

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ
ΚΤΙΡΙΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ**



Φοιτητής: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ (Α.Μ.6533)

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ
ΠΕΡΙΛΗΨΗ
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισαγωγή.....	6
1.1	Γενικά.....	6
1.2	Περιγραφή του κτιρίου.....	7
1.3	Υλικά κατασκευής.....	9
1.4	Κύριοι φορείς.....	10
1.4.1	Τ εγίδες.....	10
1.4.2	Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.....	11
1.4.3	Κεφαλοδοκός.....	12
1.4.4	Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.....	12
1.4.5	Μετωπικοί στύλοι.....	12
1.4.6	Μηκίδες.....	13
1.4.7	Επικάλυψη.....	13
2.	Δράσεις επί της κατασκευής.....	15
2.1	Μόνιμες δράσεις.....	16
2.2	Μεταβλητές δράσεις.....	16
2.2.1	Φορτίο Χιονιού.....	17
2.2.2	Δράσεις Ανέμου.....	21
2.3	Συνδυασμοί δράσεων.....	29
2.3.1	Οριακές καταστάσεις σύμφωνα με τον EN1.....	29
2.3.2	Οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ).....	30
2.3.3	Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	30
2.3.3	Συνδυασμοί δράσεων μεταλλικού κτιρίου.....	31
3.	Διαστασιολόγηση μελών.....	322
3.1	Δοκός IPE 220.....	33
3.2	Υποστώλωμα HEA 220.....	44
4.	Έλεγχος Βελών.....	555
4.1	Γενικά.....	55
4.2	Έλεγχος βελών.....	55
5.	Συνδέσεις.....	577
5.1	Σύνδεση κορφιά.....	58
5.2	Έδραση υποστυλώματος.....	63
5.3	Σύνδεση δοκού-υποστυλώματος (πάκτωση).....	69
5.4	Σύνδεση δοκού-υποστυλώματος (άρθρωση).....	78
5.5	Σύνδεση γωνιακού.....	86
6.	Συμπεράσματα.....	91
7.	Βιβλιογραφία.....	93

Πρόλογος

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην Μελέτη και σχεδίαση μεταλλικού κτιρίου βιομηχανικής χρήσης. Είναι γνωστό ότι τα περισσότερα βιομηχανικά κτίρια κατασκευάζονται από μέταλλο, χάρη στην απλότητα της γεωμετρίας τους και το γρήγορο χρόνο κατασκευής.

Στην αρχή γίνεται μία παρουσίαση της συνολικής γεωμετρίας του φορέα, καθώς και του κάθε μέλους. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι δράσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή, όπως τα ίδια βάρη, τα φορτία χιονιού και ανέμου. Ακόμα γίνεται διαστασιολόγηση των μελών με εμπορικό λογισμικό και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με υπολογισμούς στο χέρι. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για τις χαρακτηριστικές συνδέσεις της κατασκευής. Τέλος γίνεται η παρουσίαση των συμπερασμάτων.

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών σπουδών μου στη Σχολή Μηχανικών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Η εργασία αυτή αναμφίβολα χρειάστηκε τον συνδυασμό γνώσεων που αποκτήθηκαν σε όλη την διάρκεια των σπουδών, αλλά φυσικά καθοριστικό ρόλο έπαιξε η καθοδήγηση του υπεύθυνου καθηγητή και των συνεργατών του.

Θέλω, λοιπόν, να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή, ως υπεύθυνο καθηγητή για τις συμβουλές και την καθοδήγηση του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου , τους συμφοιτητές μου για την πολύτιμη στήριξη τους.

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ

.....

(Υπογραφή)

A square box containing a handwritten signature in blue ink. The signature appears to be 'ΑΑ' followed by a stylized flourish.

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η μόρφωση και η διαστασιολόγηση ενός βιομηχανικού κτιρίου με μεταλλικό φέροντα σκελετό. Το κτίριο είναι διαστάσεων 15 m x 8 m, και προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανική χρήση.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά κεφάλαια. Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται μία περιγραφή της αρχιτεκτονικής λύσης, αναπτύσσεται η φιλοσοφία της μόρφωσης του στατικού προσομοιώματος και παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση του φέροντα οργανισμού. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα φορτία ανέμου και χιονιού. Η ανάλυση και διαστασιολόγηση της κατασκευής έγινε με βάση τους Ευρωκώδικες, με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος FESPA 8.1.0.22. Τέλος, στη μελέτη περιλαμβάνεται και ο λεπτομερής υπολογισμός ορισμένων συνδέσεων του μεταλλικού σκελετού, οι οποίες επιλύθηκαν τόσο με το χέρι όσο και με το λογισμικό της AUTODESK, Robot Structural Analysis.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση της συνολικής γεωμετρίας του φορέα, καθώς και του κάθε μέλους, ενώ παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών. Η χρήση μεταλλικών κτιρίων από χάλυβα έχει πλέον καθιερωθεί τόσο στον βιομηχανικό τομέα όσο και στην κατασκευή κατοικιών. Τα οφέλη της μεταλλικής κατασκευής καθώς και η ραγδαία εξέλιξη των τεχνολογιών που σχετίζονται μ' αυτήν, την καθιστούν σε πολλές περιπτώσεις ιδανική λύση. Οι κύριοι φορείς είναι συνήθως πλαίσια, που διατάσσονται κατά κανόνα ανά ίσες μεταξύ τους αποστάσεις και έχουν την δυνατότητα παραλαβής (μέσα στο επίπεδό τους) κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων (ανέμου, σεισμού, από λειτουργία γερανογεφυρών). Οι κόμβοι των πλαισίων αυτών (ή τουλάχιστον ορισμένοι εξ αυτών) πρέπει να έχουν την δυνατότητα παραλαβής ροπών. Όταν το κριτήριο μόρφωσης είναι η οικονομικότητα της λύσης, συνήθως η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των κύριων φορέων είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη από 5.0m. Ο σκελετός του κτιρίου απαρτίζεται από 4 πλαίσια. Όλα τα πλαίσια διαθέτουν από δύο υποστυλώματα. Η κλίση της στέγης είναι 16.17°. Τα πλαίσια τα οποία είναι διατεταγμένα κάθε 5 m και έχουν άνοιγμα 8 m αποτελούνται από ολόσωμα υποστυλώματα και ζυγώματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι δράσεις που αναπτύσσονται στην κατασκευή, όπως τα ίδια βάρη, τα φορτία χιονιού και ανέμου. Ο φορέας πρέπει να σχεδιάζεται και να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε με κατάλληλο βαθμό αξιοπιστίας και κατά τρόπο οικονομικό, να αντιμετωπίζει όλες τις δράσεις (φορτία) και τις επιδράσεις από το περιβάλλον, οι οποίες είναι πιθανόν να εμφανιστούν κατά την εκτέλεση και την διάρκεια ζωής του και να παραμένει κατάλληλος για την χρήση για την οποία προορίζεται για όλη τη διάρκεια αυτή.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται διαστασιολόγηση των μελών με εμπορικό λογισμικό και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με υπολογισμούς στο χέρι. Γίνονται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι των μεταλλικών διατομών, τόσο σε θλίψη (εξετάζονται όλες οι αναπτυσσόμενες μορφές λυγισμού), όσο και σε εφελκυσμό. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το λογισμικό και τους υπολογισμούς στο χέρι βρίσκονται σε συμφωνία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ο έλεγχος των βελών της κατασκευής. Πέραν των ελέγχων στην οριακή κατάσταση αστοχίας , βασική είναι και η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας , η οποία ασχολείται με την επιβεβαίωση, ότι οι μετατοπίσεις (μετακινήσεις και στροφές) της κατασκευής δεν είναι υπερβολικές κάτω από κανονικές συνθήκες χρήσης. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί επίσης να είναι αναγκαίο να εξασφαλιστεί ότι η κατασκευή δεν υπόκειται σε υπερβολικές ταλαντώσεις.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται διαστασιολόγηση των χαρακτηριστικών συνδέσεων της κατασκευής με εμπορικό λογισμικό και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με υπολογισμούς στο χέρι.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των συμπερασμάτων. Τα συμπεράσματα αφορούν κυρίως την σύγκριση των υπολογισμών που προκύπτουν από το λογισμικό και τους υπολογισμούς στο χέρι.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφία.

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η χρήση μεταλλικών κτιρίων από χάλυβα έχει πλέον καθιερωθεί τόσο στον βιομηχανικό τομέα όσο και στην κατασκευή κατοικιών. Τα οφέλη της μεταλλικής κατασκευής καθώς και η ραγδαία εξέλιξη των τεχνολογιών που σχετίζονται μ' αυτήν, την καθιστούν σε πολλές περιπτώσεις ιδανική λύση.

Κάποια από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των μεταλλικών κτιρίων παρατίθενται παρακάτω:

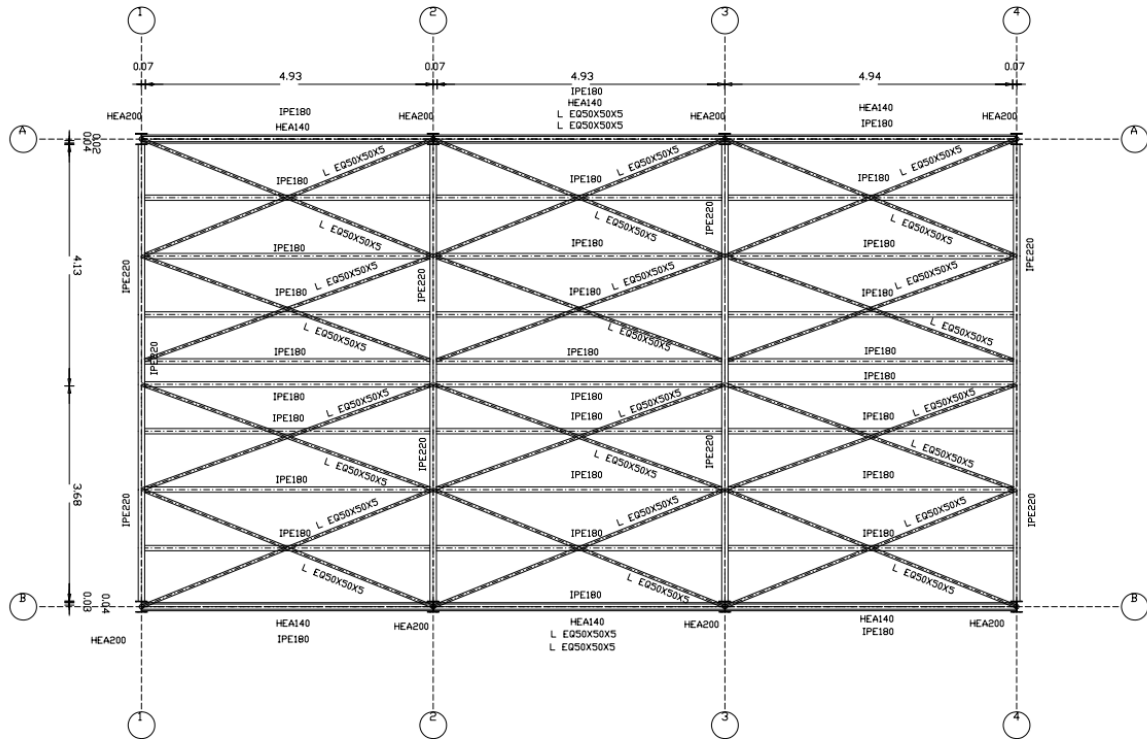
1. η δυνατότητα στέγασης μεγάλων ανοιγμάτων και οι σχετικά μικρές διαστάσεις των υποστυλωμάτων προσφέρουν εσωτερικούς χώρους μεγάλης επιφάνειας , με ευελιξία στη διαμόρφωση και την διαρρύθμισή τους,
2. η ταχύτητα κατασκευής, με επαρκή συντονισμό, είναι δυνατή η πραγματοποίηση της βιομηχανικής κατεργασίας των χαλύβδινων στοιχείων κατά τη φάση εκτέλεσης εκσκαφών , της θεμελίωσης, της επίχωσης και διαμόρφωσης της υπόβασης του δαπέδου, ενώ η εργοταξιακή συναρμολόγηση, που συνήθως εξελίσσεται με ταχείς ρυθμούς , μπορεί να αρχίσει αμέσως μετά,
3. το υψηλό ποσοστό βιομηχανικής προκατασκευής του έργου με θετικές συνέπειες και στην ποιότητά του,
4. η επισκευασιμότητά τους και η ευχερής ενίσχυσή τους προς παραλαβή μεγαλύτερων φορτίων , εφόσον απαιτηθεί,
5. το σχετικά μικρό ίδιο βάρος τους το οποίο συνεπάγεται ευχερέστερη θεμελίωση, ιδίως σε κακής ποιότητας εδάφη και μικρές σεισμικές δυνάμεις,
6. η πολύ ικανοποιητική και ελεγχόμενη απόκρισή τους σε συνθήκες σεισμού, οφειλόμενη κυρίως στη μεγάλη ολκιμότητα του χάλυβα,
7. τέλος , η ευκολία στην επέκταση και επαναδιαμόρφωση χώρου καθώς ο σχεδιασμός μιας μεταλλικής κατασκευής είναι ιδιαίτερα ευέλικτος με τα σύγχρονα εξελιγμένα στατικά προγράμματα.

Από την άλλη, κάποια μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα μεταλλικά κτίρια είναι τα εξής:

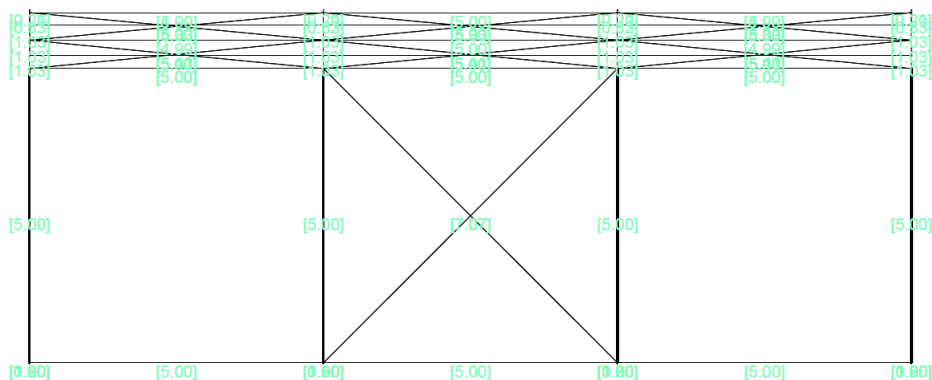
1. η ευαισθησία στην διάβρωση και την πυρκαγιά,
2. το σχετικά μεγάλο κόστος μελέτης,
3. οι κατασκευαστικές ατέλειες των μελών και των συνδέσεων,
4. η απαίτηση εξειδικευμένου εργατοτεχνικού προσωπικού.

1.2 Περιγραφή του κτιρίου

Το μεταλλικό κτίριο που μελετήσαμε είναι ένα μονώροφο κτίριο διαστάσεων, μήκος επί πλάτος, 15 m επί 8 m και συνολικής επιφάνειας 120 m². Το ύψος του κτιρίου είναι 5.00 m στο χαμηλότερο σημείο και 6.16 m στο υψηλότερο σημείο (κορφιάς).



Εικόνα 1: Κάτοψη βιομηχανικού κτιρίου.



Εικόνα 2: Πλάγια όψη του κτιρίου.

Οι χωροταξικές απαιτήσεις οδήγησαν στη δημιουργία του παραπάνω αρχιτεκτονικού μοντέλου, το οποίο διαθέτει μη συμμετρική στέγη, στην προσπάθεια να διαμορφωθούν τα παραπάνω ανοίγματα.

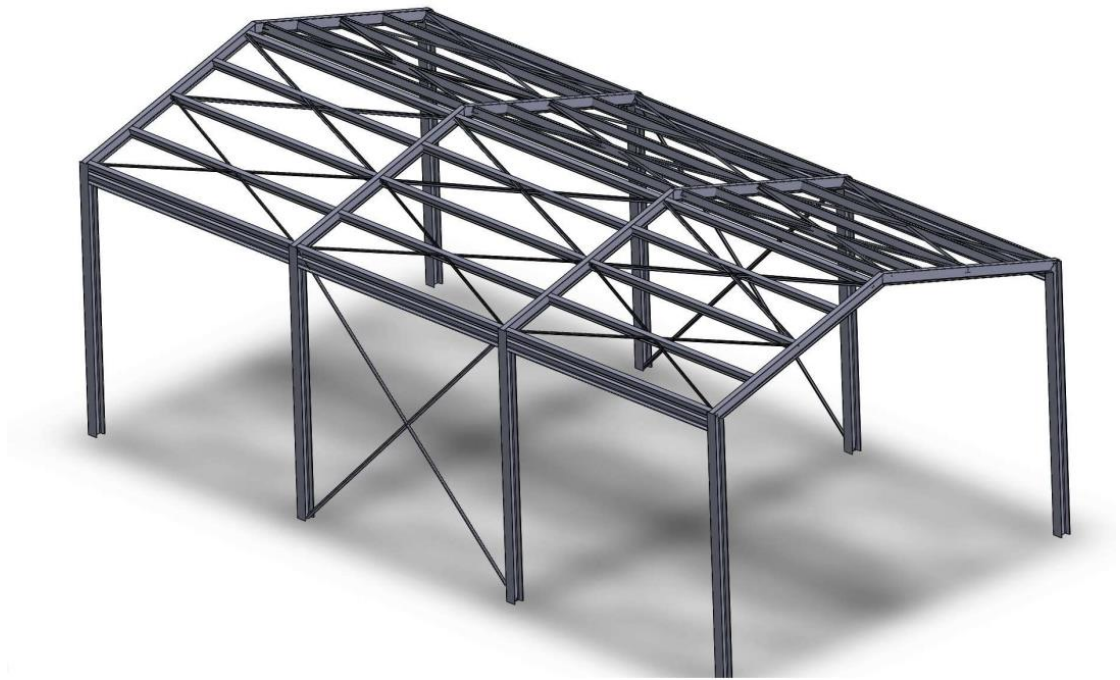
Ο σκελετός του κτιρίου απαρτίζεται από 4 πλαίσια. Όλα τα πλαίσια διαθέτουν από δύο υποστυλώματα. Η κλίση της στέγης είναι 16.17° . Τα πλαίσια τα οποία είναι διατεταγμένα κάθε 5 m και έχουν άνοιγμα 8 m αποτελούνται από ολόσωμα υποστυλώματα και ζυγώματα.

Σε μεσαίο εσωτερικό φάτνωμα έχουν τοποθετηθεί κατακόρυφοι χιαστί σύνδεσμοι δυσκαμψίας για την παραλαβή οριζόντιων φορτίων, ενώ οριζόντιοι σύνδεσμοι υπάρχουν τμηματικά κατά μήκος όλης της στέγης για την εξασφάλιση της διαφραγματικής λειτουργίας.

Τοποθετήθηκε επίσης κεφαλοδοκός στο ύψος των 5.00m , η οποία συνδέει τα υποστυλώματα στην κάθετη διεύθυνση του επιπέδου των κύριων φορέων.

Μηκίδες ανά 1.30m και τεγίδες ανά 1.3 m και στις δύο πλευρές της στέγης, οι οποίες διατρέχουν τις πλευρικές όψεις και την στέγη αντίστοιχα για την παραλαβή των φορτίων κυρίως από τα φύλλα επικάλυψης, την ανεμοπίεση και το χιόνι.

