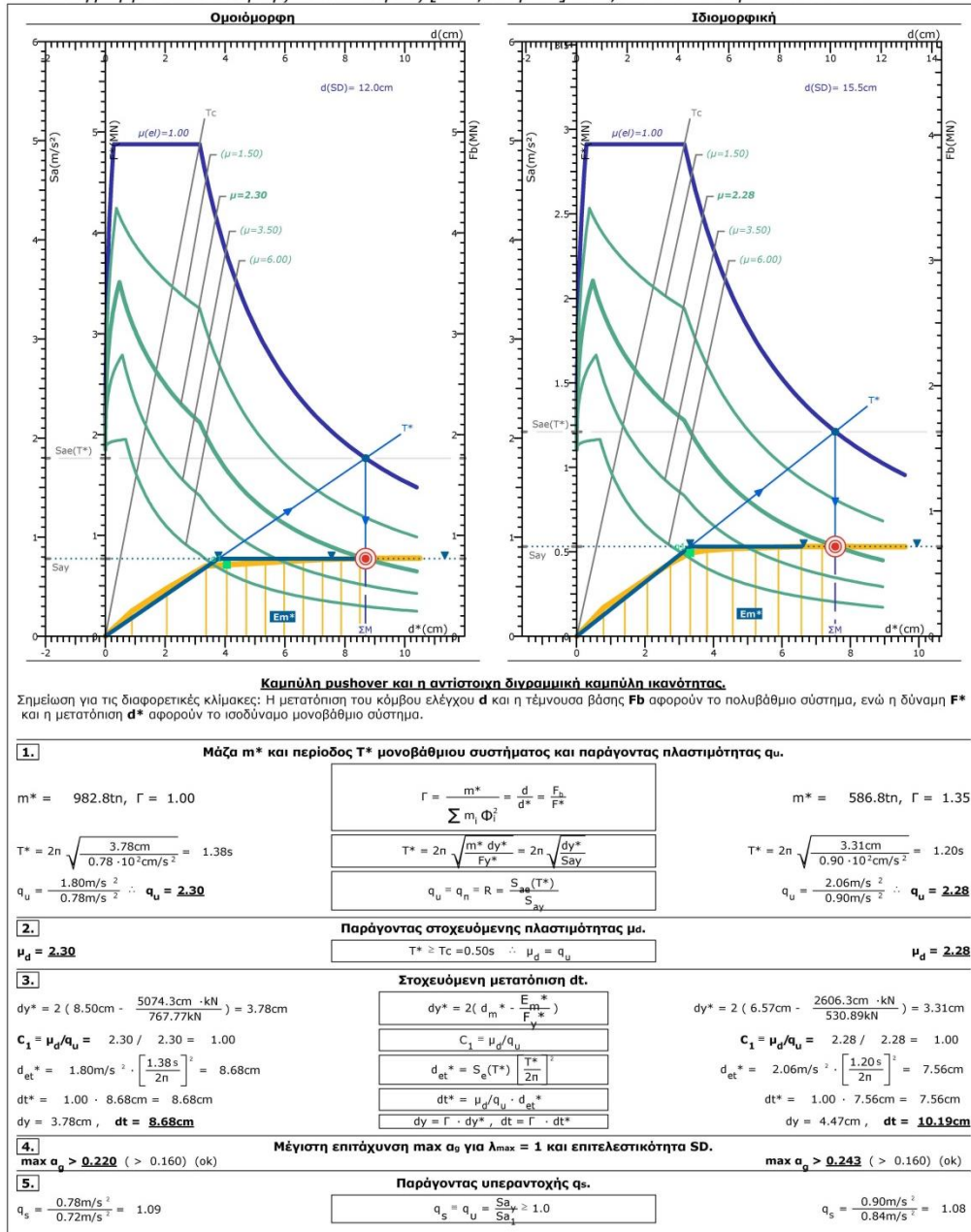
Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα απαιτήσης ικανότητας για το δεύτερο εξεταζόμενο φορέα, για τις τρεις στάθμες επιτελεστικότητας.

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. DL, κατεύθυνση 0°+30°·90° +eZ.