Εκτενέστερη αναφορά στα επιμέρους στοιχεία του κτιρίου γίνεται στην συνέχεια του κεφαλαίου.



Εικόνα 3: Τριδιάστατη απεικόνιση μεταλλικού φορέα

1.3 Υλικά κατασκευής

Ο δομικός χάλυβας είναι το βασικό υλικό από το οποίο συντίθεται ο φέρων οργανισμός του χαλύβδινου κτιρίου. Είναι κράμα με βασικό συστατικό τον σίδηρο (Fe) και διάφορα άλλα μεταλλικά και μη στοιχεία σε μικρή αναλογία , όπως ο άνθρακας (C), μαγγάνιο (Mn), πυρίτιο (Si), νικέλιο (Ni), χαλκός (Cu), χρώμιο (Cr), μολυβδαίνιο (Mo), βανάδιο (V), ζirkόνιο (Zr), θείο (S), φώσφορος (P), κλπ., ορισμένα εκ των οποίων είναι ανεπιθύμητα επειδή επηρεάζουν δυσμενώς κάποια χαρακτηριστικά του χάλυβα.

Η ποσοστιαία συμμετοχή των στοιχείων αυτών προσδιορίζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του χάλυβα (αντοχή, συγκολλησιμότητα, ευαισθησία στη διάβρωση, ολκιμότητα κλπ.), μικρή δε μεταβολή της αναλογίας αυτής οδηγεί στην δημιουργία άλλου είδους χάλυβα. Έτσι αναφορικά με την περιεκτικότητα σε άνθρακα , που είναι από τα κυριότερα συστατικά του χάλυβα , αυτή ποικίλει από 0,15% έως 1,70%, οι συνήθεις δε δομικοί χάλυβες έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,15% και 0,29%.

Για την κατασκευή του μεταλλικού κτιρίου της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε δομικός χάλυβας S235 ($f_y=235\text{Mpa}$).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του χάλυβα , τα οποία του προσδίδουν το χαρακτηριστικό του πλέον ευέλικτου και ίσως του καλύτερου σήμερα δομικού υλικού, είναι τα εξής:

1. Μεγάλη αντοχή (λεπτότερες διατομές, μείωση των ίδιων βαρών του φέροντα οργανισμού, οικονομία χώρου και υλικού κλπ.)
2. Ομοιογένεια υλικού (σταθερά χαρακτηριστικά σε κάθε σημείο της μάζας του υλικού)
3. Μονιμότητα (εξασφάλιση απεριόριστης διάρκειας ζωής της κατασκευής με την κατάλληλη συντήρηση)
4. Ελαστικότητα (ελαστική συμπεριφορά του χάλυβα μέχρι σχετικά υψηλές τάσεις)
5. Ολκιμότητα (ο χάλυβας υπόκειται σε μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς να αστοχεί)
6. Ευχέρεια διάνοιξης οπών για την διέλευση καναλιών κλιματισμού και άλλων εγκαταστάσεων
7. Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του, ευκολία ενίσχυσης υπάρχουσών κατασκευών, ευκολία στην τυποποίηση και την προκατασκευή.

1.4 Κύριοι φορείς

Οι κύριοι φορείς είναι συνήθως πλαίσια , που διατάσσονται κατά κανόνα ανά ίσες μεταξύ τους αποστάσεις και έχουν την δυνατότητα παραλαβής (μέσα στο επίπεδό τους) κατακόρυφων και οριζόντιων φορτίων (ανέμου, σεισμού, από λειτουργία γερανογεφυρών). Οι κόμβοι των πλαισίων αυτών (ή τουλάχιστον ορισμένοι εξ αυτών) πρέπει να έχουν την δυνατότητα παραλαβής ροπών. Όταν το κριτήριο μόρφωσης είναι η οικονομικότητα της λύσης , συνήθως η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των κύριων φορέων είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη από 5.0m. Βεβαίως η ακριβής τιμή της παραπάνω βέλτιστης απόστασης μεταβάλλεται ανάλογα με τα ειδικά δεδομένα κάθε περίπτωσης (όπως το ύψος του κτιρίου, η μορφή των κύριων φορέων, το σχετικό μέγεθος των διάφορων φορτίων) αλλά και με τη σχέση κόστους πρώτης ύλης και εργατοώρας, παραμένοντας όμως πάντοτε στην πιο πάνω περιοχή (5.0m έως 6.50m). Στην περίπτωση του μεταλλικού κτιρίου που εξετάζουμε η απόσταση μεταξύ των πλαισίων έχει επιλεγεί στα 5.0m.

Τα μέλη των κύριων φορέων μπορεί να είναι ολόσωμα σταθερής ή μεταβλητής διατομής, ή δικτυωτά. Στο υπό μελέτη κτίριο επιλέχθηκαν κύρια αμφίπακτα υποστυλώματα σταθερής διατομής HEA 200 (ολόσωμα υποστυλώματα). Για τα ζυγώματα τοποθετήθηκαν οι σταθερές διατομές IPE 220 και στις δύο πλευρές της στέγης.

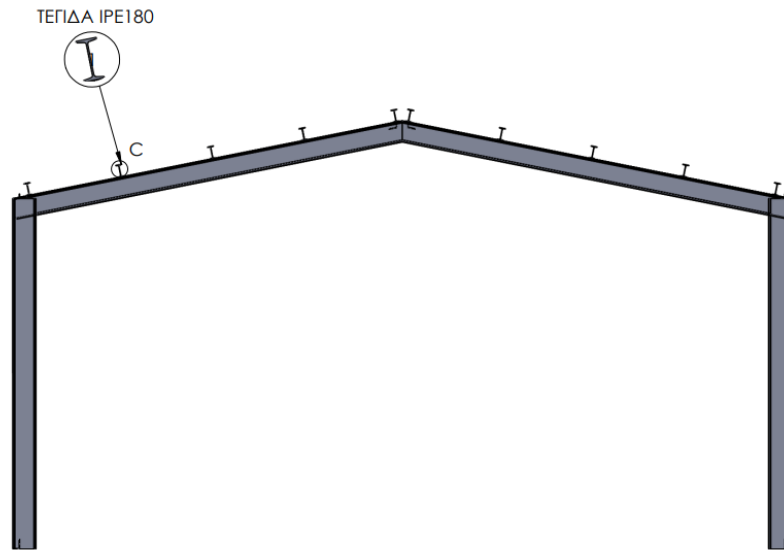
Γενικά για τα υποστυλώματα επιλέχθηκε η διατομή διπλού ταυ, διότι όσο πιο απομακρυσμένο είναι το υλικό μιας διατομής από τον ουδέτερο άξονα τόσο καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζει η διατομή αυτή έναντι κάμψης , αφού μεγαλώνει η ροπή αδράνειας και η ροπή αντίστασης που μετρούν την καμπτική δυσκαμψία και την καμπτική αντοχή αντίστοιχα. Οι διατομές των υποστυλωμάτων και των ζυγωμάτων είναι προσανατολισμένες με τέτοιον τρόπο, ώστε κατά την δράση μεγάλων φορτίων σε μία διεύθυνση να ενεργοποιούνται οι ισχυροί άξονές τους. Το άνοιγμα των πλαισίων του μεταλλικού κτιρίου είναι 8 m.

1.4.1 Τεγίδες

Οι τεγίδες είναι δοκοί που γεφυρώνουν τις αποστάσεις μεταξύ των κύριων φορέων και μεταφέρουν σε αυτούς τα φορτία τα οποία ασκούνται στην επιστέγαση, όπως το βάρος των φύλλων επικάλυψης , το φορτίο χιονιού, η ανεμοπίεση και τυχόν ωφέλιμο φορτίο. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν από τις τεγίδες (ή ορισμένες εξ' αυτών) να αναρτώνται στοιχεία του μηχανολογικού εξοπλισμού του κτιρίου (πχ. κανάλια κλιματισμού) ή ο σκελετός ψευδοροφής. Οι τεγίδες διατάσσονται , κατά κανόνα, ανά ίσες μεταξύ τους αποστάσεις οι οποίες γενικά κυμαίνονται από 1m έως και 4.00m. Καταπονούνται κυρίως σε κάμψη και μπορεί να σχεδιάζονται με ελατές ή διαμορφωμένες εν ψυχρό διατομές. Από τις ελατές διατομές καταλληλότερες είναι οι διατομές I, συνηθέστερα από τη σειρά IPE (συνήθως από IPE 100 έως και IPE 200). Χρησιμοποιούνται επίσης διατομές U. Σε περιπτώσεις μεγάλων κλίσεων όπου η κάμψη και ως προς τους δυο άξονες είναι έντονη χρησιμοποιούνται πλατύπελμες διατομές διπλού ταυ (HEA). Ενώ όταν χρησιμοποιούνται και ως θλιβόμενα στοιχεία οριζόντιων αντανέμιων συνδέσμων, πέραν της κύριας καμπτικής τους καταπόνησης, επιλέγονται συχνά γι' αυτές διατομές από την σειρά HEB.

Ως προς το στατικό τους σύστημα, οι τεγίδες μπορεί να κατασκευάζονται ως αμφιέριστα στοιχεία μεταξύ διαδοχικών κύριων φορέων ή ως συνεχείς δοκοί.

Στο υπό μελέτη κτίριο επιλέξαμε τεγίδες διατομής ΙΡΕ 180 και στις δύο πλευρές της στέγης. Η απόσταση μεταξύ των τεγίδων είναι 1.00 m. Σχεδιάστηκαν ως αμφιέριστες δοκοί με μήκος 5.00m, όσο και η απόσταση των κύριων φορέων, επίσης έγινε η παραδοχή ότι όλες οι μεσοτεγίδες έχουν την ίδια φόρτιση με πλάτος ζώνης επιρροής 2.00m (δυσμενέστερες). Οι ευμενέστερα φορτισμένες ακραίες τεγίδες (ακροτεγίδες, κορυφοτεγίδες) έχουν το μισό πλάτος ζώνης επιρροής.



Εικόνα 4: Τυπική διάταξη τεγίδων.

1.4.2 Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας

Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι κατά κανόνα δικτυωτοί φορείς που διατάσσονται στο επίπεδο των ζυγωμάτων των πλαισίων και καταλαμβάνουν το εύρος μεταξύ δύο διαδοχικών κύριων φορέων. Το δικτύωμα συγκροτείται από τα ζυγώματα των εκατέρωθεν πλαισίων, ορισμένες τεγίδες και πρόσθετες διαγώνιες ράβδους. Σκοπός των επιμέρους αυτών φορέων είναι η μεταφορά των οριζόντιων δυνάμεων, που ασκούνται στο επίπεδο της επιστέγασης καθέτως προς τα επίπεδα των κύριων φορέων, στα κατακόρυφα συστήματα δυσκαμψίας. Οι σύνδεσμοι αυτοί «παρακολουθούν» την κλίση των ζυγωμάτων των κύριων φορέων.

Όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 1. (κάτοψη οροφής) επιλέχθηκε να τοποθετηθούν οριζόντιοι σύνδεσμοι σε όλα τα φατνώματα. Η διατομή αυτών είναι γωνιακό με διαστάσεις L50.50.5.

1.4.3 Κεφαλοδοκός

Η κεφαλοδοκός είναι οριζόντιο γραμμικό στοιχείο , που συνδέει τις κεφαλές των υποστυλωμάτων κάθε κιονοστοιχίας και διατρέχει το μήκος του κτιρίου κατά τη διεύθυνση την κάθετη προς τα επίπεδα των κύριων φορέων. Μέσω των κεφαλοδοκών οι σεισμικές και λοιπές οριζόντιες δυνάμεις , που ασκούνται στο επίπεδο της επικάλυψης και παραλαμβάνονται από τα οριζόντια συστήματα (συνδέσμους) δυσκαμψίας, μεταφέρονται και κατά προσέγγιση ισοκατανέμονται στα κατακόρυφα συστήματα δυσκαμψίας, ώστε οι ωθήσεις να καταλήγουν στη θεμελίωση μέσω περισσότερων θέσεων στήριξης και να υπάρχουν περισσότερες θέσεις απορρόφησης σεισμικής ενέργειας σε περίπτωση σεισμικής καταπόνησης. Οι κεφαλοδοκοί αποτελούν επιπλέον σημαντικό στοιχείο συναρμολόγησης της κατασκευής κατά την φάση ανέγερσης επειδή συνδέουν εγκάρσια τους ανεγειρόμενους διαδοχικά επίπεδους φορείς.

Στο υπό μελέτη μεταλλικό κτίριο επιλέχθηκε διατομή κεφαλοδοκού HEA 140.

1.4.4 Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας

Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι συνήθως δικτυωτοί σχηματισμοί, διαφόρων μορφών , που τοποθετούνται μεταξύ δύο διαδοχικών υποστυλωμάτων και μεταφέρουν στη θεμελίωση τα οριζόντια φορτία , τα οποία παραλαμβάνουν από τους οριζόντιους συνδέσμους και τις κεφαλοδοκούς. Συνίσταται να τοποθετούνται στα ίδια φαντώματα στα οποία έχουν διαταχθεί και οριζόντιοι σύνδεσμοι.

Στη παραπάνω Εικόνα 1. φαίνεται η διάταξη που επιλέχθηκε για τους κατακόρυφους συνδέσμους , οι οποίοι έχουν διατομή γωνιακού με διαστάσεις L50.50.5.

1.4.5 Μετωπικοί στύλοι

Δεν έχουν τοποθετηθεί μετωπικά υποστυλώματα.

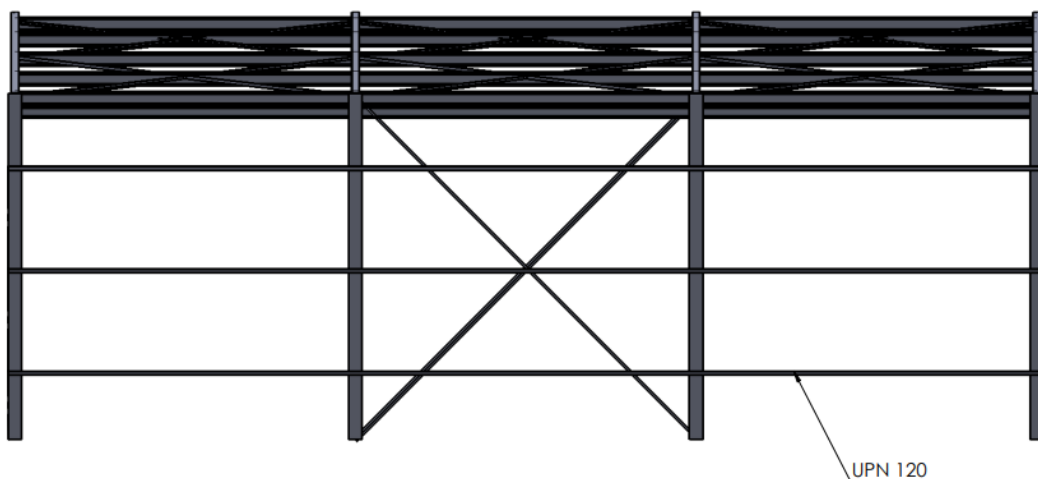
1.4.6 Μηκίδες

Οι μηκίδες είναι οριζόντιοι δοκοί που τοποθετούνται , ανά ίσες αποστάσεις , σε όλες τις όψεις τους κτιρίου, γεφυρώνουν τις αποστάσεις μεταξύ υποστυλωμάτων) και δέχονται τα φύλλα πλευρικής επένδυσης της κατασκευής .Κύρια φόρτιση για τις μηκίδες, είναι επίσης, η ανεμοπίεση.

Αναλυτικά:

- Αποτελούν μέσα σύνδεσης των στύλων των παράλληλων ζευκτών αλλά και των στύλων των δύο ακραίων κύριων φορέων.
- Αποτελούν βάση στήριξης της κατακόρυφης περιμετρικής επικάλυψης.
- Περιλαμβάνουν όλα τα φορτία της πλευρικής επικάλυψης .Τα φορτία αυτά – μαζί με το ίδιο βάρος τους –τα μεταβιβάζουν στους στύλους των κύριων φορέων.
- Είναι σημαντικά στοιχεία οικονομίας του έργου, αφού λόγω του μεγάλου αριθμού τους αγγίζουν (μαζί με τις τεγίδες) το 30% με 40% του συνολικού βάρους του φορέα που μελετάμε. Συνεπώς έχει μεγάλη σημασία η σωστή επιλογή της διατομής τους, η μεταξύ τους απόσταση και η μόρφωση του καταλληλότερου στατικού τους συστήματος στην εκάστοτε κατασκευή.

Επειδή οι μηκίδες καταπονούνται κυρίως από άνεμο , ο προσανατολισμός της διατομής γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο ισχυρός άξονας να παραλαμβάνει τα φορτία του ανέμου και ο ασθενής τα ίδια βάρη της επικάλυψης και των ίδιων βαρών των μηκίδων. Ανάλογη διάταξη ακολουθήθηκε και στο κτίριο που μελετάμε τοποθετώντας στα πλάγια του κτιρίου μηκίδα UPN 120. Οι μηκίδες τοποθετήθηκαν ανά 1.25 m. Ακολουθεί η εικόνα 5, η οποία απεικονίζει τη διάταξη των μηκίδων στο κτίριο.



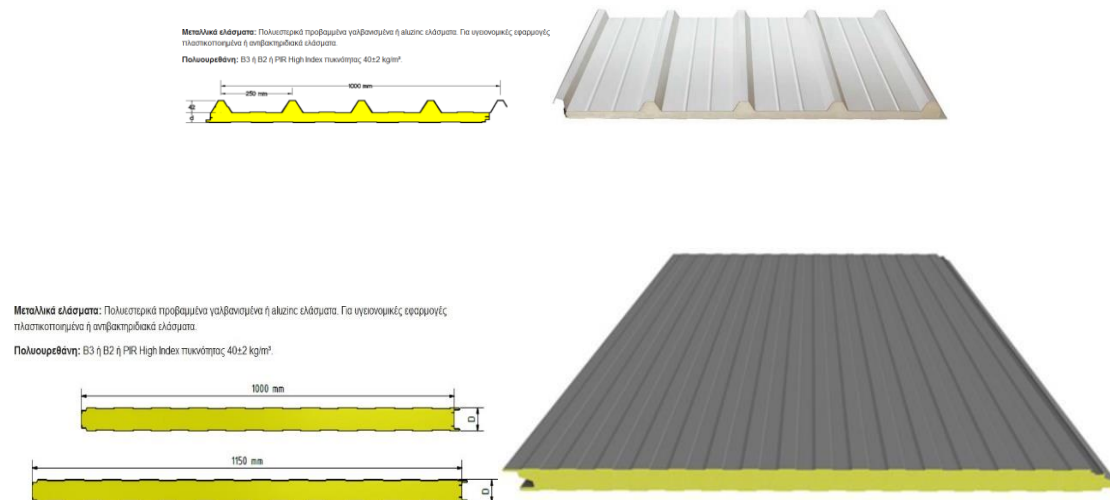
Εικόνα 5: Διάταξη μηκίδων

1.4.7 Επικάλυψη

Τα φύλλα με τα οποία επικαλύπτεται και επενδύεται πλευρικά ο φέρων οργανισμός, ή τα ισοδύναμα συστήματα που μπορεί εναλλακτικά να εφαρμόζονται για την επικάλυψη και την πλευρική επένδυση, πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή και αγκύρωση. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αγκύρωση καθώς αποτελεί βασική προϋπόθεση ώστε να είναι σε θέση, η επικάλυψη να μεταφέρει τις πιέσεις και υποπίεσεις που δημιουργεί ο άνεμος και οι άλλες δράσεις. Τα συστήματα επικάλυψης και επένδυσης πρέπει επιπλέον να διαθέτουν την απαιτούμενη θερμομονωτική ικανότητα. Τα μονωτικά φύλλα επικάλυψης και επένδυσης δεν θεωρείται γενικά ότι αποτελούν στοιχείο του φέροντος οργανισμού της κατασκευής προς το οποίο μεταφέρουν φορτία. Υπό ειδικές προϋποθέσεις μπορεί να θεωρηθεί ότι το υλικό επικάλυψης, κατάλληλα και επαρκώς αγκυρωμένο επί του μεταλλικού σκελετού, αποτελεί διάφραγμα ικανό να μεταφέρει οριζόντια φορτία μέσα στο επίπεδό του.

Τα συνήθη στοιχεία επικάλυψης στεγών είναι πολύχρωμα πετάσματα από απλά μεταλλικά χαλυβδόφυλλα ή θερμομονωτικά πανέλα με επίπεδες ή αυλακωτές επιφάνειες. Τα μεταλλικά φύλλα διακρίνονται σε : α) κουμπωτά, β) κυματοειδή, γ) τραπεζοειδή, δ) συρταρωτά. Ο συνηθέστερος τύπος φύλλων πλευρικής επένδυσης είναι τα θερμομονωτικά πανέλα τύπου «σάντουιτς», σε διάφορες επιφανειακές διαμορφώσεις, με τις αυλακώσεις οριζόντιες ή κατακόρυφες.

Στο μεταλλικό κτίριο που μελετάμε θα χρησιμοποιήσουμε για την πλευρική επένδυση αλλά και για την επικάλυψη της στέγης θερμομονωτικά πανέλα τύπου «σάντουιτς», τα οποία αποτελούνται από ένα εσωτερικό και ένα εξωτερικό φύλλο γάλυβα και έχουν εσωτερικό πολουρεθάνης πάχους 6cm (ίδιο βάρος 0,12kN/m²).



Εικόνα 6: Πανέλα επικάλυψης

2. Δράσεις επί της κατασκευής

Ο φορέας πρέπει να σχεδιάζεται και να κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο , ώστε με κατάλληλο βαθμό αξιοπιστίας και κατά τρόπο οικονομικό , να αντιμετωπίζει όλες τις δράσεις (φορτία) και τις επιδράσεις από το περιβάλλον, οι οποίες είναι πιθανόν να εμφανιστούν κατά την εκτέλεση και την διάρκεια ζωής του και να παραμένει κατάλληλος για την χρήση για την οποία προορίζεται για όλη τη διάρκεια αυτή.

Ο φορέας πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να είναι επαρκής ως προς την:

- Αντοχή
- Λειτουργικότητα
- Ανθεκτικότητα

Ανάλογα με τη χρήση , τη θέση και τη μορφή ενός έργου, προσδιορίζονται οι δράσεις με βάση τις οποίες ο μελετητής θα προβεί στην ανάλυση του φορέα , για να προσδιορισθούν τα δυσμενέστερα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη των μελών του.

Οι δράσεις αυτές ανάλογα με τις διακυμάνσεις τους στο χρόνο , κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1. Μόνιμες δράσεις (G): ίδιο βάρος κατασκευής , σταθερός εξοπλισμός , επιστρώσεις κ.α.
2. Μεταβλητές δράσεις (Q): επιβαλλόμενα φορτία σε πατώματα (ωφέλιμα κλπ.), πιέσεις ανέμου (W), φορτία χιονιού (S), φορτία από γερανογέφυρες (C).
3. Τυχηματικές δράσεις (A):εκρήξεις , πρόσκρουση οχήματος , πυρκαγιά κλπ.

Οι δράσεις δραστηριοποιούνται επίσης βάσει:

1. Της προέλευσης τους, ως άμεσες (π.χ. συγκεντρωμένα ή ομοιόμορφα κατανομημένα γραμμικά και επιφανειακά φορτία) ή έμμεσες (π.χ. επιβαλλόμενη παραμόρφωση λόγω θερμοκρασιακής μεταβολής ή υποχώρησης στηρίξεων , ή επιβαλλόμενη επιτάχυνση λόγω σεισμού)
2. Της χωρικής μεταβολής τους , ως σταθερές (π.χ. ίδιο βάρος) ή ελεύθερες (π.χ. κινητά επιβαλλόμενα φορτία γερανογεφυρών) και
3. Της φύσης τους ή της απόκρισης της κατασκευής , ως στατικές ή δυναμικές.
4. Τέλος, υπάρχει και η σεισμική δράση (E) επί της κατασκευής , η οποία μπορεί να θεωρείται είτε ως τυχηματική ή και μεταβλητή δράση , ανάλογα με την περιοχή της κατασκευής.

Σημειώνεται ότι οι έμμεσες δράσεις , οι οποίες προκαλούνται από επιβαλλόμενες παραμορφώσεις, μπορεί να είναι είτε μόνιμες είτε μεταβλητές.

Δράσεις οι οποίες προκαλούνται από νερό μπορεί να θεωρηθούν ως μόνιμες ή μεταβλητές , ανάλογα με τις διακυμάνσεις του μεγέθους τους με το χρόνο.

2.1. Μόνιμες δράσεις

Με τον όρο αυτό νοούνται όλες οι δράσεις , οι οποίες αναμένεται να επενεργήσουν κατά την διάρκεια μιας δεδομένης περιόδου επαναφοράς και για την οποία η διαφοροποίηση του μεγέθους τους στο χρόνο θα είναι αμελητέα. Περιλαμβάνονται όλα τα κατακόρυφα φορτία που δρουν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής , όπως τα ίδια βάρη (φέροντα στοιχεία , τοίχοι πληρώσεως , ψευδοροφές, επικαλύψεις και επενδύσεις , ηλεκτρικά και υδραυλικά δίκτυα , κλιματιστικά συστήματα).

2.2. Μεταβλητές δράσεις

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα κατακόρυφα φορτία που προκύπτουν από τη χρήση του κτιρίου και προέρχονται από την παρουσία ανθρώπων, επίπλων, κινητού εξοπλισμού, οχημάτων, αποθηκευμένων αγαθών κλπ. Λόγω της φύσεως των φορτίων αυτών, δεν είναι επακριβές το βάρος και η θέση τους, γι' αυτό και προσδιορίζονται στατιστικά, οι δε τιμές εφαρμογής τους (χαρακτηριστικές τιμές) δίνονται από τους κανονισμούς.

Οι μεταβλητές δράσεις θα πρέπει να τοποθετούνται κατά τον πλέον δυσμενή τρόπο, ώστε να καλύπτονται όλες οι ενδεχόμενες φορτικές καταστάσεις και να προσδιορίζεται η δυσμενέστερη επιρροή τους.

Σε καταστάσεις σχεδιασμού, όπου τα επιβαλλόμενα φορτία δρουν ταυτόχρονα με άλλες μεταβλητές δράσεις (π.χ. άνεμος, χιόνι κλπ), το σύνολο των επιβαλλόμενων φορτίων που λαμβάνονται υπόψη στη συγκεκριμένη περίπτωση φόρτισης, θα θεωρείται ως μια ενιαία δράση. Σε στέγες, τα επιβαλλόμενα φορτία δεν εφαρμόζονται ταυτόχρονα με τα φορτία χιονιού ή ανέμου και δεν εισάγονται στη σεισμική καταπόνηση.

Η οροφή του μεταλλικού κτιρίου που μελετάμε θεωρήθηκε κατηγορίας H, δηλαδή είναι μια οροφή προσιτή μόνο για κανονική συντήρηση, επισκευή, βαφή και μικροεπισκευές. Η προτεινόμενη τιμή του Εθνικού Προσαρτήματος για οροφή κατηγορίας H είναι $q_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$, την οποία και λάβαμε υπόψη μας ως κινητό φορτίο οροφής.

2.2.1. Φορτίο χιονιού

Τα φορτία λόγω χιονιού αντιμετωπίζονται παραδοσιακά, ορίζοντας μια συγκεντρωμένη απλή τιμή φορτίου, με πιθανές μειώσεις για απότομες κλίσεις στεγών. Η προσέγγιση αυτή δεν λαμβάνει υπόψη περιπτώσεις όπως αυξημένη χιονόπτωση σε μεγαλύτερα υψόμετρα ή τοπικά υψόμετρα λόγω κίνησης της μάζας του χιονιού, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει πλήρη ή μερική κατάρρευση. Μια καλύτερη προσέγγιση είναι η χρησιμοποίηση κατάλληλου χάρτη, που δίνει τις βασικές εντάσεις των φορτίων χιονιού για ένα συγκεκριμένο υψόμετρο και περίοδο επαναφοράς, ενώ μπορεί να εφαρμοστούν εν συνεχεία διορθώσεις για διαφορετικά υψόμετρα ή διάρκεια ζωής σχεδιασμού.

Τα φορτία χιονιού θεωρούνται ως στατικά και κατατάσσονται στις μεταβλητές, καθορισμένες δράσεις. Σε ειδικές περιπτώσεις, όταν οι καταγραφές της χιονόπτωσης δίνουν ακραίες τιμές οι οποίες δεν μπορούν να αξιοποιηθούν μέσω των συνήθων στατικών μεθόδων για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού, οι ακραίες αυτές τιμές μπορεί να θεωρούνται ως τυχηματικές δράσεις.

Το φορτίο χιονιού προκαλείται από την εναπόθεση του χιονιού σε οριζόντιες ή κεκλιμένες στέγες και είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές όπου επικρατεί κρύος καιρός και είναι συνήθεις οι μεγάλες χιονοπτώσεις. Ανάλογα, λοιπόν, με τη μορφή της στέγης (κλίση), τα θερμικά της χαρακτηριστικά, την τραχύτητα της επιφάνειας, το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κάτω από τη στέγη, την απόσταση των γειτονικών κτιρίων, τον περιβάλλοντα χώρο και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, το χιόνι μπορεί να συσσωρευθεί επί της στέγης κατά διάφορους τρόπους. Ιδιαίτερη σημασία έχει το κατά πόσον είναι εκτεθειμένη η οροφή στον άνεμο, οι μεταβολές της θερμοκρασίας καθώς και η πιθανότητα συγκέντρωσης λόγω κατακρήμνισης ή βροχόπτωσης. Όσο αφορά την πυκνότητα μέσω της οποίας προσδιορίζεται το αντίστοιχο φορτίο λόγω χιονιού, αυτή δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από τον βαθμό συμπύκνωσης του στην συγκεκριμένη θέση.

Η επιρροή της μορφής της στέγης λαμβάνεται υπόψη με τη χρήση συντελεστών μορφής. Καλύπτονται επίσης ειδικότερες καταστάσεις όπως συσσωρεύσεις χιονιού πίσω από στηθαία, σε κοιλάδες και σε απότομες αλλαγές του ύψους της στέγης.

Για την εκτίμηση του φορτίου χιονιού, συνήθως θεωρείται αρχικώς το ομοιόμορφο χιόνι που συγκεντρώνεται υπό συνθήκες νηνεμίας, ενώ η τελική μορφή προκύπτει για συνθήκες όπου επικρατούν άνεμοι.

Για τοποθεσίες όπου επικρατούν κανονικές συνθήκες (δηλαδή χωρίς πιθανότητα να λάβει χώρα εξαιρετική χιονόπτωση ή μετατόπιση λόγω ανέμων), θα εφαρμόζεται ο συνδυασμός που αντιστοιχεί σε καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές.

Το μέρος 1-3 του EN 1991 (Ευρωκώδικας 1) παρέχει οδηγίες για τα φορτία λόγω χιονόπτωσης, η οποία λαμβάνει χώρα υπό συνθήκες νηνεμίας ή με ταυτόχρονη ύπαρξη ανέμων. Τα φορτία αυτά ανφέρονται σε κτίρια ή έργα πολιτικού μηχανικού γενικά, για υψόμετρα κάτω των 1500 m. Για περιοχές με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες (υψηλές ταχύτητες ανέμου και λιώσιμο χιονιού), μπορεί να εφαρμοστεί το Παράρτημα Β του Μέρους 1-3, στο οποίο δίνονται ειδικές μορφές συγκέντρωσης χιονιού και οι αντίστοιχοι συντελεστές μορφής.

Το φορτίο χιονιού σε μια στέγη προσδιορίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

Για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (2.1)$$

Για τυχηματικές καταστάσεις:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_{Ad} \text{ όπου:}$$

μ_i είναι ο συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού

s_k είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους

C_e είναι ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με 1. Συνιστώμενες τιμές για άλλες συνθήκες είναι:

-Για έκθεση σε ισχυρούς ανέμους $C_e = 0,8$

-Για κατασκευές προστατευόμενες (από κτίρια ή δέντρα) $C_e = 1,2$

C_t είναι ο θερμικός συντελεστής, ο οποίος είναι συνήθως ίσος με 1 για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης.

$s_{Ad} = C_{esl} * s_k$ είναι η τιμή σχεδιασμού του φορτίου χιονιού επί του εδάφους

Το φορτίο s θεωρείται ότι ενεργεί κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της στέγης.

Για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι τιμές του s_k για περίοδο επαναφοράς 50 ετών δίνονται στο Παράρτημα C του EN 1991 – Μέρος 1-3. Για την Ελλάδα, σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, ορίζονται οι παρακάτω τρεις ζώνες χιονιού με τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές $s_{k,0}$ των φορτίων για έδαφος που βρίσκεται στη στάθμη της θάλασσας:

Ζώνη I ($s_{k,0} = 0,4 \text{ kN/ m}^2$) : Νομοί Αρκαδίας, Ηλείας, Λακωνίας, Μεσσηνίας, και όλα τα νησιά πλην των Σποράδων και της Εύβοιας.

Ζώνη II ($s_{k,0} = 1,7 \text{ kN/m}^2$) : Νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια.

Ζώνη III ($s_{k,0} = 0,8 \text{ kN/m}^2$) : Υπόλοιπη χώρα.

Για τοποθεσίες με υψόμετρο μεγαλύτερο από 1500m πρέπει να γίνεται ειδική μελέτη και αξιολόγηση. Περισσότερες πληροφορίες για ειδικές περιπτώσεις περιέχονται στο Εθνικό Προσάρτημα.

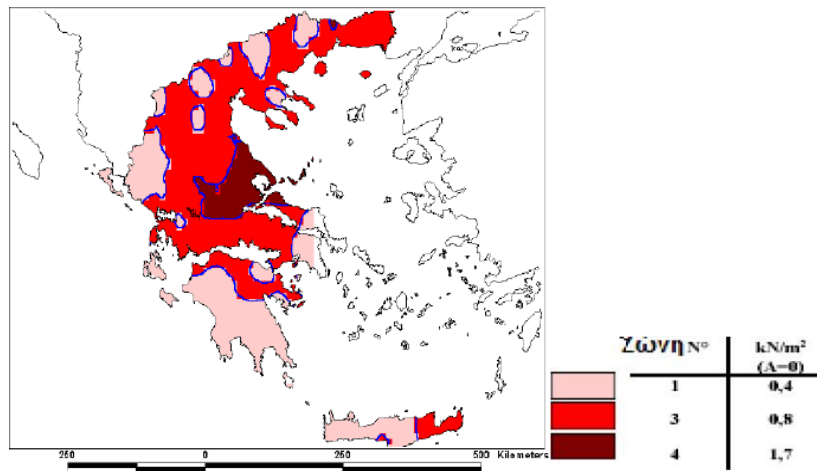
Η χαρακτηριστική τιμή s_k του φορτίου χιονιού επί του εδάφους σε kN/m^2 συναρτήσει της ζώνης και του αντίστοιχου υψομέτρου (A), για μία συγκεκριμένη τοποθεσία, δίνεται από τη σχέση:

$$s_k = s_{k,0} \left(1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right) \quad (2.2)$$

Όπου

$s_{k,0}$:είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στη στάθμη της θάλασσας (δηλ. για $A=0$), σε kN/m^2

A: είναι το υψόμετρο της συγκεκριμένης τοποθεσίας από τη στάθμη της θάλασσας, σε m.



Εικόνα 7: Ζώνες χιονιού και χαρακτηριστικές τιμές

Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού

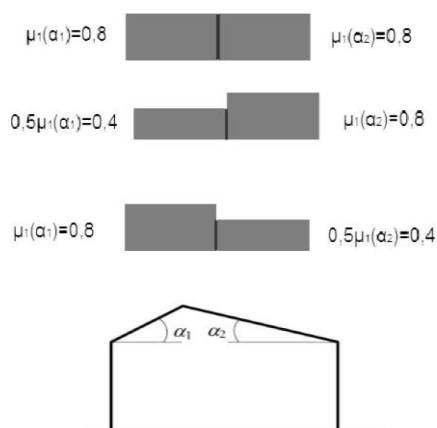
Γενικά θα χρησιμοποιούνται οι συντελεστές μορφής, οι οποίοι δίνονται σ' αυτή την παράγραφο, εκτός εάν η Αρμόδια Εθνική Υπηρεσία επιβάλλει λόγω ιδιαίτερων κλιματολογικών συνθηκών, τη χρήση των συντελεστών που δίνονται στο Παράρτημα Β του Μέρους 1-3.

Για τον προσδιορισμό των αντίστοιχων συντελεστών μορφής λαμβάνονται υπόψη δύο μορφές κατανομής φορτίου:

Η πρώτη μορφή προκύπτει από μια ομοιόμορφη κατανομή του χιονιού πάνω σε ολόκληρη τη στέγη, εάν το χιόνι πέφτει με μικρή πνοή ανέμου.

Η δεύτερη μορφή προκύπτει από μια αρχική ασύμμετρη κατανομή, ή από τοπική συγκέντρωση σε εμπόδια, ή από ανακατανομή του χιονιού που επηρεάζει την κατανομή του φορτίου στο σύνολο της στέγης (π.χ. χιόνι που μεταφέρεται από την προσήνεμη προς την υπήνεμη πλευρά της στέγης).

Στην Εικόνα 5 φαίνονται οι προβλεπόμενες διατάξεις για το συντελεστή μορφής φορτίου σε δίκλινες στέγες. Για το σχεδιασμό, θα λαμβάνεται υπόψη η εκάστοτε πλέον δυσμενής από αυτές.



Εικόνα 8: Συντελεστές μορφής σε δίκλινες στέγες

Οι συντελεστές μ_1 δίνονται στον πίνακα για διάφορες τιμές της γωνίας α της στέγης, όταν η ολίσθηση του χιονιού δεν παρεμποδίζεται.

Πίνακας 2.1: Συντελεστές ανάλογα με την κλίση της στέγης

Κλίση στέγης α	$0^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \cdot \alpha / 30$	1,6	-

Υπολογισμός φορτίου χιονιού

Τα φορτία χιονιού σε μια στέγη προσδιορίζονται από τις σχέσεις:

Για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (2.3)$$

Για τυχηματικές καταστάσεις:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * s_{Ad} \quad (2.4)$$

Όπου:

μ_i ο συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού, ο οποίος για στέγη με κλίση $\alpha = 16.17$ ισούται με 0,8

s_k η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους σε kN/m^2 συναρτήσει της ζώνης και του αντίστοιχου υψομέτρου A και δίνεται από την σχέση $s_k = s_{k,0} * [1 + (A/917)^2]$. Όπου A το υψόμετρο της συγκεκριμένης τοποθεσίας από την στάθμη της θάλασσας, το οποίο εδώ είναι $290\text{m} < 300\text{m}$.