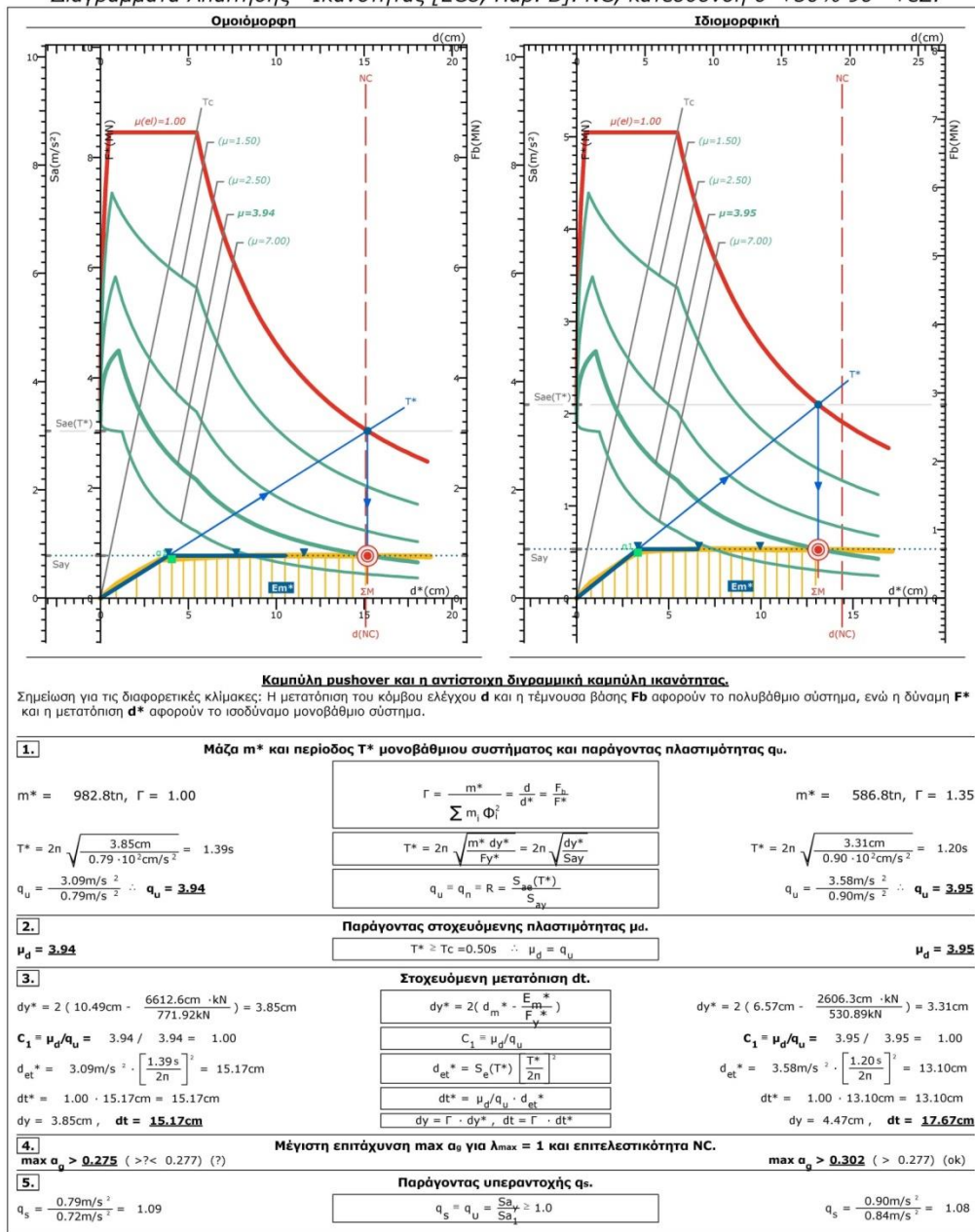
Εικόνα 7-5 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας DL, Κτίριο Β

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



Εικόνα 7-6 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Κτίριο B

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. NC, κατεύθυνση 0°+30%-90° +eZ.