$C_e = 1$: ο συντελεστής έκθεσης, για κανονικές συνθήκες.

$C_t = 1$: ο θερμικός συντελεστής, για κανονικές συνθήκες θερμομόνωσης της στέγης.

$s_{Ad} = C_{ESL} * s_k$ είναι η τιμή σχεδιασμού του φορτίου χιονιού επί του εδάφους (συντελεστής για εξαιρετικά φορτία χιονιού $C_{ESL} = 2$).

Συνεπώς: για ζώνη B $s_{k,0} = 0.8 \text{ kN/m}^2$ (νομός Αττικής) $\rightarrow s_k = 0.8856 \text{ kN/m}^2$

Μπορούμε πλέον να υπολογίσουμε το φορτίο χιονιού για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές το οποίο είναι:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * s_k = 0.8 * 1 * 1 * 0.8856 = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

Και για τυχηματικές καταστάσεις είναι:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * s_{Ad} = 0.8 * 1 * 1 * 1.7712 = 1.4 \text{ kN/m}^2$$

2.2.2. Δράσεις ανέμου

Το prEN 1991-1-4 (Ευρωκώδικας 1, Μέρος 1-4) παρέχει κανόνες και μεθόδους υπολογισμού των δράσεων λόγω ανέμου σε κτίρια και έργα πολιτικού μηχανικού και στα επιμέρους στοιχεία και προσαρτήματα τους για ύψη μέχρι 200 m.

Οι δράσεις λόγω ανέμου στις κατασκευές από χάλυβα, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο και σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν τη βασική φόρτιση, ανεξάρτητα από τον τύπο τους. Το μέγεθος των δράσεων αυτών μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία, το ύψος της κατασκευής, το είδος του περιβάλλοντα χώρου κλπ.

Οι δυνάμεις λόγω ανέμου είναι χρονικά μεταβαλλόμενες και μπορεί να προκαλέσουν ταλαντώσεις. Για πολλές όμως κατασκευές (π.χ. σε δύσκαμπτες) η δυναμική αυτή επίδραση είναι μικρή, οπότε τα φορτία του ανέμου μπορούν να θεωρούνται στατικά. Σε εύκαμπτες κατασκευές οι δυναμικές επιρροές μπορεί να είναι σημαντικές, οπότε πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η δυναμική τους συμπεριφορά.

Η πλέον σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό των δράσεων ανέμου είναι η ταχύτητα του ανέμου. Η βάση σχεδιασμού είναι η μέγιστη ταχύτητα που προβλέπεται για τη διάρκεια ζωής σχεδιασμού της κατασκευής.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της ταχύτητας και της ασκούμενης πίεσης είναι:

1. **Η γεωγραφική θέση.** Οι ταχύτητες του ανέμου είναι στατικώς μεγαλύτερες σε ορισμένες περιοχές απ' ό,τι σε άλλες. Για πολλές περιοχές υπάρχουν διαθέσιμα σημαντικά στατιστικά στοιχεία και οι βασικές ταχύτητες του ανέμου δημοσιεύονται συνήθως με τη μορφή ισοϋψών καμπυλών, οι οποίες είναι γραμμές ίσης βασικής ταχύτητας του ανέμου τοποθετημένες σε ένα χάρτη. Η βασική ταχύτητα του ανέμου αναφέρεται στον Ευρωκώδικα 1 ως η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου και αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα στα 10m πάνω από το επίπεδο γυμνού εδάφους, λαμβάνοντας τον μέσο όρο για μια περίοδο 10 λεπτών και με περίοδο επαναφοράς τα 50 χρόνια.
2. **Η φυσική θέση.** Οι ριπές του ανέμου με υψηλές ταχύτητες απαντώνται σε εκτεθειμένες περιοχές όπως είναι οι ακτές, παρά σε πιο προστατευμένες περιοχές όπως είναι τα κέντρα πόλεων, λόγω των μεταβολών στην τραχύτητα των επιφανειών, που συνεπάγεται μείωση της ταχύτητας του ανέμου στο επίπεδο του εδάφους. Η μεταβολή αυτή λαμβάνεται υπόψη μέσω ενός συντελεστή τραχύτητας, ο οποίος σχετίζεται με την τραχύτητα του εδάφους και το ύψος πάνω από το επίπεδο του εδάφους.
3. **Η τοπογραφία.** Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας σε σχέση με τους λόφους ή και τους γκρεμούς λαμβάνονται υπόψη με τον συντελεστή τοπογραφίας.
4. **Οι διαστάσεις των κτιρίων.** Το ύψος του κτιρίου είναι ιδιαίτερα σημαντικό, επειδή οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνονται με το ύψος πάνω από το επίπεδο του εδάφους.

5. **Η μέση ταχύτητα του ανέμου.** Προσδιορίζεται από τη βασική ταχύτητα, που προσαυξάνεται για να ληφθεί υπόψη το ύψος του κτιρίου, η τραχύτητα του εδάφους και η τοπογραφία. Η πίεση του ανέμου είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της μέσης ταχύτητάς του.
6. **Το σχήμα της κατασκευής.** Τα φορτία του ανέμου δεν είναι απλώς μια μετωπική πίεση που ασκείται στην πρόσοψη μιας κατασκευής, αλλά το αποτέλεσμα μιας σύνθετης κατανομής πιέσεων σε όλες τις όψεις της, λόγω της κίνησης του ανέμου γύρω από την κατασκευή. Γενικά αναπτύσσονται θετικές και αρνητικές πιέσεις στις διάφορες όψεις της κατασκευής αντίστοιχα προς τα αεροδυναμικά φαινόμενα που παρατηρούνται όταν ένα εμπόδιο (κτίριο) παρεμβάλλεται σε μια υπάρχουσα ροή (άνεμος). Η κατανομή είναι επιπλέον περίπλοκη λόγω των γειτονικών κατασκευών και των φυσικών εμποδίων/μεταβολών, όπως λόφοι, κοιλάδες, δασικές εκτάσεις, που μπορεί να επηρεάζουν τη μορφή της κίνησης του ανέμου και τη σχετική κατανομή της πίεσης. Γενικά ως προς τις κατακόρυφες επιφάνειες του κτιρίου, πιέσεις αναπτύσσονται στις προσήνεμες και υποπίεσεις στις υπήνεμες όψεις του κτιρίου.
7. **Η κλίση της στέγης.** Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική ως προς το είδος των πιέσεων που αναπτύσσονται επί της κατασκευής. Είναι αξιοσημείωτο ότι στέγες με μικρές κλίσεις μπορεί να υπόκεινται σε υφαρπαγή ή αναρρόφηση (αρνητικές πιέσεις ή υποπίεσεις), ενώ στέγες με μεγαλύτερη κλίση (μεγαλύτερη από 20°) μάλλον υπόκεινται σε πίεση προς τα κάτω.
8. **Η διεύθυνση του ανέμου.** Οι κατανομές της πίεσης μεταβάλλονται για διαφορετικές διευθύνσεις του ανέμου.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού των φορτίων ανέμου για το ορθογωνικό κτήριο.

Βασική ταχύτητα ανέμου

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (2.5)$$

Όπου

c_{dir} ο συντελεστής διεύθυνσης, $c_{dir} = 1$

c_{season} ο συντελεστής εποχής, $c_{season} = 1$

$v_{b,0}$ η θεμελιώδης τιμή της ταχύτητας του ανέμου η οποία για απόσταση μεγαλύτερη των 10km από την θάλασσα (στάθμη υψομέτρου=0) ισούται με 27 m/s. Με αποτέλεσμα από την σχέση η τελική ταχύτητα του ανέμου να ισούται με 27 m/s.

Άρα $v_b = 27 \text{ m/s}$

Το ύψος αναφοράς της κατασκευής είναι $H=6.16$ m.

Διεύθυνση X ($b_x=15$ m) οπότε $H/b_x=0.41 < 1$ άρα $z_e=6.16$ m

Διεύθυνση Y ($b_y=8$ m) οπότε $H/b_x=0.77 < 1$ άρα $z_e=6.16$ m

Συντελεστής τραχύτητας

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0IV}}\right), \text{ για } z_{min} < z < z_{max} \quad (2.6)$$

Όπου

$z_{min}=10$ m και $z_{max}=200$ m για κατηγορία εδάφους IV $z_{0IV} = 1$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_{0IV}}{z_{0II}}\right)^{0.07}, \text{ συντελεστής εδάφους } z_{0II} = 0.05 \text{ m} \quad (2.7)$$

Επομένως $C_r(z) = 0.63$

Αρχικά επισημαίνουμε πως το κτίριο δεν διαθέτει μόνιμα ανοίγματα γι' αυτό και μελετάται μόνο η εξωτερική πίεση του ανέμου. Οι πόρτες και τα παράθυρα εντάσσονται στις τυχηματικές καταστάσεις.

- Η βασική ταχύτητα ανέμου v_b ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους, στα 10m πάνω από έδαφος κατηγορίας II, και προσδιορίζεται ως εξής:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (2.8)$$

$v_{b,0}$: Είναι η χαρακτηριστική μέση ταχύτητα του ανέμου 10 λεπτών, ανεξάρτητα από τη διεύθυνσή του και την εποχή του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος, σε ανοικτή περιοχή με χαμηλή βλάστηση, όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια, ανά αποστάσεις μεταξύ τους τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων (έδαφος κατηγορίας II).

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου $v_{b,0}$ για την Ελλάδα ορίζεται στα 33m/s για τα νησιά και παράλια μέχρι 10km από την ακτή και στα 27m/s για την υπόλοιπη χώρα. Το υπό μελέτη κτίριο θεωρείται ότι βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 10km από την ακτή. Έτσι λαμβάνεται $v_{b,0}=27$ m/s.

c_{dir} : Ο συντελεστής διεύθυνσης είναι $c_{dir}=1,0$

c_{season} : Ο συντελεστής εποχής είναι $c_{season}=1,0$

Έτσι, $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 27,0 = 27$ m/s

- $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$, v_m : μέση ταχύτητα του ανέμου

Μέση ταχύτητα ανέμου

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (2.8)$$

$$= 0.63 \cdot 1 \cdot 27 = 17.13 \text{ m/s}$$

Στροβιλισμός ανέμου

$$I_v(z) = \frac{1}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_{0IV}}\right)} \Rightarrow I_v(z) = 0.3692 \quad (2.9)$$

Πίεση ταχύτητας ανέμου αιχμής

$$q_p(z) = (1 + 7I_v(z)) 0.5 \rho v_m^2 \quad (2.10)$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$.

Συνεπώς

$$q_p(z) = 0.66 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Στην συνέχεια γίνεται διαχωρισμός των επιφανειών του κτιρίου με βάση το παρακάτω σχήμα.

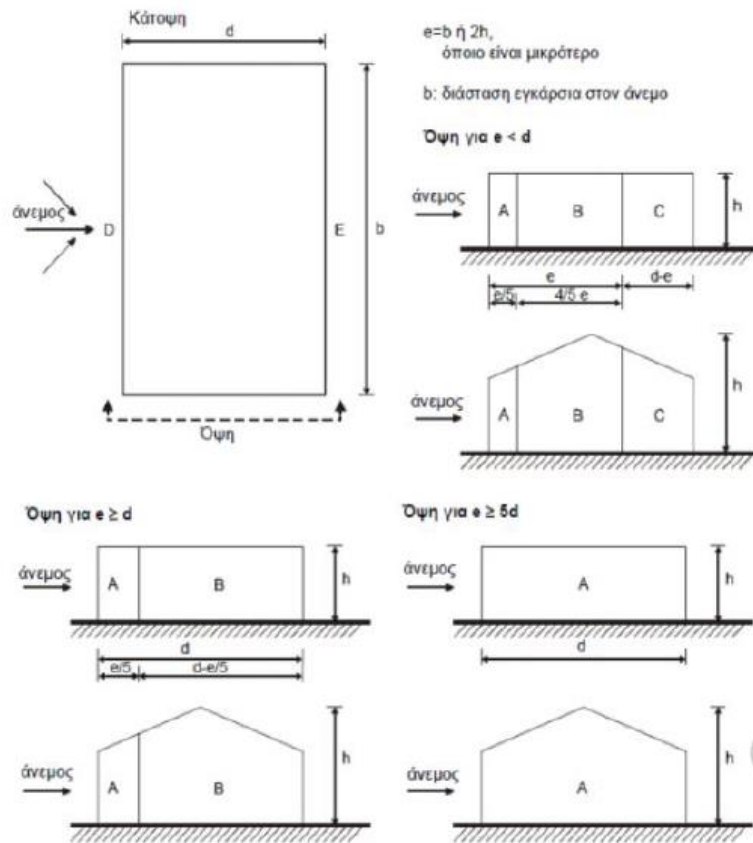
Στην περίπτωση 1 που ο άνεμος είναι κάθετος στην μεγάλη πλευρά έχουμε:

$$H = 6.16 \text{ m}, b = 15 \text{ m}, d = 8 \text{ m}, e = \min(b, 2H) = \min(15, 12.32) = 12.32 \text{ m}$$

$e = 12.32 \text{ m} > d = 8 \text{ m}$, οπότε έχουμε δύο ζώνες A και B.

Μήκος ζώνης A, $e/5 = 2.47 \text{ m}$

Μήκος ζώνης B, $d - e/5 = 5.53 \text{ m}$



Εικόνα 9: Επιφάνειες επιρροής ανέμου για τις διάφορες περιπτώσεις γεωμετρίας.

$$\text{Εμβαδό ζώνης A} = 2.47 * 6.16 = 15.21 \text{ m}^2$$

$$\text{Εμβαδό ζώνης B} = 5.53 * 6.16 = 34.06 \text{ m}^2$$

Στην περίπτωση 2 που ο άνεμος είναι κάθετος στην μικρή πλευρά έχουμε:

$$H = 6.16 \text{ m}, b = 8 \text{ m}, d = 15 \text{ m}, e = \min(b, 2H) = \min(8, 12.32) = 8 \text{ m}$$

$e = 8 \text{ m} < d = 15 \text{ m}$, οπότε έχουμε τρεις ζώνες A, B και Γ.

$$\text{Μήκος ζώνης A}, e/5 = 1.6 \text{ m}$$

$$\text{Μήκος ζώνης B}, 4/5 e = 6.4 \text{ m}$$

$$\text{Μήκος ζώνης Γ}, d - e = 7 \text{ m}$$

$$\text{Εμβαδό ζώνης A} = 1.6 * 6.16 = 9.85 \text{ m}^2$$

$$\text{Εμβαδό ζώνης B} = 6.4 * 6.16 = 39.42 \text{ m}^2$$

$$\text{Εμβαδό ζώνης Γ} = 7 * 6.16 = 43.12 \text{ m}^2$$

Zone	A		B		C		D		E	
h/d	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}	c _{pe,10}	c _{pe,1}
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Πίνακας 2.2: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατοκώρυφους τοίχους ορθόγων κτιρίων.

Υπολογισμός c_{pe}, c_{pi}

Περίπτωση 1

$$h/d = 0.77$$

Κατακόρυφοι τοίχοι

Ζώνη	A	B
h/d	c _{pe,10}	c _{pe,10}
0.77	-1.2	-0.8

Οι εξωτερικές πιέσεις θα είναι:

$$w_{eA} = 0.66 * (-1.20) = 0.79 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eB} = 0.66 * (-0.80) = 0.53 \text{ kN/m}^2$$

Στέγη

Παίρνω την περίπτωση για 15.61° με δίκλινη στέγη

$$\text{Περιοχή F: } c_{pe,10} = -2.5$$

$$\text{Περιοχή G: } c_{pe,10} = -1.3$$

$$\text{Περιοχή H: } c_{pe,10} = -0.9$$

$$\text{Περιοχή I: } c_{pe,10} = -0.5$$

$$\text{Περιοχή J: } c_{pe,10} = -0.7$$

Συνεπώς οι εξωτερικές πιέσεις θα είναι (ευμενής):

$$w_{eF} = 0.66 * (-2.5) = 1.65 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eG} = 0.66 * (-1.3) = 0.86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eH} = 0.66 * (-0.9) = 0.59 \text{ kN/m}^2$$

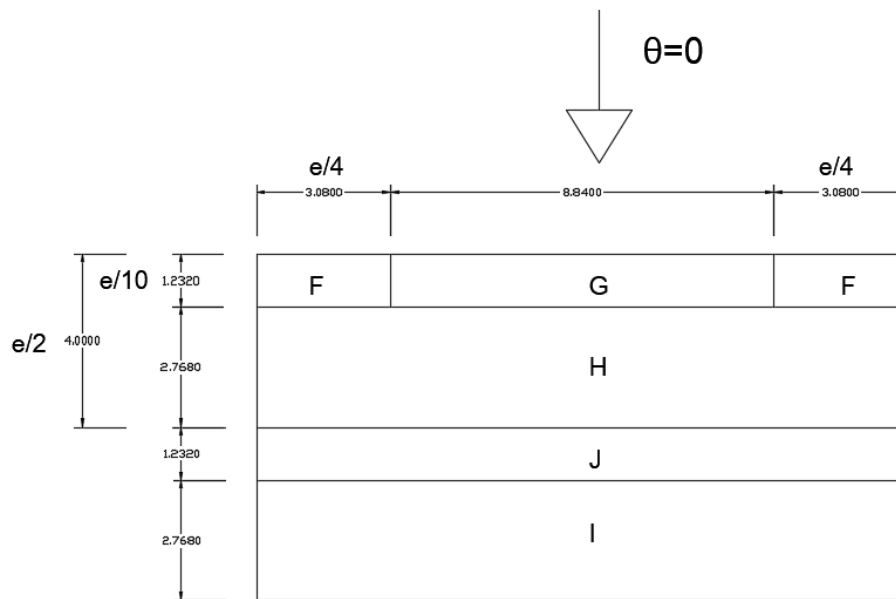
$$w_{eI} = 0.66 * (-0.5) = 0.33 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eJ} = 0.66 * (-0.7) = 0.46 \text{ kN/m}^2$$

Θετικές τιμές c_{pe}:

$$w_{eF} = w_{eG} = w_{eH} = 0.66 * 0.02 = 0.132 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eJ} = 0.66 * 0.18 = 0.118 \text{ kN/m}^2$$



Εικόνα 10: Χωρισμός κάτοψης σε ζώνες ανέμου

Περίπτωση 2

$$h/d = 0.41$$

Κατακόρυφοι τοίχοι

Ζώνη	A	B	C
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}, c_{pe,1}$
0.77	-1.2	-0.8	-0.5

$$w_{eA} = 0.66 * (-1.20) = 0.79 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eB} = 0.66 * (-0.80) = 0.53 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eC} = 0.66 * (-0.50) = 0.33 \text{ kN/m}^2$$

Στέγη

Παίρνω την περίπτωση για 15.61° με δίκλινη στέγη

$$\text{Περιοχή F: } c_{pe,10} = -1.9$$

$$\text{Περιοχή G: } c_{pe,10} = -1.2$$

$$\text{Περιοχή H: } c_{pe,10} = -0.8$$

$$\text{Περιοχή I: } c_{pe,10} = -0.8$$

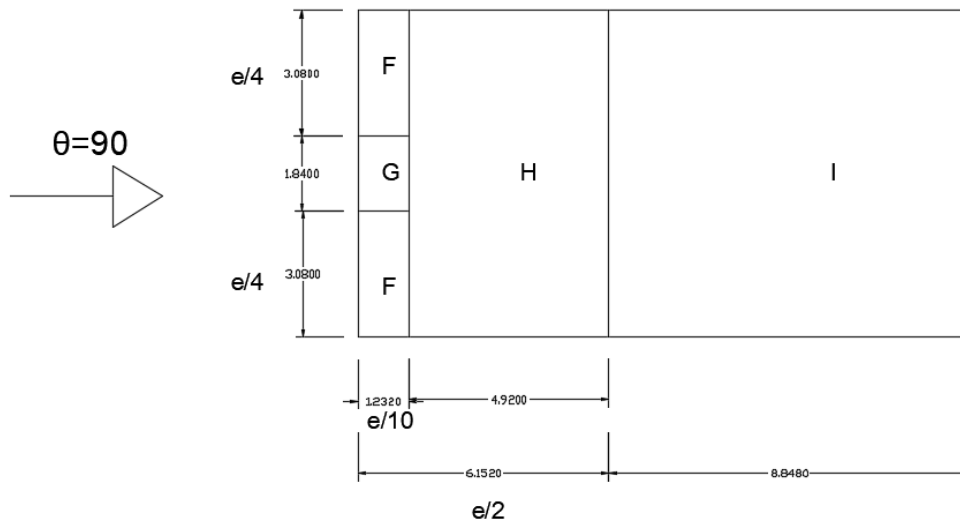
Συνεπώς οι εξωτερικές πιέσεις είναι:

$$w_{eF} = 0.66 * (-1.9) = 1.254 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eG} = 0.66 * (-1.2) = 0.792 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eH} = 0.66 * (-0.8) = 0.528 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{eI} = 0.66 * (-0.8) = 0.528 \text{ kN/m}^2$$



Εικόνα 11: Χωρισμός κάτοψης σε ζώνες ανέμου

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι εξωτερικές πιέσεις που προκύπτουν εάν εξετάσουμε την επιβολή του ανέμου στην άλλη πλευρά της στέγης διαφέρουν ελάχιστα από εκείνες που έχουμε υπολογίσει. Έτσι στους υπολογισμούς επιλέγουμε να εισάγουμε τις εξωτερικές πιέσεις για 15.61° στέγης

2.3. Συνδυασμοί δράσεων

2.3.1 Οριακές καταστάσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1

Ανάλογα με το είδος, τη μορφή και τη θέση της κατασκευής, προσδιορίζονται οι διάφορες χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων, οι οποίες επενεργούν σ' αυτήν. Οι δράσεις αυτές, πολλαπλασιασμένες με κατάλληλους συντελεστές (επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ), συνδυάζονται μεταξύ τους καταλλήλως (συντελεστές συνδυασμού ψ) για κάθε μία από τις δύο οριακές καταστάσεις και στη συνέχεια εφαρμόζονται επί του φορέα. Είναι προφανές ότι οι δράσεις που υπεισέρχονται στους συνδυασμούς, επενεργούν και εκδηλώνονται ταυτόχρονα.

Οριακές καταστάσεις είναι οι καταστάσεις πέραν των οποίων ο φορέας ή τμήμα αυτού δεν ικανοποιεί πλέον τα κριτήρια σχεδιασμού του.

Διακρίνονται στις παρακάτω δύο κατηγορίες:

1. Οριακές καταστάσεις αστοχίας (ΟΚΑ)
2. Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (ΟΚΛ).

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας χρησιμοποιούνται, προκειμένου να ληφθούν υπόψη πιθανές δυσμενείς αποκλίσεις ή πιθανή μη ακριβής προσομοίωση των δράσεων, καθώς και αβεβαιότητες στον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων των δράσεων (εντατικά μεγέθη, μετακινήσεις κλπ). Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας των δράσεων δίνονται παρακάτω:

Πίνακας 2.3: Συντελεστές ασφαλείας

	Οριακές καταστάσεις αστοχίας		Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας	
	Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση	Δυσμενής επίδραση	Ευμενής επίδραση
γ_G	1,35	1,0	1,0	1,0
γ_Q	1,5	0	1,0	0
γ_A, γ_F	1,0	0	-	-

Η πιθανότητα χρονικής σύμπτωσης των μέγιστων τιμών διαφόρων ανεξάρτητων δράσεων είναι μικρή. Για το λόγο αυτό κατά την εξέταση των συνδυασμών των μεταβλητών δράσεων εισάγονται οι συντελεστές συνδυασμού ψ . Οι συντελεστές αυτοί εκφράζουν το ποσοστό της χαρακτηριστικής τιμής μιας δράσης, το οποίο, για την εξεταζόμενη κατάσταση, έχει μεγάλη πιθανότητα χρονικής ταύτισης με άλλες δράσεις.

Πίνακας 2.4: Συντελεστές ασφαλείας

Δράση	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια			
Κατηγορία Α: κατοικίες	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία Β: γραφεία	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία C: επιφάνειες συνάθροισης (σχολεία, εστιατόρια, εκκλησίες, θέατρα, κινηματογράφοι, αμφιθέατρα, μουσεία κλπ)	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία D: καταστήματα	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: αποθηκευτικοί χώροι	1,0	0,9	0,8
Φορτία κυκλοφορίας οχημάτων σε κτίρια			
Κατηγορία F: βάρος οχήματος $\leq 30kN$	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: $30kN <$ βάρος οχήματος $\leq 160kN$	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: οροφές	0	0	0
Φορτία γιονιού σε κτίρια:			
Για υψόμετρο $1000m < H < 1500m$	0,7	0,5	0,2
Για υψόμετρο $H \leq 1000m$	0,5	0,2	0
Φορτία ανέμου σε κτίρια	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία σε κτίρια (εκτός πυρκαγιάς)	0,6	0,5	0

2.3.2 Οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ)

Οι καταστάσεις αυτές συνδέονται με κατάρρευση ή με ισοδύναμες μορφές αστοχίας του φορέα ή τμήματός του (πλαστικές αντοχές, απώλεια ευστάθειας, θραύση, κόπωση, ανατροπή κτλ). Οι συνδυασμοί σχεδιασμού για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση αστοχίας είναι οι ακόλουθοι:

1. Για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές:

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

2. Για τυχηματικές καταστάσεις :

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

2.3.3 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Οι καταστάσεις αυτές συνδέονται με συνθήκες πέραν των οποίων δεν πληρούνται πλέον οι καθορισμένες λειτουργικές απαιτήσεις για το φορέα ή για μέλος αυτού (μετατοπίσεις, ταλαντώσεις, ρηγματώσεις κτλ). Οι συνδυασμοί σχεδιασμού που ορίζονται για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι οι ακόλουθοι:

1. Χαρακτηριστικός συνδυασμός

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

2. Συχνός συνδυασμός

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

3. Ημιμόνιμος συνδυασμός

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

2.3.4 Συνδυασμοί δράσεων μεταλλικού κτιρίου

Τα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν στους συνδυασμούς είναι:

Μόνιμα φορτία (Gολ)

- Ίδιο βάρος φορέα (υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα)
- Ίδιο βάρος στοιχείων που δεν τοποθετήθηκαν στο φορέα στο πρόγραμμα ανάλυσης, δηλαδή των φύλλων επικάλυψης και μηχανολογικού εξοπλισμού, των τεγίδων και της δοκού κύλισης, των τροχιών και των προβόλων (για τη γερανογέφυρα)
- Κινητά φορτία
- Χιόνι (S)
- Άνεμος κατά X και κατά Y (W)
- Κινητό φορτίο οροφής (Q)

ΣΦ1	1.35G+1.05Q		
ΣΦ2	1.35G+1.05QA		
ΣΦ3	1.35G+1.05QB		
ΣΦ4	1.35G+1.05QC		
ΣΦ5	1.35G+1.05QD		
ΣΦ6	1.35G+1.05QE		
ΣΦ7	1.15G+1.50Q		
ΣΦ8	1.15G+1.50QA		
ΣΦ9	1.15G+1.50QB		
ΣΦ10	1.15G+1.50QC		
ΣΦ11	1.15G+1.50QD		
ΣΦ12	1.15G+1.50QE		
ΣΦ13	1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S		
ΣΦ14	1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S		
ΣΦ15	1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S		
ΣΦ16	1.15G+1.50Q+0.75S		
ΣΦ17	1.15G+1.05Q+1.50S		
ΣΦ18	1.00G+1.50W[+x]		
ΣΦ19	1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S		
ΣΦ20	1.35G+1.05Q+0.75S		
ΣΦ21	1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	ΣΦ29	1.00G+1.50W[-x]
ΣΦ22	1.15G+1.05Q+1.50W[+z]+0.75S	ΣΦ30	1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S
ΣΦ23	1.15G+1.05Q+0.90W[+z]+1.50S	ΣΦ31	1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S
ΣΦ24	1.00G+1.50W[+z]	ΣΦ32	1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S
ΣΦ25	1.35G+1.05Q+0.90W[+z]+0.75S	ΣΦ33	1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S
ΣΦ26	1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	ΣΦ34	1.00G+1.50W[-z]
ΣΦ27	1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	ΣΦ35	1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S
ΣΦ28	1.15G+1.05Q+0.90W[-x]+1.50S	ΣΦ36	1.00G+1.00Q
		ΣΦ37	1.00[G+ψ2xQ]

3. Διαστασιολόγηση μελών

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση των μελών του κτιρίου με βάση τους συνδυασμούς φόρτισης της κατασκευής. Οι διατομές που επιλέχθηκαν ικανοποιούν την δυσμενέστερη περίπτωση φόρτισης, ενώ παράλληλα εξυπηρετούν και τα οικονομικά κριτήρια, έχοντας υψηλούς συντελεστές εκμετάλλευσης.



Εικόνα 12: Τα μέλη που διαστασιολογούνται.

3.1 Δοκός – ΙΡΕ 220

Οι παρακάτω πίνακες παράγονται από το FESPA 8.1.0.22.

Ο πρώτος πίνακας έχει τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στη δοκό από τα επιβαλλόμενα φορτία.

Δοκός: 1, Άνοιγμα 3, Όροφος 0

Γενικά δεδομένα δοκού

Κόμβοι	Αρχή: 14	Τέλος: 15	Μέλος: 57	ΣΠΕΜ = 1,00
Διατομή	ΙΡΕ220		ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΛΟΣ	Ελαστικές Αρθρώσεις
Υλικά	Δομικός χάλυβας S275		Μήκος l=1,03	Αρχή Τέλος
Κανονισμός	Πλαστικότητα: ΚΠΜ		Κύρια δοκός	Όχι Όχι
Συντελεστές	$K_y = 1,00$	$K_z = 1,00$	$\alpha_{0y} = 1,00$	$\alpha_{0z} = 1,00$
				$\beta_{0y} = 1,00$
				$\beta_{0z} = 1,00$

Εντατικά μεγέθη

Φόρτ [/]	w_y [kN/m]	w_z [kN/m]	Αρχή My [kNm]	[14]		Vy [kN]	Vz [kN]	Τέλος My [kNm]	[15]		Αξονική N [kN]	max My [kNm]	max Mz [kNm]
				Mz [kNm]	Vy [kN]				Mz [kNm]	Vz [kN]			
G	0,45		-0,01	1,41	1,84			3,07	1,38		-1,07		3,07
Q			-0,02	5,38	7,87	-0,02	-0,05	13,52	7,87	-0,02	-1,58	-0,02	13,52
QA				0,34	2,30	-0,08	-0,08	2,71	2,30	-0,08	6,58		2,71
QB			-0,03	5,04	5,57	0,06	0,03	10,81	5,57	0,06	-8,16	0,03	10,81
QC			-0,03	5,90	4,69	0,02	-0,01	10,75	4,69	0,02	2,46	-0,01	10,75
QD			0,01	-0,18	5,49	-0,13	-0,12	5,49	5,49	-0,13	2,55	0,01	5,49
QE			-0,03	5,04	5,57	0,06	0,03	10,80	5,57	0,06	-8,17	0,03	10,80
[G+ψ2xQ]	0,45		-0,02	4,63	6,56	-0,01	-0,03	11,18	6,10	-0,01	-2,01	-0,02	11,18
1.35G+1.05Q	0,60		-0,04	7,55	10,75	-0,02	-0,06	18,34	10,13	-0,02	-3,10	-0,04	18,34
1.35G+1.05QA	0,60		-0,01	2,25	4,90	-0,08	-0,09	6,99	4,28	-0,08	5,47	-0,01	6,99
1.35G+1.05QB	0,60		-0,04	7,19	8,34	0,06	0,03	15,49	7,71	0,06	-10,00	0,03	15,49
1.35G+1.05QC	0,60		-0,04	8,09	7,41	0,03	-0,01	15,43	6,78	0,03	1,15	-0,01	15,43

Εντατικά μεγέθη

Φόρτ [γ]	wy [kN/m]	wz [kN/m]	Αρχή My [kNm]	[14] Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Τέλος My [kNm]	[15] Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Αξονική N [kN]	max My [kNm]	max Mz [kNm]
1.35G+1.05QD	0,60			1,70	8,25	-0,13	-0,14	9,91	7,63	-0,13	1,24		9,91
1.35G+1.05QE	0,60		-0,04	7,19	8,33	0,06	0,03	15,48	7,71	0,06	-10,02	0,03	15,48
1.15G+1.50Q	0,51		-0,05	9,68	13,92	-0,03	-0,08	23,80	13,39	-0,03	-3,60	-0,05	23,80
1.15G+1.50QA	0,51			2,12	5,56	-0,12	-0,13	7,59	5,03	-0,12	8,64		7,59
1.15G+1.50QB	0,51		-0,05	9,18	10,47	0,09	0,04	19,73	9,94	0,09	-13,46	0,04	19,73
1.15G+1.50QC	0,51		-0,05	10,46	9,15	0,04	-0,02	19,64	8,61	0,04	2,47	-0,02	19,64
1.15G+1.50QD	0,51			1,34	10,35	-0,19	-0,19	11,76	9,82	-0,19	2,60		11,76
1.15G+1.50QE	0,51		-0,05	9,18	10,46	0,09	0,04	19,72	9,93	0,09	-13,48	0,04	19,72
ΣΣ:+x	0,45		0,10	2,81	7,45	0,21	-0,14	12,15	5,22	-0,24	-0,96	0,10	12,15
ΣΣ:+x	0,45		-0,15	6,45	5,68	-0,24	0,08	10,22	6,99	0,21	-3,07	0,08	10,22
ΣΣ:+z	0,45		0,06	2,68	7,46	0,10	-0,08	12,27	5,21	-0,13	-0,77	0,06	12,27
ΣΣ:+z	0,45		-0,10	6,59	5,67	-0,13	0,01	10,10	7,00	0,10	-3,26	0,01	10,10
ΣΣ:-x	0,45		0,10	2,54	7,56	0,22	-0,15	12,30	5,10	-0,24	-0,85	0,10	12,30
ΣΣ:-x	0,45		-0,15	6,72	5,57	-0,24	0,08	10,07	7,10	0,22	-3,18	0,08	10,07
ΣΣ:-z	0,45		0,15	2,67	7,56	0,32	-0,21	12,18	5,11	-0,35	-1,00	0,15	12,18
ΣΣ:-z	0,45		-0,19	6,60	5,57	-0,35	0,14	10,19	7,09	0,32	-3,03	0,14	10,19
W[+x]	-0,38		0,01	-1,22	-1,09	0,01	0,02	-2,14	-0,70	0,01	4,91	0,01	-2,14
W[+z]	0,24		-0,02	3,15	-2,81	0,05	0,04	0,11	-3,06	0,05	-1,80	0,04	3,15
W[-x]	-0,36		0,01	-0,74	-2,08	0,01	0,02	-2,71	-1,71	0,01	4,74	0,01	-2,71
W[-z]	-0,36		-0,03	-5,35	-1,53	0,03	0,01	-6,74	-1,15	0,03	0,68	-0,03	-6,74
S			-0,01	2,16	2,30	-0,01	-0,02	4,54	2,30	-0,01	-0,50	-0,01	4,54
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	0,17		-0,05	10,20	14,67	-0,03	-0,08	25,28	14,49	-0,03	0,45	-0,08	25,28
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	-0,05		-0,03	7,05	10,48	-0,01	-0,05	17,91	10,53	-0,01	4,10	-0,05	7,05
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	0,17		-0,04	9,41	12,85	-0,03	-0,07	22,60	12,67	-0,03	0,78	-0,07	22,60
1.15G+1.50Q+0.75S	0,51		-0,05	11,30	15,65	-0,04	-0,09	27,21	15,12	-0,04	-3,97	-0,05	27,21
1.15G+1.05Q+1.50S	0,51		-0,05	10,51	13,83	-0,04	-0,08	24,53	13,30	-0,04	-3,64	-0,05	24,53
1.00G+1.50W[+x]	-0,12			-0,43	0,21	0,02	0,02	-0,15	0,34	0,02	6,30		-0,43
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	0,26		-0,04	8,07	11,50	-0,02	-0,06	19,82	11,23	-0,02	0,94	-0,06	19,82
1.35G+1.05Q+0.75S	0,60		-0,04	9,17	12,48	-0,03	-0,07	21,75	11,85	-0,03	-3,48	-0,04	21,75
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	0,73		-0,06	14,14	13,12	0,01	-0,05	27,31	12,36	0,01	-5,60	-0,05	27,31
1.15G+1.05Q+1.50W[+z]+0.75S	0,88		-0,06	13,61	7,89	0,05	-0,01	21,30	6,98	0,05	-5,97	-0,01	21,30
1.15G+1.05Q+0.90W[+z]+1.50S	0,73		-0,06	13,34	11,30	0,01	-0,05	24,63	10,54	0,01	-5,26	-0,05	24,63
1.00G+1.50W[+z]	0,81		-0,03	6,13	-2,38	0,08	0,06	3,24	-3,21	0,08	-3,77	0,06	6,13
1.35G+1.05Q+0.90W[+z]+0.75S	0,82		-0,05	12,00	9,95	0,02	-0,03	21,85	9,10	0,02	-5,10	-0,03	21,85
1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	0,19		-0,05	10,64	13,77	-0,03	-0,07	24,77	13,57	-0,03	0,30	-0,07	24,77
1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	-0,02		-0,03	7,77	8,98	-0,01	-0,04	17,07	9,00	-0,01	3,85	-0,04	7,77
1.15G+1.05Q+0.90W[-x]+1.50S	0,19		-0,04	9,84	11,95	-0,02	-0,06	22,10	11,75	-0,02	0,63	-0,06	22,10
1.00G+1.50W[-x]	-0,09			0,29	-1,28	0,02	0,03	-0,99	-1,19	0,02	6,05		-0,99
1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S	0,28		-0,04	8,50	10,60	-0,02	-0,05	19,31	10,31	-0,02	0,79	-0,05	19,31
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	0,19		-0,08	6,49	14,27	-0,01	-0,09	21,15	14,08	-0,01	-3,36	-0,09	21,15
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	-0,03		-0,08	0,86	9,81	0,02	-0,06	11,02	9,84	0,02	-2,24	-0,08	0,86
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	0,19		-0,07	5,69	12,45	-0,01	-0,08	18,47	12,26	-0,01	-3,03	-0,08	18,47
1.00G+1.50W[-z]	-0,09		-0,05	-6,62	-0,45	0,05	0,01	-7,03	-0,35	0,05	-0,04	-0,05	-7,03
1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S	0,28		-0,07	4,35	11,10		-0,06	15,68	10,81		-2,86	-0,07	15,68
1.00G+1.00Q	0,45		-0,03	6,78	9,71	-0,02	-0,05	16,59	9,25	-0,02	-2,65	-0,03	16,59
1.00[G+ψ2xQ]	0,45		-0,02	4,63	6,56	-0,01	-0,03	11,18	6,10	-0,01	-2,01	-0,02	11,18

Αντοχή μέλους σε λυγισμό [EC3-1-1 §6.3.1.1]

Αξονας [γ]	Κ.Λ. [γ]	a [γ]	K*a0*L [m]	λ [γ]	λ1 [γ]	λ/λ1 [γ]	x [γ]	Ncr [kN]	NbRd [kN]
z	a	0,21	4,03	44,25	86,81	0,510	0,921	3535,64	845,40
y	b	0,34	1,03	41,69	86,81	0,480	0,893	3972,30	819,36

* ==> Όπου L το μήκος για διαστασιολόγηση.