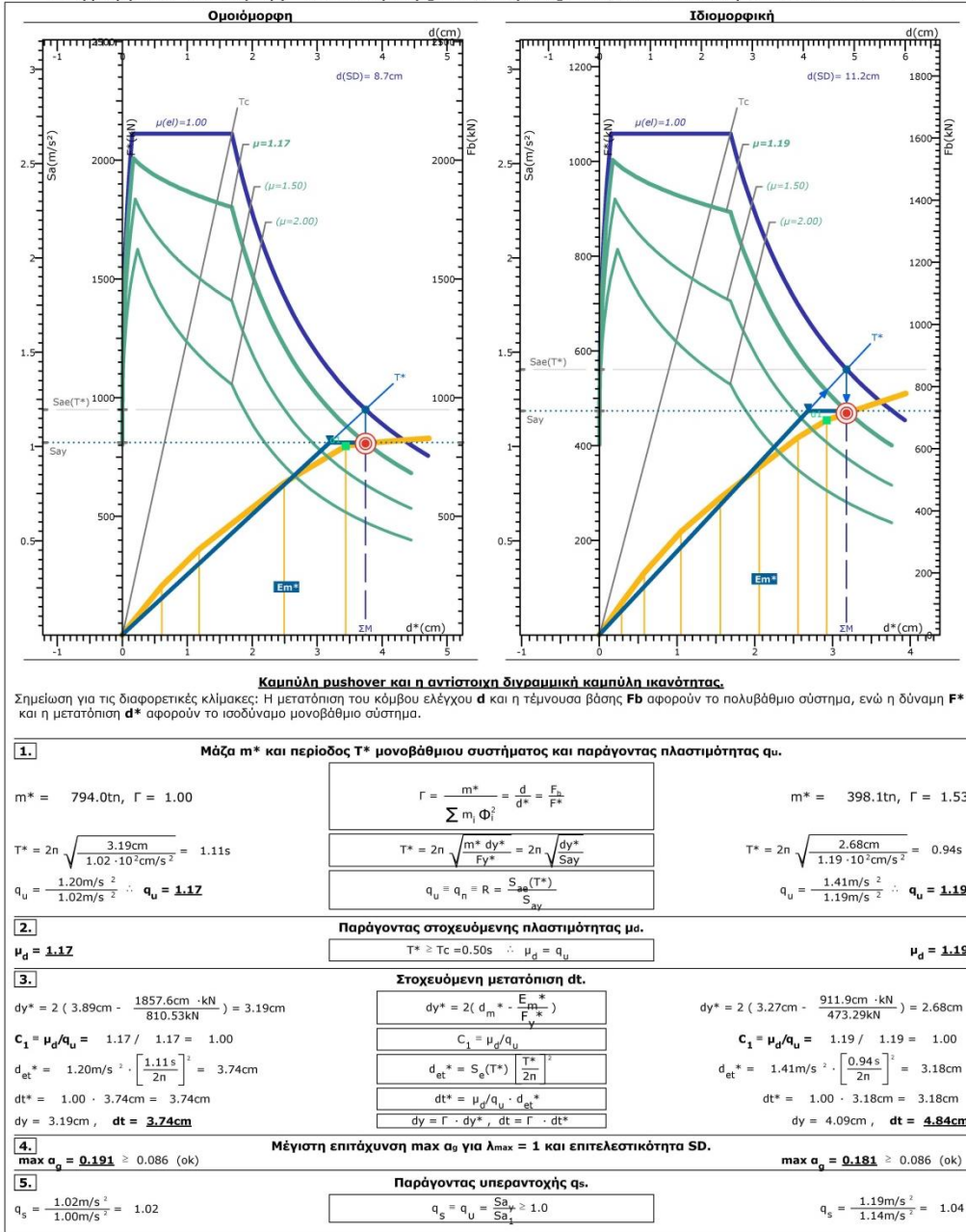


Εικόνα 7-7 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας NC, Κτίριο Β

Από τις παραπάνω εικόνες, Εικόνα 7-5 έως Εικόνα 7-7, διαπιστώνεται ότι ο καθολικός έλεγχος επάρκειας της κατασκευής, που βασίζεται στην ικανότητα μετακίνησης της κατασκευής για τη στάθμη επιλεκτικότητας οιονεί κατάρρευση είναι μεγαλύτερη από τη στοχευόμενη, ο συγκεκριμένος στόχος δεν ικανοποιείται. Συγκεκριμένα, κάποιοι λόγοι επάρκειας υπερβαίνουν τη μονάδα για ορισμένα μέλη, όπως φαίνεται και στον συγκεντρωτικό πίνακα λόγου επάρκειας στο τεύχος μελέτης.