Αντοχή διατομής (Ed/Rd < 1)

$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}, m_y = \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}}, v_y = \frac{V_{yEd}}{V_{yRd}}, m_z = \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}}, v_z = \frac{V_{zEd}}{V_{zRd}}$	$m_{yN} = \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}}, m_{zN} = \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}}$
Κάμψη με Αξονική [EC3 (6.2)]:	$k\Delta = n + m_y + m_z < 1$
Κάμψη με Αξονική [EC3 (6.41)]:	$\lambda\Delta = m_{yN}^a + m_{zN}^b < 1, \lambda\Delta > n$
Διάτμηση [EC3 (6.17)]:	$v_y, v_z < 1$
Αντοχή των μελών σε λυγισμό	
$n_y = \frac{n}{X_y}, m_{yy} = \frac{k_{yy} \cdot m_y}{X_{yy}}, m_{yz} = k_{yz} \cdot m_z$	$n_z = \frac{n}{X_z}, m_{zy} = \frac{k_{zy} \cdot m_y}{X_{zy}}, m_{zz} = k_{zz} \cdot m_z$
Λυγισμός [EC3 (6.61)]:	$n_y + m_{yy} + m_{yz} < 1$
Λυγισμός [EC3 (6.62)]:	$n_z + m_{zy} + m_{zz} < 1$

Ελεγχος Ed/Rd

Φόρτ [γ]	Θέση [γ]	Κατηγορία [γ]	n	vy	vz	my	mz	kΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myy+myz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz
1.35G+1.05Q	14	1		0,04			0,10	0,01	0,09	0,05
1.35G+1.05Q	15	1		0,04			0,23	0,06	0,22	0,12
1.35G+1.05QA	14	1	0,01	0,02			0,03	0,01	0,03	0,01
1.35G+1.05QA	15	1	0,01	0,02		0,01	0,09	0,01	0,09	0,06
1.35G+1.05QB	14	1	0,01	0,03			0,09	0,01	0,08	0,05
1.35G+1.05QB	15	1	0,01	0,03			0,20	0,04	0,18	0,10

Ελεγχοι Ed/Rd

Φόρτ [/]	Θέση [/]	Κατηγορία [/]	n	vγ	vz	mγ	mz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+mγy+mγz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz
1.35G+1.05QC	14	1		0,03			0,10	0,01	0,10	0,06
1.35G+1.05QC	15	1		0,03			0,20	0,04	0,20	0,10
1.35G+1.05QD	14	1		0,03			0,02		0,02	0,01
1.35G+1.05QD	15	1		0,03		0,01	0,13	0,02	0,13	0,08
1.35G+1.05QE	14	1	0,01	0,03			0,09	0,01	0,08	0,05
1.35G+1.05QE	15	1	0,01	0,03			0,20	0,04	0,18	0,10
1.15G+1.50Q	14	1		0,06			0,12	0,02	0,11	0,06
1.15G+1.50Q	15	1		0,05			0,30	0,10	0,28	0,15
1.15G+1.50QA	14	1	0,01	0,02			0,03	0,01	0,03	0,01
1.15G+1.50QA	15	1	0,01	0,02		0,01	0,10	0,02	0,10	0,06
1.15G+1.50QB	14	1	0,01	0,04			0,12	0,02	0,11	0,07
1.15G+1.50QB	15	1	0,01	0,04			0,25	0,07	0,23	0,13
1.15G+1.50QC	14	1		0,04			0,13	0,02	0,14	0,07
1.15G+1.50QC	15	1		0,03			0,25	0,06	0,25	0,13
1.15G+1.50QD	14	1		0,04			0,02		0,02	0,01
1.15G+1.50QD	15	1		0,04		0,01	0,15	0,03	0,16	0,10
1.15G+1.50QE	14	1	0,01	0,04			0,12	0,02	0,11	0,07
1.15G+1.50QE	15	1	0,01	0,04			0,25	0,07	0,23	0,13
ΣΕ:+x	14	1		0,03		0,01	0,08	0,01	0,08	0,05
ΣΕ:+x	15	1		0,02		0,01	0,15	0,03	0,15	0,09
ΣΕ:+x	14	1		0,02		0,01	0,04	0,01	0,04	0,03
ΣΕ:+x	15	1		0,03			0,13	0,02	0,12	0,07
ΣΕ:+z	14	1		0,03			0,08	0,01	0,08	0,05
ΣΕ:+z	15	1		0,02			0,16	0,03	0,15	0,08
ΣΕ:+z	14	1		0,02		0,01	0,03	0,01	0,03	0,03
ΣΕ:+z	15	1		0,03			0,13	0,02	0,11	0,06
ΣΕ:-x	14	1		0,03		0,01	0,09	0,01	0,08	0,05
ΣΕ:-x	15	1		0,02		0,01	0,16	0,03	0,16	0,09
ΣΕ:-x	14	1		0,02		0,01	0,03	0,01	0,03	0,03
ΣΕ:-x	15	1		0,03		0,01	0,13	0,02	0,12	0,07
ΣΕ:-z	14	1		0,03		0,01	0,08	0,02	0,08	0,06
ΣΕ:-z	15	1		0,02		0,01	0,16	0,04	0,16	0,10
ΣΕ:-z	14	1		0,02		0,01	0,03	0,01	0,04	0,03
ΣΕ:-z	15	1		0,03		0,01	0,13	0,03	0,12	0,08
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	14	1		0,06			0,13	0,02	0,13	0,07
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	15	1		0,06			0,32	0,11	0,33	0,18
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	14	1		0,04			0,09	0,01	0,09	0,05
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	15	1		0,04			0,23	0,05	0,23	0,12
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	14	1		0,05			0,12	0,02	0,12	0,07
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	15	1		0,05			0,29	0,09	0,29	0,16
1.15G+1.50Q+0.75S	14	1		0,06			0,14	0,02	0,13	0,07
1.15G+1.50Q+0.75S	15	1		0,06		0,01	0,35	0,13	0,32	0,18
1.15G+1.05Q+1.50S	14	1		0,05			0,13	0,02	0,12	0,07
1.15G+1.05Q+1.50S	15	1		0,05		0,01	0,31	0,10	0,29	0,16
1.00G+1.50W[+x]	14	1	0,01				0,01	0,01	0,01	
1.00G+1.50W[+x]	15	1	0,01					0,01		
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	14	1		0,05			0,10	0,01	0,10	0,06
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	15	1		0,04			0,25	0,07	0,26	0,14
1.35G+1.05Q+0.75S	14	1		0,05			0,12	0,02	0,11	0,06
1.35G+1.05Q+0.75S	15	1		0,05			0,28	0,08	0,26	0,14
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	14	1	0,01	0,05			0,18	0,04	0,16	0,09
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	15	1	0,01	0,05			0,35	0,12	0,32	0,17
1.15G+1.05Q+1.50W[+z]+0.75S	14	1	0,01	0,03			0,17	0,03	0,15	0,09
1.15G+1.05Q+1.50W[+z]+0.75S	15	1	0,01	0,03			0,27	0,07	0,24	0,13
1.15G+1.05Q+0.90W[+z]+1.50S	14	1	0,01	0,04			0,17	0,03	0,15	0,09
1.15G+1.05Q+0.90W[+z]+1.50S	15	1	0,01	0,04			0,31	0,10	0,28	0,15
1.00G+1.50W[+z]	14	1		0,01			0,08	0,01	0,08	0,05
1.00G+1.50W[+z]	15	1		0,01			0,04	0,01	0,04	0,03
1.35G+1.05Q+0.90W[+z]+0.75S	14	1	0,01	0,04			0,15	0,03	0,14	0,08
1.35G+1.05Q+0.90W[+z]+0.75S	15	1	0,01	0,04			0,28	0,08	0,25	0,14
1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	14	1		0,05			0,14	0,02	0,14	0,07
1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	15	1		0,05			0,32	0,10	0,32	0,17
1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	14	1		0,04			0,10	0,01	0,10	0,05
1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	15	1		0,04			0,22	0,05	0,22	0,12
1.15G+1.05Q+0.90W[-x]+1.50S	14	1		0,05			0,13	0,02	0,13	0,07
1.15G+1.05Q+0.90W[-x]+1.50S	15	1		0,05			0,28	0,08	0,29	0,15
1.00G+1.50W[-x]	14	1	0,01	0,01				0,01		
1.00G+1.50W[-x]	15	1	0,01				0,01	0,01	0,01	0,01
1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S	14	1		0,04			0,11	0,01	0,11	0,06
1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S	15	1		0,04			0,25	0,06	0,25	0,13
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	14	1		0,06			0,08	0,01	0,08	0,05
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	15	1		0,06		0,01	0,27	0,08	0,25	0,14
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	14	1		0,04		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	15	1		0,04			0,14	0,02	0,13	0,07
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	14	1		0,05			0,07	0,01	0,07	0,04
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	15	1		0,05			0,24	0,06	0,22	0,12

Ελεγχος Ed/Rd

Φόρτ [k]	Θέση [m]	Κατηγορία [k]	n	v _y	v _z	m _y	m _z	κ _Δ \ λ _Δ	EC3 (6.61) n _y +m _{yy} +m _{yz}	EC3 (6.62) n _z +m _{zy} +m _{zz}
1.00G+1.50W[-z]	14	1					0,08	0,01	0,09	0,05
1.00G+1.50W[-z]	15	1					0,09	0,01	0,09	0,05
1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S	14	1		0,04			0,06	0,01	0,05	0,03
1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S	15	1		0,04			0,20	0,04	0,19	0,10

Μέγιστα ελέγχων Ed/Rd

Φόρτ [k]	Θέση [m]	Κατηγορία [k]	n	v _y	v _z	m _y	m _z	κ _Δ \ λ _Δ	EC3 (6.61) n _y +m _{yy} +m _{yz}	EC3 (6.62) n _z +m _{zy} +m _{zz}
1.15G+1.50Q+0.75S	15	1		0,06		0,01	0,35	0,13	0,32	0,18
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	15	1		0,06			0,32	0,11	0,33	0,18
1.15G+1.50Q	14	1		0,06			0,12	0,02	0,11	0,06

Ελεγχος βέλους [EC3-1-1 §7.2.1]: $w_{max} < \beta_0 \cdot L/250$, $w_3 < \beta_0 \cdot L/300$

Φόρτ [k]	w _{max} < 16 [mm]	απαιτ.αντιβέλος w _{cy} [mm]	w _{3y} < 14 [mm]	w _{maxz} [mm]	απαιτ.αντιβέλος w _{cz} [mm]	w _{3z} < 3 [mm]
G	1			0		
1.00[G+ψ2xQ]	2		1			

* ==> Όπου L το μήκος για διαστασιολόγηση.

Ελάχιστη προτεινόμενη διατομή: IPE160

Διερεύνηση εναλλακτικών διατομών - Μέγιστοι λόγοι ικανότητας Ed/Rd

Διατομή [k]	Κατηγορία [k]	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}
IPE80	1	0,28		9,99	4,46	2,56
IPE100	1	0,19		6,37	2,49	1,41
IPE120	1	0,16		2,69	1,58	0,88
IPE140	1	0,13		1,27	1,07	0,59
IPE160	1	0,10		0,65	0,76	0,42
IPE180	1	0,09		0,36	0,56	0,31
IPE200	1	0,07		0,21	0,43	0,23
IPE220	1	0,06		0,13	0,33	0,18
IPE240	1	0,05		0,08	0,25	0,14
IPE270	1	0,04		0,05	0,19	0,10
IPE300	1	0,04		0,03	0,15	0,08

Δοκός (υπολογισμοί στο χέρι)

Αντοχή διατομής σε εφελκυστική δύναμη

$$\frac{N_{ed}}{N_{RD}} \leq 1 \quad (3.1)$$

$$\text{Όπου } N_{RD} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = 33.37 \text{ cm}^2 \cdot 27.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 917.67 \text{ kN}$$

Αντοχή διατομής σε καμπτική ροπή

$$\frac{M_{ED}}{M_{c,RD}} \leq 1 \quad (3.2)$$

Όπου $M_{c,RD} = M_{pl,RD}$ για κατηγορίες διατομής 1 και 2.

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.3)$$

Άξονας z (ασθενής)

$$M_{pl,RD,z} = \frac{W_{pl,z}f_y}{\gamma_{M0}} = 58.11 \text{ cm}^3 \cdot 27.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 15.98 \text{ kNcm}$$

Άξονας y (ισχυρός)

$$M_{pl,RD,y} = \frac{W_{pl,y}f_y}{\gamma_{M0}} = 285.4 \text{ cm}^3 \cdot 27.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 78.48 \text{ kNcm}$$

Αντοχή διατομής σε τέμνουσα

$$\frac{V_{ED}}{V_{c,RD}} \leq 1 \quad (3.14)$$

$$\text{Όπου για πλαστικό σχεδιασμό } V_{c,RD} = V_{pl,RD} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

A_v είναι η επιφάνεια διάτμησης και υπολογίζεται για ελατές διατομές I και H, με φορτίο παράλληλο στον κορμό, ίση με $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$, αλλά όχι μικρότερη η $h_w t_w$.

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \\ &= 33.37 \text{ cm}^2 - 2 * (11 \text{ cm})(0.92 \text{ cm}) + (0.59 \text{ cm} + 2 * 1.2 \text{ cm})0.92 \text{ cm} \\ &= 15.88 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{c,RD} = V_{pl,RD} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 15.88 \text{ cm}^2 \left(\frac{27.5 \text{ kN}}{\sqrt{3} \text{ cm}^2} \right) = 252.14 \text{ kN}$$

Επιρροή τέμνουσας στη πλαστική ροπή αντοχής-Δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη.

Όταν η διατμητική δύναμη είναι μικρότερη από τη μισή πλαστική διατμητική αντοχή, η επίδραση της στη πλαστική ροπή αντοχής μπορεί να αγνοείται. Διαφορετικά σε όλους τους ελέγχους, η μειωμένη πλαστική ροπή αντοχής πρέπει να λαμβάνεται ως η αντοχή σχεδιασμού της διατομής, υπολογισμένη χρησιμοποιώντας μειωμένη αντοχή $(1 - \rho)f_y$ για την επιφάνεια διάτμησης, όπου

$$\rho = \left(\frac{2V_{ED}}{V_{pl,RD}} - 1 \right)^2 \quad (3.4)$$

Επιρροή τέμνουσας στη αντοχή σε αξονική δύναμη-Δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη.

Όταν η διατμητική δύναμη είναι μικρότερη από τη μισή πλαστική διατμητική αντοχή, η επίδραση της στη πλαστική ροπή αντοχής μπορεί να αγνοείται. Διαφορετικά οι αντοχές σε αξονική δύναμη θα υπολογίζονται λαμβάνοντας μειωμένη αντοχή $(1 - \rho)f_y$ για την επιφάνεια διάτμησης.

Αντοχή διατομής κατηγορίας 1 και 2 σε συνδυασμένα εντατικά μεγέθη-Δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη.

Η μειωμένη πλαστική ροπή αντοχής $M_{N,RD}$, λόγω της αξονικής δύναμης N_{ed} , υπολογίζεται ως

$$M_{N,RD} = M_{pl,RD} [1 - (N_{ED}/N_{pl,RD})^2] \quad (3.5)$$

Η επίδραση της αξονικής δύναμης περί τον ισχυρό άξονα y-y μπορεί να αγνοηθεί όταν ισχύουν τα δύο παρακάτω κριτήρια

$$N_{ED} \leq 0.25N_{pl,RD} \quad (3.6)$$

Και

$$N_{ED} \leq \frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.7)$$

Έλεγχος για τις αναπτυσσόμενες μορφές λυγισμού.Αντοχή σε λυγισμό δομικού μέλους σταθερής διατομής υπό θλίψη EC3-2-2 Παρ. 6.3.1.1.

Η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης N_{ED} σε κάθε δομικό μέλος πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω σχέση

$$N_{ED} \leq N_{b,RD}$$

Όπου $N_{b,RD}$ είναι η αντοχή του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό. Για κατηγορίες διατομής 1, 2, και 3 η $N_{b,RD}$ υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση

$$N_{b,RD} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad (3.8)$$

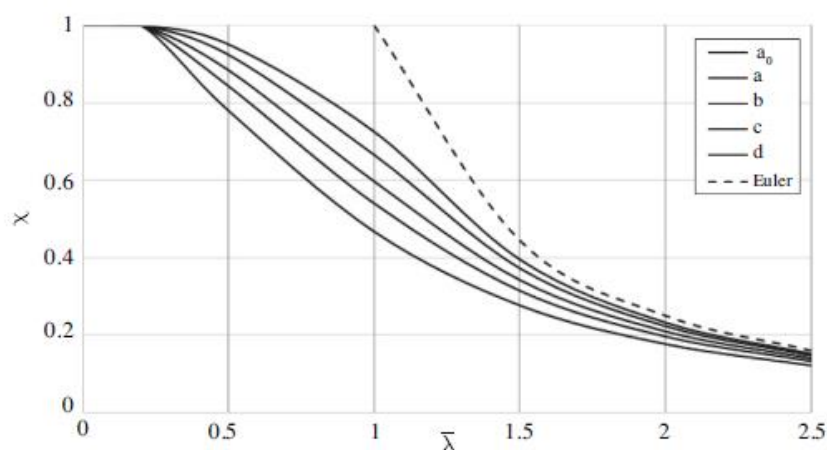
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ αλλά } \chi \leq 1. \quad (3.9)$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad (3.10)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad (3.11)$$

Ο συντελεστής ατελειών α υπολογίζεται από των παρακάτω πίνακα

Καμπύλη λυγισμού	α_0	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76



Εικόνα 13: Καμπύλες λυγισμού

N_{cr} είναι το ελαστικό κρίσιμο φορτίο για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού βασισμένο στις ιδιότητες της πλήρους διατομής.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (3.12)$$

Ι είναι η ροπή αδράνειας και l το μήκος καμπτικού λυγισμού.

Άξονας y (ασθενής)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 20000 \text{ (kN/cm}^2\text{)} 204.9 \text{ (cm}^4\text{)}}{103 \text{ cm}^2} = 3812.38 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{33.37 \text{ cm}^2 27.5 \text{ kN/cm}^2}{3812.38 \text{ kN}}} = 0.49$$

Έχουμε διατομή I θερμή ελάσεως με λυγισμό περί ασθενή άξονα με πάχος πελμάτων μικρότερο των 40 mm, συνεπώς η αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού είναι η b, με a = 0.34.

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.5[1 + 0.34(0.49 - 0.2) + 0.49^2] = 0.669$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.669 + \sqrt{0.669^2 - 0.49^2}} = 0.889$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi Af_y}{\gamma_{M1}} = 0.889 (33.37 \text{ cm}^2)(27.5 \text{ kN/cm}^2) = 815.81 \text{ kN}$$

Άξονας z (ισχυρός)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 20000 \text{ (kN/cm}^2\text{)} 2772 \text{ (cm}^4\text{)}}{403 \text{ cm}^2} = 3369.09 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{33.37 \text{ cm}^2 27.5 \text{ kN/cm}^2}{3369.09 \text{ kN}}} = 0.52$$

Έχουμε διατομή I θερμή ελάσεως με λυγισμό περί ισχυρό άξονα με πάχος πελμάτων μικρότερο των 40 mm και h/b > 1.2, συνεπώς η αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού είναι η a, με a = 0.21.

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.5[1 + 0.21(0.52 - 0.2) + 0.52^2] = 0.668$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.668 + \sqrt{0.668^2 - 0.52^2}} = 0.919$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi Af_y}{\gamma_{M1}} = 0.919 (33.37 \text{ cm}^2)(27.5 \text{ kN/cm}^2) = 843.34 \text{ kN}$$

Αντοχή σε πλαγιο-στρεπτικό λυγισμό δομικού μέλους με σταθερή διατομή υπό κάμψη-βασικές σχέσεις.

Ένα πλευρικά μη προστατευμένο δομικό μέλος που υπόκειται σε κάμψη περί τον ισχυρό κύριο κεντροβαρικό άξονα πρέπει να ελέγχεται έναντι πλαγιο-στρεπτικού λυγισμού ως εξής:

$$\frac{M_{ED}}{M_{b,RD}} \leq 1 \quad (3.13)$$

Όπου M_{ED} είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής και $M_{b,RD} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$, όπου $W_y = W_{pl}$ για διατομές κατηγορίας 1 και 2.

Υπολογισμός μειωτικού συντελεστή χ_{LT} .

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ αλλά } \chi_{LT} \leq 1.$$

Όπου $\Phi_{LT} = 0.5[1 + a_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$ και $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$.

Ο συντελεστής a_{LT} υπολογίζεται από τον παρακάτω πίνακα.

Καμπύλη λυγισμού	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών a_{LT}	0.21	0.34	0.49	0.76

Καμπύλη λυγισμού (γενική μέθοδος)

Διατομή	Όρια	Καμπύλη λυγισμού
Ελατές διατομές I	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	a b

Διαδικασία υπολογισμού M_{cr} .

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\} \quad (3.14)$$

Επειδή το φορτίο ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής το $z_a = 0$.

Ακόμα τα κέντρα βάρους και διάτμησης συμπίπτουν είναι $z_s = 0$, οπότε $z_g = z_a - z_s = 0$.

$$z_j = z_s - 0.5 \int_A \frac{(y^2 + z^2) z dA}{I_y} = 0$$

Οπότε η τελική σχέση που προκύπτει για τον υπολογισμό της M_{cr} είναι η παρακάτω.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} \right]^{0.5} \right\}$$

$k_w = 1$, συντελεστής στρέβλωσης λαμβάνεται ίσος με 1

$L = 103 \text{ cm}$ είναι το μήκος μεταξύ διαδοχικών πλευρικών στηρίξεων

$k = 1$, λόγω απλών πλευρικών στηρίξεων (τεγίδες) στα άκρα της δοκού.

$I_w = \frac{1}{4} I_z (h - t_f)^2 = \frac{1}{4} 204.9 \text{ cm}^3 (22 - 0.98)^2 = 22633.27 \text{ cm}^6$, σταθερά στρέβλωσης

$I_t = 9.07 \text{ cm}^4$, σταθερά στρέψης

Η σταθερά $C_1 = 1.132$ εξαρτάται από το είδος της ενδιάμεσης φόρτισης και υπολογίζεται από τους παρακάτω πίνακες.

Loading and support conditions	Bending moment diagram	Values of k	Values of factors		
			C_1	C_2	C_3
		1.0 0.5	1.132 0.972	0.459 0.304	0.525 0.980
		1.0 0.5	1.285 0.712	1.562 0.652	0.753 1.070
		1.0 0.5	1.365 1.070	0.553 0.432	1.730 3.050
		1.0 0.5	1.565 0.938	1.267 0.715	2.640 4.800
		1.0 0.5	1.046 1.010	0.430 0.410	1.120 1.890

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right\}^{0.5} \\
 &= 1.132 \frac{\pi^2 20000 \left(\frac{kN}{cm^2} \right) 204.9 \text{ cm}^4}{(1 * 103 \text{ cm})^2} \left\{ \left[\frac{1}{1} \right]^2 \frac{22633.27 \text{ cm}^6}{204.9 \text{ cm}^4} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{(103)^2 8077 \left(\frac{kN}{cm^2} \right) 9.07 \text{ cm}^4}{\pi^2 20000 \left(\frac{kN}{cm^2} \right) 204.9 \text{ cm}^4} \right\}^{0.5} \\
 &= 1.132 * 3812.38 \{ 110.46 + 19.21 \}^{0.5} = 49143.07 \text{ kNcm} \\
 \bar{\lambda}_{LT} &= \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{285.4 \text{ cm}^3 27.5 \text{ kN/cm}^2}{49143.07 \text{ kNcm}}} = 0.399
 \end{aligned}$$

$h/b \leq 2$, συνεπώς επιλέγεται η καμπύλη λυγισμού α με $\alpha_{LT} = 0.21$.

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0.5[1 + 0.21(0.399 - 0.2) + 0.399^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0.679$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0.679 + \sqrt{0.679^2 - 0.399^2}} = 0.814$$

$$M_{b,RD} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.814 * 285.4 \text{ cm}^3 * 27.5 \text{ kN/cm}^2}{1} = 6388.67 \text{ kNcm}$$

3.2 Υποστύλωμα – ΗΕΑ 200

Οι παρακάτω πίνακες παράγονται από το FESPA 8.1.0.22.

Ο πρώτος πίνακας έχει τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται στο υποστύλωμα από τα επιβαλλόμενα φορτία.

K10 [1,A], Όροφος 0

Γενικά δεδομένα

Κόμβοι	Αρχή: 10(-1)	Τέλος: 10(0)	Μέλος: 1	
Διατομή	HEA200			
Υλικό	Δομικός Χάλυβας : S275			
Κανονισμός	Πλαστιμότητα : ΚΠΜ		Κύριο Μέλος	
Συντελεστές	Ky=1,00	Kz=1,00	α0y=1,00	α0z=1,00
ΣΠΕΜ	[X]= 1,00	[Z]= 1,00		

Εντατικά μεγέθη

Φόρτ [T]	wy [kN/m]	wz [kN/m]	Αρχή My [kNm]	10(-1) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Τέλος My [kNm]	10(0) Mz [kNm]	Vy [kN]	Vz [kN]	Αξονική N [kN]	max My [kNm]	max Mz [kNm]
G			-3,22	-0,02		1,69	5,21	-0,01		1,69	-7,16	-3,22	-0,02
Q			-13,99	-0,03		7,24	22,23	-0,05		7,24	-21,16	-13,99	-0,05
QA			-2,82	0,02		1,42	4,26	-0,01		1,42	-2,63	-2,82	-0,01
QB			-11,17	-0,06		5,83	17,97	-0,04		5,83	-18,52	-11,17	-0,06
QC			-8,69	0,06	-0,02	4,74	15,01	-0,04	-0,02	4,74	-17,21	-8,69	-0,04
QD			-8,14	-0,06		3,92	11,48	-0,03		3,92	-6,59	-8,14	-0,06
QE			-11,16	-0,06		5,82	17,96	-0,04		5,82	-18,52	-11,16	-0,06
[G+ψ2xQ]			-11,61	-0,04		6,03	18,55	-0,04		6,03	-19,86	-11,61	-0,04
1.35G+1.05Q			-19,04	-0,06		9,88	30,37	-0,07		9,88	-31,88	-19,04	-0,07
1.35G+1.05QA			-7,31			3,76	11,50	-0,03		3,76	-12,44	-7,31	-0,03
1.35G+1.05QB			-16,07	-0,09		8,40	25,90	-0,06		8,40	-29,12	-16,07	-0,09
1.35G+1.05QC			-13,47	0,03	-0,02	7,25	22,80	-0,06	-0,02	7,25	-27,74	-13,47	-0,06
1.35G+1.05QD			-12,89	-0,09		6,40	19,09	-0,05		6,40	-16,59	-12,89	-0,09
1.35G+1.05QE			-16,06	-0,09		8,39	25,89	-0,06		8,39	-29,11	-16,06	-0,09
1.15G+1.50Q			-24,68	-0,07		12,80	39,32	-0,09		12,80	-39,95	-24,68	-0,09
1.15G+1.50QA			-7,93	0,01		4,06	12,36	-0,03		4,06	-12,17	-7,93	-0,03
1.15G+1.50QB			-20,45	-0,11		10,68	32,94	-0,08		10,68	-36,00	-20,45	-0,11
1.15G+1.50QC			-16,72	0,06	-0,03	9,04	28,50	-0,07	-0,03	9,04	-34,03	-16,72	-0,07
1.15G+1.50QD			-15,90	-0,12	0,01	7,82	23,20	-0,06	0,01	7,82	-18,10	-15,90	-0,12
1.15G+1.50QE			-20,43	-0,11		10,67	32,92	-0,08		10,67	-35,99	-20,43	-0,11
ΣΣ:+x			-5,51	-0,26	0,04	7,95	15,05	-0,04	-0,05	4,11	-18,66	-5,51	-0,05
ΣΣ:+x			-17,72	0,18	-0,05	4,11	22,05	-0,05	0,04	7,95	-21,05	-17,72	-0,26
ΣΣ:+z			-5,15	-0,25	0,04	8,05	14,89	-0,04	-0,04	4,01	-18,63	-5,15	-0,05
ΣΣ:+z			-18,07	0,17	-0,04	4,01	22,20	-0,05	0,04	8,05	-21,08	-18,07	-0,25
ΣΣ:-x			-4,73	-0,26	0,04	8,19	14,63	-0,04	-0,05	3,87	-18,60	-4,73	-0,05
ΣΣ:-x			-18,49	0,18	-0,05	3,87	22,46	-0,05	0,04	8,19	-21,12	-18,49	-0,26
ΣΣ:-z			-5,06	-0,25	0,04	8,10	14,76	-0,04	-0,05	3,97	-18,62	-5,06	-0,05
ΣΣ:-z			-18,17	0,18	-0,05	3,97	22,33	-0,05	0,04	8,10	-21,09	-18,17	-0,25
W[+x]	4,15	1,75	-4,14	-13,10	13,01	4,44	-3,89	-0,01	-7,77	-4,34	6,81	1,47	7,22
W[+z]	-3,01	-2,48	21,67	9,40	-9,41	-11,94	-7,09	0,02	5,66	0,44	-0,32	-7,09	-5,27
W[-x]	-2,20	1,62	-0,83	7,06	-6,91	2,95	-6,40	0,01	4,09	-5,18	8,03	1,82	-3,77
W[-z]	-4,07	1,47	-13,74	12,65	-12,71	6,39	-0,14	0,01	7,66	-0,96	5,79	0,15	-7,15
S			-4,77	-0,01		2,48	7,65	-0,02		2,48	-7,18	-4,77	-0,02
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	3,74	1,58	-31,98	-11,87	11,70	18,65	41,56	-0,12	-7,00	10,76	-39,21	41,56	6,40
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	6,23	2,63	-28,17	-19,72	19,50	18,06	29,22	-0,10	-11,66	4,90	-25,60	29,22	10,75
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	3,74	1,58	-29,26	-11,86	11,70	17,26	37,29	-0,10	-7,00	9,36	-35,07	37,29	6,41
1.15G+1.50Q+0.75S			-28,25	-0,08		14,66	45,06	-0,11		14,66	-45,34	-28,25	-0,11
1.15G+1.05Q+1.50S			-25,53	-0,07		13,27	40,79	-0,10		13,27	-41,20	-25,53	-0,10
1.00G+1.50W[+x]	6,23	2,63	-9,43	-19,67	19,51	8,34	-0,63	-0,03	-11,65	-4,82	3,05	3,75	10,81
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	3,74	1,58	-26,33	-11,86	11,70	15,74	32,61	-0,09	-7,00	7,84	-31,14	32,61	6,42
1.35G+1.05Q+0.75S			-22,61	-0,07		11,74	36,11	-0,09		11,74	-37,27	-22,61	-0,09
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	-2,71	-2,23	-8,75	8,38	-8,48	3,92	38,67	-0,09	5,09	15,05	-45,62	-8,75	-4,84
1.15G+1.05Q+1.50W[+z]+0.75S	-4,52	-3,71	10,55	14,03	-14,12	-6,51	24,41	-0,05	8,49	12,06	-36,29	4,96	-7,98
1.15G+1.05Q+0.90W[+z]+1.50S	-2,71	-2,23	-6,03	8,38	-8,47	2,52	34,41	-0,08	5,09	13,66	-41,49	-6,03	-4,83
1.00G+1.50W[+z]	-4,52	-3,71	29,29	14,08	-14,12	-16,23	-5,43	0,02	8,49	2,34	-7,64	-6,14	-7,92
1.35G+1.05Q+0.90W[+z]+0.75S	-2,71	-2,23	-3,11	8,39	-8,47	1,00	29,72	-0,07	5,09	12,14	-37,55	-3,11	-4,82
1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	-1,98	1,46	-29,00	6,27	-6,22	17,31	39,30	-0,10	3,68	10,00	-38,11	39,30	-3,49
1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	-3,30	2,44	-23,20	10,52	-10,36	15,82	25,46	-0,06	6,13	3,64	-23,77	25,46	-5,73
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	-1,98	1,46	-26,28	6,28	-6,22	15,92	35,03	-0,08	3,68	8,61	-33,97	35,03	-3,48
1.00G+1.50W[-x]	-3,30	2,44	-4,46	10,56	-10,36	6,11	-4,39	0,01	6,14	-6,08	4,89	3,19	-5,67
1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S	-1,98	1,46	-23,35	6,28	-6,22	14,40	30,35	-0,07	3,68	7,09	-30,04	30,35	-3,47
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	-3,67	1,32	-40,62	11,30	-11,44	20,42	44,93	-0,09	6,89	13,80	-40,13	44,93	-6,53
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	-6,11	2,20	-42,56	18,91	-19,07	20,99	34,84	-0,06	11,48	9,97	-27,14	34,84	-10,80
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	-3,67	1,32	-37,90	11,31	-11,44	19,02	40,66	-0,08	6,89	12,41	-35,99	40,66	-6,52
1.00G+1.50W[-z]	-6,11	2,20	-23,82	18,95	-19,06	11,27	4,99	0,01	11,49	0,25	1,52	4,99	-10,74
1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S	-3,67	1,32	-34,97	11,31	-11,44	17,50	35,98	-0,07	6,89	10,88	-32,06	35,98	-6,52
1.00G+1.00Q			-17,21	-0,05		8,93	27,44	-0,07		8,93	-28,32	-17,21	-0,07
1.00[G+ψ2xQ]			-11,61	-0,04		6,03	18,55	-0,04		6,03	-19,86	-11,61	-0,04

Αντοχή μέλους σε λυγισμό [EC3-1-1 §6.3.1.1]

Άξονας [J]	Κ.Λ. [J]	a [J]	K*a0*L [m]	λ [J]	λ1 [J]	λ/λ1 [J]	x [J]	Ncr [kN]	NBRd [kN]
y	b	0,34	5,00	60,39	86,81	0,696	0,786	3060,84	1163,83
z	c	0,49	5,00	100,40	86,81	1,157	0,455	1107,61	673,62

* ==> Όπου L το μήκος για διαστασιολόγηση.

Αντοχή διατομής (Ed/Rd < 1)	
$n = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}, m_y = \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}}, v_y = \frac{V_{yEd}}{V_{yRd}}, m_z = \frac{M_{zEd}}{M_{zRd}}, v_z = \frac{V_{zEd}}{V_{zRd}}$	$m_{yN} = \frac{M_{yEd}}{M_{yNRd}}, m_{zN} = \frac{M_{zEd}}{M_{zNRd}}$
Κάμψη με Αξονική [EC3 (6.2)]:	$\kappa\Delta = n + m_y + m_z < 1$
Κάμψη με Αξονική [EC3 (6.41)]:	$\lambda\Delta = m_{yN}^\alpha + m_{zN}^\beta < 1, \lambda\Delta > n$
Διάτμηση [EC3 (6.17)]:	$v_y, v_z < 1$
Αντοχή των μελών σε λυγισμό	
$n_y = \frac{n}{X_y}, m_{yy} = \frac{k_{yy} \cdot m_y}{X_{i,T}}, m_{yz} = k_{yz} \cdot m_z$	$n_z = \frac{n}{X_z}, m_{zy} = \frac{k_{zy} \cdot m_y}{X_{i,T}}, m_{zz} = k_{zz} \cdot m_z$
Λυγισμός [EC3 (6.61)]:	$n_y + m_{yy} + m_{yz} < 1$
Λυγισμός [EC3 (6.62)]:	$n_z + m_{zy} + m_{zz} < 1$