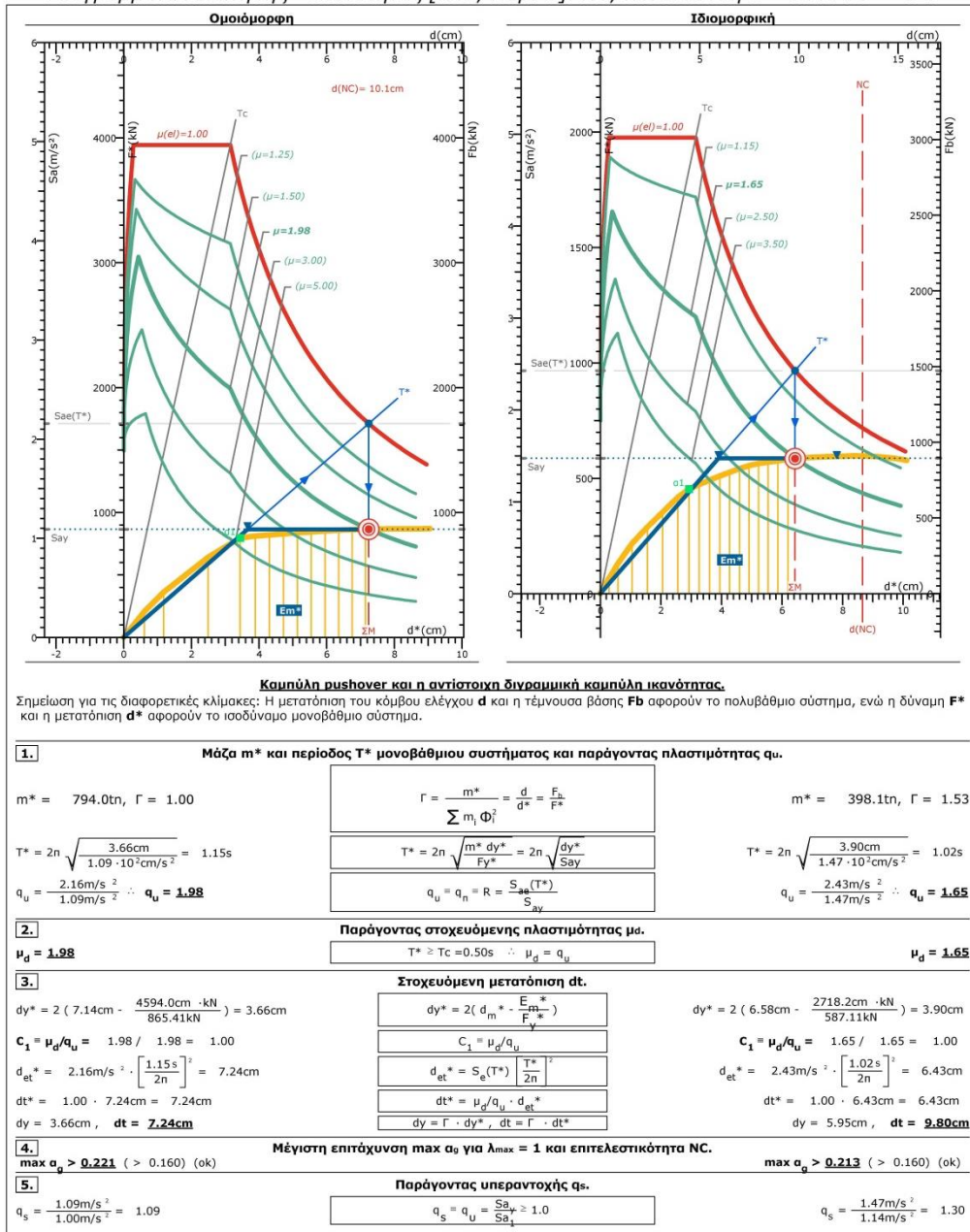
Για τον τρίτο εξεταζόμενο φορέα (φορέας Γ), τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας που προκύπτουν φαίνονται στις Εικόνες 7-8 και 7-9, για τις στάθμες σημαντικών βλαβών και οιονεί κατάρρευση αντίστοιχα. Και στις δύο αυτές στάθμες επιτελεσματικότητας ικανοποιείται ο έλεγχος επάρκειας. Αυτό σημαίνει ότι κανένα μέλος δεν υπερβαίνει το λόγο επάρκειας, εκπληρώνονται δηλαδή όλοι οι στόχοι επιτελεσματικότητας. Ο συγκεκριμένος φορέας μπορεί να αναλάβει μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις προτού καταρρεύσει. Επίσης η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, που σημειώνεται ότι αντέχει ο συγκεκριμένος φορέας, είναι $0,191 \text{ m/sec}^2$ για ομοιόμορφη κατανομή, ενώ για ιδιομορφική κατανομή η τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης που αντέχει ο φορέας είναι $0,181 \text{ m/sec}^2$.

Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



Εικόνα 7-8 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Κτίριο Γ

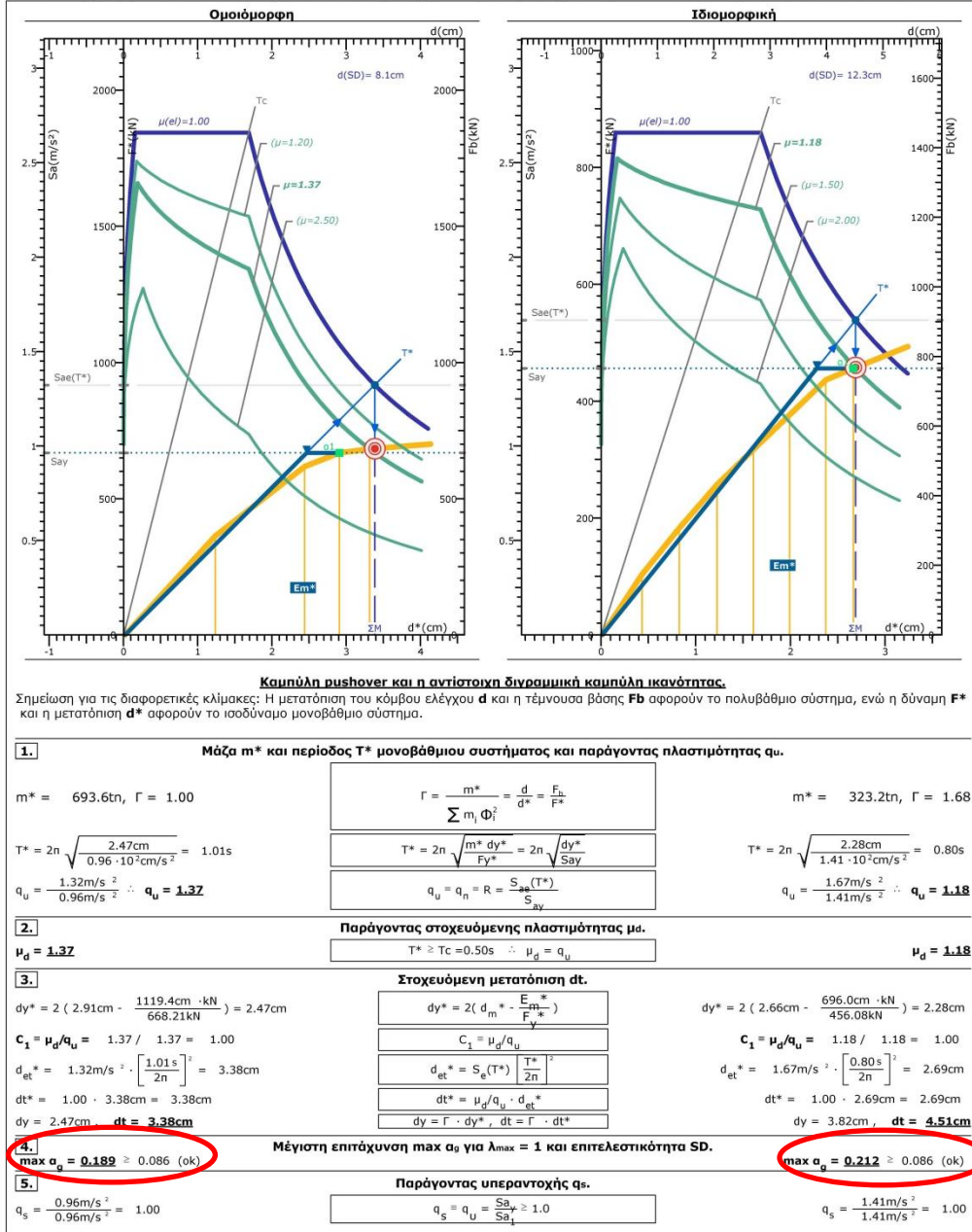
Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. NC, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



Εικόνα 7-9 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας NC, Κτίριο Γ

Τέλος, ο φορέας Δ, έπειτα από την μη γραμμική στατική ανάλυση (pushover), στην οποία υποβλήθηκε, παρατηρήθηκε από τα διαγράμματα απαίτησης ικανότητας, όπως αυτά απεικονίζονται στις παρακάτω Εικόνες 7-10 και 7-11, για τη διεύθυνση x και y αντίστοιχα, ότι κατά την y διεύθυνση παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή, έναντι των σεισμικών δράσεων.

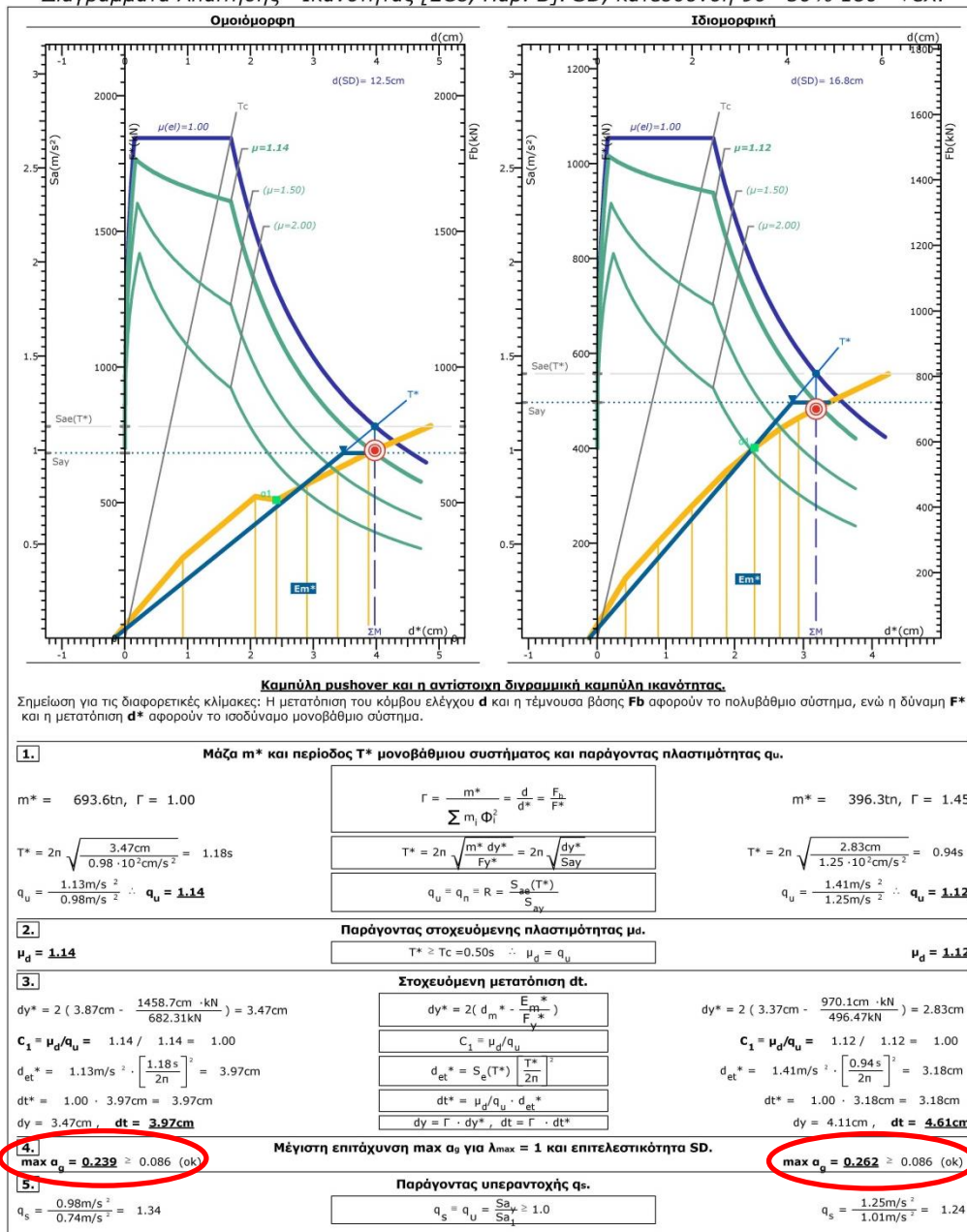
Διαγράμματα Απαιτήσης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 0°+30%·90° +eZ.



Εικόνα 7-10 Διάγραμμα Απαιτήσης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Διεύθυνση x, Φορέας Δ

Επιπλέον, τόσο κατά τη διεύθυνση x όσο και κατά την y, ικανοποιείται ο στόχος που τέθηκε, για τη συγκεκριμένη στάθμη επιτελεστικότητας, εφόσον η στοχευόμενη μετακίνηση της κατασκευής δεν υπερβαίνει την ικανότητα μετακίνησης αυτής.

Διαγράμματα Απαίτησης - Ικανότητας [EC8, Παρ. Β]. SD, κατεύθυνση 90°-30%·180° +εΧ.



Εικόνα 7-11 Διάγραμμα Απαίτησης Ικανότητας, Στάθμη Επιτελεστικότητας SD, Διεύθυνση y, Φορέας Δ

Συνοψίζοντας, από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την ανελαστική ανάλυση των τεσσάρων φορέων που φαίνονται στα διαγράμματα που προηγήθηκαν, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι ο δεύτερος φορέας παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τους υπόλοιπους τρεις φορείς, έναντι του σεισμού. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που αντέχει το κτίριο B, είναι 0,220 m/sec² για την ομοιόμορφη και 0,243 m/sec² για την ιδιομορφική ανάλυση. Το γεγονός αυτό εξηγείται διότι έχουν επιλεγεί μεγαλύτερες διατομές μελών σε αντίθεση με αυτές των υπόλοιπων φορέων. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος φορέας εμφανίζει δυνατότητα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας

μεγαλύτερη έναντι των άλλων εξεταζόμενων φορέων. Βέβαια από την άλλη, ο φορέας αυτός αποτελεί μια όχι και τόσο οικονομική λύση αφού περιλαμβάνει μέλη με διατομές μεγαλύτερες από τους άλλους τρεις φορείς, όπως προαναφέρθηκε.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και η ανάλυση τεσσάρων μεταλλικών φορέων, έξι σταθμών, 3,00m έκαστης, συνολικού ύψους 18,00m. Τα κτίρια αυτά διαφέρουν ως προς τα ανοίγματα και την καθ' ύψος διαμόρφωση του φορέα. Με το λογισμικό Fespa M, έγινε η διαστασιολόγηση των μεταλλικών φορέων, σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, η οποία παρουσιάζεται στο πρώτο μέρος της εργασίας. Σε δεύτερο στάδιο οι φορείς υποβλήθηκαν σε ανελαστική ανάλυση για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς τους. Για την ανελαστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Fespa R. Σημειώνεται ότι ο σχεδιασμός και η αποτίμηση των φορέων διέπεται από τους κανονισμούς των ευρωπαϊκών προτύπων.

Η διαμόρφωση του αρχικού φορέα παρά το γεγονός της συμμετρικής διάταξης, παρουσίασε δυσκολίες. Πραγματοποιήθηκαν επανειλημμένες δοκιμές και αλλαγές διατομών των μελών που χρησιμοποιήθηκαν με αντίστοιχες αναλύσεις του φορέα. Παράλληλα με τις όποιες αλλαγές πραγματοποιούνταν έπρεπε ταυτόχρονα να πληρούνται οι αντίστοιχοι έλεγχοι κατά την ανάλυση. Το γεγονός αυτό καθίσταται δύσκολο, δεδομένου της ελλιπούς εμπειρίας. Σε ότι αφορά στην ανελαστική ανάλυση των φορέων επιλέχθηκαν οι πιθανότερες υπέρβασης των στόχων επιτελεστικότητας κατά τη διάρκεια ζωής των φορέων, 50% για στάθμη περιορισμένες βλάβες, 10% για σημαντικές βλάβες και 2% για τη στάθμη οιονεί κατάρρευση.

Είναι γεγονός, ότι τα τελευταία χρόνια οι μεταλλικοί φορείς κερδίζουν ολοένα και περισσότερο έδαφος, για τις κατασκευές που προορίζονται κυρίως για κτίρια γραφείων και πολυκαταστημάτων και γενικότερα για κατασκευές που προβλέπονται με μεγάλα ανοίγματα. Αυτό είναι φυσικό αφού ο χάλυβας ως υλικό χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα της ολκιμότητας. Αποτέλεσμα αυτής της χαρακτηριστικής ιδιότητας του χάλυβα είναι ότι τα χαλύβδινα μέλη, από τα οποία απαρτίζονται οι μεταλλικοί φορείς, παρουσιάζουν μεγάλη πλαστιμότητα και συνεπώς η αντισεισμική συμπεριφορά τους είναι πολύ καλή.. Επιπλέον ο χρόνος κατασκευής ενός τέτοιου

κτιρίου είναι πολύ πιο σύντομος από ένα αντίστοιχο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτοί είναι οι σημαντικότεροι ίσως παράγοντες που έχουν φέρει τους μεταλλικούς φορείς στις πρώτες θέσεις επιλογής τους στις κατασκευές κτιρίων.

Αναλύοντας και εξετάζοντας τους τέσσερις μεταλλικούς φορείς, συγκρίνοντας τελικά τα αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι για τις συγκεκριμένες γεωμετρίες που επιλέχθηκαν, ο δεύτερος φορέας, με τα “φυτευτά” υποστυλώματα παρουσιάζει συμπεριφορά ευμενέστερη από αυτή των υπόλοιπων φορέων, έναντι των οριζόντιων δράσεων. Όλοι οι φορείς είναι δύσκαμπτοι και αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας τόσο στη x όσο και κατά την y διεύθυνση, οπότε μπορούν και παραλαμβάνουν τις οριζόντιες δράσεις σεισμού και ανέμου. Ωστόσο, ο δεύτερος φορέας μπορεί να χαρακτηριστεί ως πιο πλάστιμη κατασκευή, όπου δύναται να απορροφήσει μεγαλύτερα ποσά σεισμικής ενέργειας. Είναι όμως γεγονός ότι το ζητούμενο κατά τη σύλληψη και μόρφωση ενός φορέα είναι τόσο η αντοχή, η ασφάλεια και η λειτουργικότητα αυτής όσο και η οικονομία. Στην προκειμένη περίπτωση ο παράγοντας αυτός δεν πληρείται, καθ’ όσον έχουν επιλεγεί μεγάλες διατομές μελών, που συνεπάγεται με το αυξημένο κόστος κατασκευής.

Ωστόσο, η παρούσα εργασία αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση στην ελαστική και ανελαστική ανάλυση μεταλλικών φορέων και τα εξαγόμενα αποτελέσματα δεν μπορούν να αποτελέσουν σταθμό για εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων. Σίγουρα περαιτέρω έρευνα με εξέταση περισσότερων γεωμετρικών ατελειών με ασυμμετρίες ή ακόμη και μεταβολή δυσκαμψιών στο επίπεδο, αλλά και εκτός επιπέδου, θα είναι δυνατό να δώσει περισσότερο ασφαλή συμπεράσματα.

Με την εκπόνηση της παρούσας εργασίας γίνεται μια πρώτη επαφή με την ανάλυση και διαστασιολόγηση φορέων από χάλυβα, με χρήση εφαρμογής στατικής ανάλυσης, αλλά και εφαρμογή μη γραμμικής (ανελαστικής) ανάλυσης με τη μέθοδο pushover. Γενικά εκτιμάται η απαίτηση βέλτιστης αρχικής επιλογής διάταξης των μελών του φορέα, γεγονός που υπεισέρχεται με την κατανόηση της στατικής συμπεριφοράς του δομήματος, που είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εμπειρία του μελετητή.

Αναφορές

1. EN 1991-1-1, Ευρωκώδικας 1, Δράσεις στις κατασκευές, Μέρος 1-1: Γενικές δράσεις Πυκνότητες, ίδιον βάρους, επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια, CEN, 2002
2. EN 1991-1-3, Ευρωκώδικας 1, Δράσεις επί των κατασκευών, Μέρος 1-3: Φορτία χιονιού, CEN, 2003
3. EN 1991-1-4, Ευρωκώδικας 1, Δράσεις στις κατασκευές, Μέρος 1-4: Γενικές Δράσεις Δράσεις ανέμου, CEN, 2005
4. EN 1993-1-1, Ευρωκώδικας 3, Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα, Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, CEN, 2005
5. EN 1998-1, Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός Σχεδιασμός, Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, CEN, 2004
6. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2013). Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα με παραδείγματα εφαρμογής. Εκδόσεις Κλειδάριθμος. Αθήνα
7. Βάγιας Ι. (2018). Σύμμικτες Κατασκευές από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Εκδόσεις Κλειδάριθμος. Αθήνα
8. Μπούρας Χ. (1999). Μαθήματα ιστορίας της αρχιτεκτονικής. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα
9. Ψυχάρης Γ. (2015). Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας. Σημειώσεις για το Μάθημα (9^ο εξαμήνου), Αντισεισμική Τεχνολογία 2. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
10. Μπουρσιάνης Χ. (2014). Ανελαστική Στατική Ανάλυση (Pushover) Υφιστάμενου Κτιρίου. 20^ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις κατασκευών 2014. Πάτρα
11. Καραμάνος Α. (2008). Κατασκευές από Χάλυβα και Αρχιτεκτονική, Μια Αμφίδρομη Σχέση. 6^ο Εθνικό Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών. Ιωάννινα
12. Τσαγκαροπούλου Μ.-Κ, Τζιβιέρη Μ. (2017). Σχεδιασμος Μεταλλικών Κατασκευών Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3. Διπλωματική Εργασία. Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Ε.
13. Βαγγελίδης Γ. (2013). Μελέτη Μεταλλικού Κτιρίου Αθλητικών Δραστηριοτήτων, Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

14. Wolfgang M-W. (1995). Η Αρχιτεκτονική στην Αρχαία Ελλάδα. University Studio Press, Θεσσαλονίκη
15. LH Λογισμική (2018), Fespa 18, Οδηγός μελέτης Fespa 18 με Ευρωκώδικες, Αθήνα.
16. McNamara R. (2019). The Bessemer Steel process.
www.thoughtco.com/bessemer-steel-process-definition-1773300
17. Μπάτης Γ., Γεωργουσόπουλος Ι., Λέκκας Γ., Αθανασόπουλος Γ. (2005). Υλικά Μεταλλικών κτιριακών κατασκευών. Οδηγός Δομικών Υλικών ΤΕΕ.
http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK
18. Δούση Μ. (2004). Η Εμφάνιση και οι πρώτες εφαρμογές των κτιρίων με μεταλλικό σκελετό στα τέλη του 18^{ου} αιώνα στην Ευρώπη.
http://ikee.lib.auth.gr/record/262415/files/the_first_iron_frames.pdf
19. Μυλωνάς Γ. (2020). Σπάνια δείγματα ιστορικής και σύγχρονης αρχιτεκτονικής που κόβουν την ανάσα. <https://www.liberal.gr/news/spania-deigmata-istorikis-kai-sugchronis-architektonikis-pou-koboun-tin-anasa/313831>
20. Παλλάς Φωτόπουλος. (2018). Παρουσίαση με θέμα: «Βασικά Στοιχεία Φέροντος Οργανισμού». <https://slideplayer.gr/slide/12214935/>
21. Gareth D. (2020). The Forth Bridge: greatest structure in the world?.
<https://garethdennis.medium.com/the-forth-bridge-greatest-structure-in-the-world-8584b383616f>
22. Yates J. (2017). The Three Ages of the Ditherington Flax Mill: The Rolt Memorial Lecture 2016. Taylor & Francis Online.
23. Fletcher J. S. (1919). The story of Leeds. Drawing of Marshall's Mills.
<https://archive.org/details/storyofleeds00fletuoft/mode/1up>
24. Μπούμπουλας Δ. , Παπανδρέου Κ. (2013). Χάλυβες Συγκολλήσεων Οχημάτων-Μεταλλογραφική δομή Θ.Ε.Ζ.
<http://eureka.teithe.gr/jspui/handle/123456789/10271>
25. Πασπαλάς Κ. (2009). Η Ευρωπαϊκή Τυποποίηση των Χαλύβων και Χυτοσιδήρων.
<http://www.smhbe.gr/images/downloads/Files/Typopoiisi%20Xalibon.pdf>
26. Γαντές Χ. (2014). Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών. Σιδηρές Κατασκευές Ι, Διάλεξη 2, Δομικός Χάλυβας
27. <https://el.wikipedia.org/wiki/Χάλυβας>

28. Roantrum R. (2005). Flickr.

https://el.m.wikipedia.org/wiki/Αρχείο:Ironbridge_6.jpg