Ελεγχοι Ed/Rd - Υπεραντοχή: 1,1γονΩn = 3,66

Φόρτ [J]	Θέση [J]	Κατηγορία [J]	n	vy	vz	my	mz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myy+myz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz
1.35G+1.05Q	10(-1)	1	0,02		0,03	0,16		0,03	0,15	0,11
1.35G+1.05Q	10(0)	1	0,02		0,03	0,26		0,07	0,24	0,15
1.35G+1.05QA	10(-1)	1	0,01		0,01	0,06		0,01	0,06	0,04
1.35G+1.05QA	10(0)	1	0,01		0,01	0,10		0,01	0,09	0,06
1.35G+1.05QB	10(-1)	1	0,02		0,03	0,14		0,02	0,13	0,10
1.35G+1.05QB	10(0)	1	0,02		0,03	0,22		0,05	0,20	0,13
1.35G+1.05QC	10(-1)	1	0,02		0,03	0,11		0,02	0,11	0,09
1.35G+1.05QC	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,18	0,12
1.35G+1.05QD	10(-1)	1	0,01		0,02	0,11		0,01	0,10	0,07
1.35G+1.05QD	10(0)	1	0,01		0,02	0,16		0,03	0,15	0,09
1.35G+1.05QE	10(-1)	1	0,02		0,03	0,14		0,02	0,13	0,10
1.35G+1.05QE	10(0)	1	0,02		0,03	0,22		0,05	0,20	0,13
1.15G+1.50Q	10(-1)	1	0,03		0,04	0,21		0,04	0,20	0,15
1.15G+1.50Q	10(0)	1	0,03		0,04	0,33		0,11	0,31	0,20
1.15G+1.50QA	10(-1)	1	0,01		0,01	0,07		0,01	0,06	0,05
1.15G+1.50QA	10(0)	1	0,01		0,01	0,10		0,01	0,09	0,06
1.15G+1.50QB	10(-1)	1	0,03		0,04	0,17		0,03	0,17	0,13
1.15G+1.50QB	10(0)	1	0,02		0,04	0,28		0,08	0,26	0,17
1.15G+1.50QC	10(-1)	1	0,02		0,03	0,14		0,02	0,14	0,11
1.15G+1.50QC	10(0)	1	0,02		0,03	0,24		0,06	0,22	0,15
1.15G+1.50QD	10(-1)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,09
1.15G+1.50QD	10(0)	1	0,01		0,03	0,20		0,04	0,18	0,11
1.15G+1.50QE	10(-1)	1	0,03		0,04	0,17		0,03	0,17	0,13
1.15G+1.50QE	10(0)	1	0,02		0,04	0,28		0,08	0,26	0,17
ΣΣ:+x	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,13	0,10
ΣΣ:+x	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,11	0,07
ΣΣ:+x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,05		0,01	0,05	0,05
ΣΣ:+x	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,18	0,12
ΣΣ:+x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,05		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:+x	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:+x	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,14	0,10
ΣΣ:+x	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,17	0,11
ΣΣ:+x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,09		0,01	0,09	0,07
ΣΣ:+x	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:+x	10(-1)	1	0,02		0,03	0,11		0,02	0,10	0,08
ΣΣ:+x	10(0)	1	0,02		0,03	0,18		0,03	0,17	0,11
ΣΣ:+z	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,14	0,10
ΣΣ:+z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,11	0,07
ΣΣ:+z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:+z	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,18	0,12
ΣΣ:+z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:+z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:+z	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,14	0,10
ΣΣ:+z	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,17	0,11
ΣΣ:+z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,10		0,01	0,09	0,07
ΣΣ:+z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:+z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,10		0,01	0,10	0,07
ΣΣ:+z	10(0)	1	0,02		0,03	0,18		0,03	0,17	0,11
ΣΣ:-x	10(-1)	1	0,02		0,03	0,16		0,03	0,14	0,10
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,01		0,03	0,12		0,02	0,11	0,07
ΣΣ:-x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,18	0,12
ΣΣ:-x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,04	0,04
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,01		0,03	0,12		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:-x	10(-1)	1	0,02		0,03	0,16		0,03	0,14	0,10
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,17	0,11
ΣΣ:-x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,11		0,02	0,10	0,08

Ελεγχος Ed/Rd - Υπεραντοχή: $1,1\gamma_{\Omega n} = 3,66$

Φόρτ [J]	Θέση [J]	Κατηγορία [J]	n	vy	vz	my	mz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+my+mz	EC3 (6.62) nz+mz+mzz
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:-x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,09		0,01	0,09	0,07
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,02		0,03	0,18		0,03	0,17	0,11
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,14	0,10
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,11	0,07
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,18	0,12
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,14	0,10
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,17	0,11
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,10		0,01	0,09	0,07
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,10		0,01	0,10	0,07
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,02		0,03	0,18		0,03	0,17	0,11
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	0	1	0,03			0,35	0,11	0,24	0,40	0,31
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	10(-1)	1	0,03	0,02	0,06	0,27	0,21	0,29	0,39	0,36
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	10(0)	1	0,03	0,01	0,04	0,35		0,13	0,32	0,21
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	0	1	0,02			0,25	0,19	0,25	0,34	0,31
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,03	0,06	0,24	0,35	0,41	0,44	0,45
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,02	0,02	0,25		0,06	0,22	0,14
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	0	1	0,02			0,32	0,11	0,21	0,36	0,29
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	10(-1)	1	0,02	0,02	0,06	0,25	0,21	0,27	0,36	0,34
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	10(0)	1	0,02	0,01	0,03	0,32		0,10	0,29	0,18
1.15G+1.50Q+0.75S	10(-1)	1	0,03		0,05	0,24		0,06	0,23	0,17
1.15G+1.50Q+0.75S	10(0)	1	0,03		0,05	0,38		0,15	0,36	0,23
1.15G+1.05Q+1.50S	10(-1)	1	0,03		0,05	0,22		0,05	0,21	0,15
1.15G+1.05Q+1.50S	10(0)	1	0,03		0,05	0,35		0,12	0,32	0,21
1.00G+1.50W[+x]	0	1				0,03	0,19	0,19	0,14	0,17
1.00G+1.50W[+x]	10(-1)	1		0,03	0,03	0,08	0,35	0,36	0,28	0,33
1.00G+1.50W[+x]	10(0)	1		0,02	0,02	0,01			0,01	
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	0	1	0,02			0,28	0,11	0,19	0,32	0,26
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,02	0,05	0,22	0,21	0,26	0,34	0,32
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,01	0,03	0,28		0,08	0,25	0,16
1.35G+1.05Q+0.75S	10(-1)	1	0,03		0,04	0,19		0,04	0,18	0,14
1.35G+1.05Q+0.75S	10(0)	1	0,02		0,04	0,31		0,09	0,28	0,18
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	0	1	0,03			0,07	0,09	0,09	0,15	0,17
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	10(-1)	1	0,03	0,01	0,01	0,07	0,15	0,15	0,18	0,22
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	10(0)	1	0,03	0,01	0,05	0,33		0,11	0,32	0,21
1.15G+1.05Q+1.50W[+z]+0.75S	0	1	0,02			0,04	0,14	0,14	0,15	0,19

Ελεγχος Ed/Rd - Υπεραντοχή: $1,1\gamma_{\Omega n} = 3,66$

Φόρτ [J]	Θέση [J]	Κατηγορία [J]	n	vy	vz	my	mz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+my+mz	EC3 (6.62) nz+mz+mzz
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:-x	10(-1)	1	0,01		0,03	0,09		0,01	0,09	0,07
ΣΣ:-x	10(0)	1	0,02		0,03	0,18		0,03	0,17	0,11
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,14	0,10
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,11	0,07
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,18	0,12
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,04		0,01	0,05	0,04
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,02		0,03	0,15		0,02	0,14	0,10
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,02		0,03	0,19		0,04	0,17	0,11
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,10		0,01	0,09	0,07
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,01		0,03	0,13		0,02	0,12	0,08
ΣΣ:-z	10(-1)	1	0,01		0,03	0,10		0,01	0,10	0,07
ΣΣ:-z	10(0)	1	0,02		0,03	0,18		0,03	0,17	0,11
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	0	1	0,03			0,35	0,11	0,24	0,40	0,31
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	10(-1)	1	0,03	0,02	0,06	0,27	0,21	0,29	0,39	0,36
1.15G+1.50Q+0.90W[+x]+0.75S	10(0)	1	0,03	0,01	0,04	0,35		0,13	0,32	0,21
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	0	1	0,02			0,25	0,19	0,25	0,34	0,31
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,03	0,06	0,24	0,35	0,41	0,44	0,45
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,02	0,02	0,25		0,06	0,22	0,14
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	0	1	0,02			0,32	0,11	0,21	0,36	0,29
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	10(-1)	1	0,02	0,02	0,06	0,25	0,21	0,27	0,36	0,34
1.15G+1.05Q+0.90W[+x]+1.50S	10(0)	1	0,02	0,01	0,03	0,32		0,10	0,29	0,18
1.15G+1.50Q+0.75S	10(-1)	1	0,03		0,05	0,24		0,06	0,23	0,17
1.15G+1.50Q+0.75S	10(0)	1	0,03		0,05	0,38		0,15	0,36	0,23
1.15G+1.05Q+1.50S	10(-1)	1	0,03		0,05	0,22		0,05	0,21	0,15
1.15G+1.05Q+1.50S	10(0)	1	0,03		0,05	0,35		0,12	0,32	0,21
1.00G+1.50W[+x]	0	1				0,03	0,19	0,19	0,14	0,17
1.00G+1.50W[+x]	10(-1)	1		0,03	0,03	0,08	0,35	0,36	0,28	0,33
1.00G+1.50W[+x]	10(0)	1		0,02	0,02	0,01			0,01	
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	0	1	0,02			0,28	0,11	0,19	0,32	0,26
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,02	0,05	0,22	0,21	0,26	0,34	0,32
1.35G+1.05Q+0.90W[+x]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,01	0,03	0,28		0,08	0,25	0,16
1.35G+1.05Q+0.75S	10(-1)	1	0,03		0,04	0,19		0,04	0,18	0,14
1.35G+1.05Q+0.75S	10(0)	1	0,02		0,04	0,31		0,09	0,28	0,18
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	0	1	0,03			0,07	0,09	0,09	0,15	0,17
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	10(-1)	1	0,03	0,01	0,01	0,07	0,15	0,15	0,18	0,22
1.15G+1.50Q+0.90W[+z]+0.75S	10(0)	1	0,03	0,01	0,05	0,33		0,11	0,32	0,21
1.15G+1.05Q+1.50W[+z]+0.75S	0	1	0,02			0,04	0,14	0,14	0,15	0,19

1.35G+1.05Q+0.90W[+z]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,01	0,04	0,25		0,06		0,25	0,17
1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	0	1	0,03			0,33	0,06			0,17	0,35
1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	10(-1)	1	0,03	0,01	0,06	0,25	0,11	0,17		0,30	0,26
1.15G+1.50Q+0.90W[-x]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,01	0,03	0,33		0,11		0,30	0,20
1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	0	1	0,02			0,22	0,10	0,15		0,25	0,21
1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,02	0,06	0,20	0,19	0,23		0,29	0,28
1.15G+1.05Q+1.50W[-x]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,01	0,01	0,22		0,05		0,19	0,12
1.15G+1.05Q+0.90W[-x]+1.50S	0	1	0,02			0,30	0,06	0,15		0,31	0,23
1.15G+1.05Q+0.90W[-x]+1.50S	10(-1)	1	0,02	0,01	0,06	0,22	0,11	0,16		0,28	0,24
1.15G+1.05Q+0.90W[-x]+1.50S	10(0)	1	0,02	0,01	0,03	0,30		0,09		0,27	0,17
1.00G+1.50W[-x]	0	1				0,03	0,10	0,10		0,09	0,10
1.00G+1.50W[-x]	10(-1)	1		0,02	0,02	0,04	0,19	0,19		0,15	0,17
1.00G+1.50W[-x]	10(0)	1		0,01	0,02	0,04				0,04	0,02
1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S	0	1	0,02			0,26	0,06	0,13		0,27	0,21
1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,01	0,05	0,20	0,11	0,15		0,25	0,22
1.35G+1.05Q+0.90W[-x]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,01	0,02	0,26		0,07		0,23	0,15
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	0	1	0,03			0,38	0,12	0,26		0,42	0,33
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	10(-1)	1	0,03	0,02	0,07	0,34	0,20	0,32		0,45	0,39
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	10(0)	1	0,03	0,01	0,05	0,38		0,15		0,34	0,22
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	0	1	0,02			0,29	0,19	0,28		0,39	0,34
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,03	0,07	0,36	0,34	0,47		0,56	0,51
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,02	0,03	0,29		0,09		0,26	0,16
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	0	1	0,02			0,34	0,12	0,23		0,39	0,30
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	10(-1)	1	0,03	0,02	0,07	0,32	0,20	0,30		0,42	0,37
1.15G+1.05Q+0.90W[-z]+1.50S	10(0)	1	0,02	0,01	0,04	0,34		0,12		0,31	0,19
1.00G+1.50W[-z]	0	1				0,04	0,19	0,19		0,15	0,18

Ελεγχοι Ed/Rd - Υπεραντοχή: 1,1γινΩη = 3,66

Φόρτ [kN]	Θέση [m]	Κατηγορία	n	vy	vz	my	mz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myg+myz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz
1.00G+1.50W[-z]	10(-1)	1		0,03	0,04	0,20	0,34	0,38	0,41	0,40
1.00G+1.50W[-z]	10(0)	1		0,02		0,04			0,04	0,02
1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S	0	1	0,02			0,30	0,12	0,21	0,35	0,28
1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,02	0,06	0,30	0,20	0,29	0,40	0,35
1.35G+1.05Q+0.90W[-z]+0.75S	10(0)	1	0,02	0,01	0,04	0,30		0,09	0,27	0,17

Μέγιστα ελέγχων Ed/Rd - Υπεραντοχή: 1,1γινΩη = 3,66

Φόρτ [kN]	Θέση [m]	Κατηγορία	n	vy	vz	my	mz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myg+myz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz
1.15G+1.05Q+1.50W[-z]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,03	0,07	0,36	0,34	0,47	0,56	0,51
1.15G+1.05Q+1.50W[+x]+0.75S	10(-1)	1	0,02	0,03	0,06	0,24	0,35	0,41	0,44	0,45
1.15G+1.50Q+0.90W[-z]+0.75S	10(-1)	1	0,03	0,02	0,07	0,34	0,20	0,32	0,45	0,39

Ελάχιστη προτεινόμενη διατομή: HEA180

Διερεύνηση εναλλακτικών διατομών - Μέγιστοι λόγοι ικανότητας Ed/Rd

Διατομή [mm]	Κατηγορία	vy	vz	κΔ \ λΔ	EC3 (6.61) ny+myg+myz	EC3 (6.62) nz+mzy+mzz
HEA100	1	0,08	0,17	5,15	4,22	2,98
HEA120	1	0,06	0,16	2,85	2,77	1,96
HEA140	1	0,05	0,13	1,61	1,71	1,30
HEA160	1	0,04	0,10	0,98	1,09	0,91
HEA180	1	0,04	0,09	0,67	0,78	0,68
HEA200	1	0,03	0,07	0,47	0,56	0,51
HEA220	1	0,03	0,06	0,33	0,41	0,38
HEA240	1	0,02	0,05	0,24	0,30	0,29
HEA260	1	0,02	0,05	0,19	0,24	0,24

Υποστύλωμα (υπολογισμοί στο χέρι)

Αντοχή διατομής σε εφελκυστική/θλιπτική δύναμη

$$\frac{N_{ed}}{N_{RD}} \leq 1$$

$$\text{Όπου } N_{RD} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{53.83 \text{ cm}^2 27.5 \text{ kN/cm}^2}{1} = 1480.32 \text{ kN}$$

Αντοχή διατομής σε καμπτική ροπή

$$\frac{M_{ED}}{M_{c,RD}} \leq 1$$

Όπου $M_{c,RD} = M_{pl,RD}$ για κατηγορίες διατομής 1 και 2.

Άξονας z (ασθενής)

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = 203.8 \text{ cm}^3 27.5 \text{ kN/cm}^2 = 56.04 \text{ kNm}$$

Άξονας y (ισχυρός)

$$M_{pl,RD} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = 429.5 \text{ cm}^3 27.5 \text{ kN/cm}^2 = 118.11 \text{ kNm}$$

Αντοχή διατομής σε τέμνουσα

$$\frac{V_{ED}}{V_{c,RD}} \leq 1$$

$$\text{Όπου για πλαστικό σχεδιασμό } V_{c,RD} = V_{pl,RD} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

A_v είναι η επιφάνεια διάτμησης και υπολογίζεται για ελατές διατομές I και H, με φορτίο παράλληλο στον κορμό, ίση με $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$, αλλά όχι μικρότερη η $h_w t_w$.

$$A_{vz} = 18.08 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,RD} = V_{pl,RD} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 18.80 \text{ cm}^2 (27.5 \text{ (kN/cm}^2) / \sqrt{3}) = 298.49 \text{ kN}$$

Επιρροή τέμνουσας στη πλαστική ροπή αντοχής-Δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη.

Όταν η διατμητική δύναμη είναι μικρότερη από τη μισή πλαστική διατμητική αντοχή, η επίδραση της στη πλαστική ροπή αντοχής μπορεί να αγνοείται. Διαφορετικά σε όλους τους ελέγχους, η μειωμένη πλαστική ροπή αντοχής πρέπει να λαμβάνεται ως η αντοχή

σχεδιασμού της διατομής, υπολογισμένη χρησιμοποιώντας μειωμένη αντοχή $(1 - \rho)f_y$ για την επιφάνεια διάτμησης, όπου

$$\rho = \left(\frac{2V_{ED}}{V_{pl,RD}} - 1 \right)^2$$

Επιρροή τέμνουσας στη αντοχή σε αξονική δύναμη-Δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη.

Όταν η διατμητική δύναμη είναι μικρότερη από τη μισή πλαστική διατμητική αντοχή, η επίδραση της στη πλαστική ροπή αντοχής μπορεί να αγνοείται. Διαφορετικά οι αντοχές σε αξονική δύναμη θα υπολογίζονται λαμβάνοντας μειωμένη αντοχή $(1 - \rho)f_y$ για την επιφάνεια διάτμησης.

Αντοχή διατομής κατηγορίας 1 και 2 σε συνδυασμένα εντατικά μεγέθη-Δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη.

Η μειωμένη πλαστική ροπή αντοχής $M_{N,RD}$, λόγω της αξονικής δύναμης N_{ed} , υπολογίζεται ως

$$M_{N,RD} = M_{pl,RD} [1 - (N_{ED}/N_{pl,RD})^2]$$

Η επίδραση της αξονικής δύναμης περί τον ισχυρό άξονα y-y μπορεί να αγνοηθεί όταν ισχύουν τα δύο παρακάτω κριτήρια

$$N_{ED} \leq 0.25N_{pl,RD}$$

Και

$$N_{ED} \leq \frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

Για διατομές κατηγορίας 1 και 2 και μόνο-αξονική κάμψη ή διαξονική κάμψη μπορεί χρησιμοποιείται το παρακάτω κριτήριο:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,RD}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,RD}} \right]^\beta \leq 1$$

Στο οποίο α και β είναι σταθερές, που συντηρητικά μπορούν να λαμβάνονται ως μονάδα.

Έλεγχος για τις αναπτυσσόμενες μορφές λυγισμού.Αντοχή σε λυγισμό δομικού μέλους σταθερής διατομής υπό θλίψη

Η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης N_{ED} σε κάθε δομικό μέλος πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω σχέση

$$N_{ED} \leq N_{b,RD}$$

Όπου $N_{b,RD}$ είναι η αντοχή του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό. Για κατηγορίες διατομής 1, 2, και 3 η $N_{b,RD}$ υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση

$$N_{b,RD} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

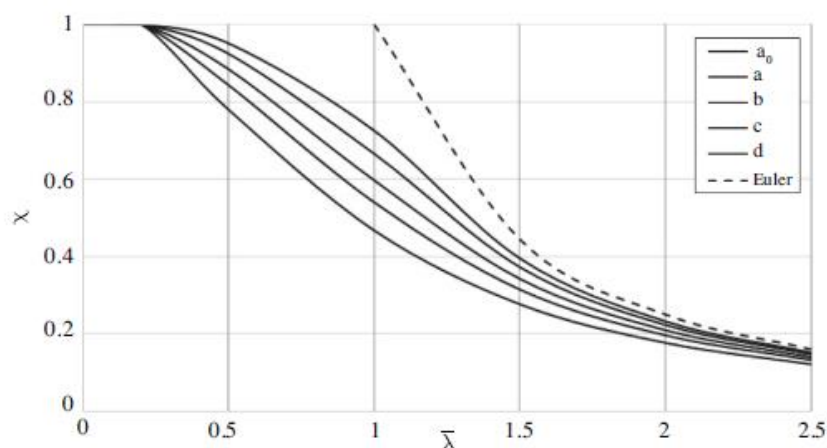
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ αλλά } \chi \leq 1.$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

Ο συντελεστής ατελειών α υπολογίζεται από των παρακάτω πίνακα

Καμπύλη λυγισμού	α_0	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76



Εικόνα 14: Καμπύλες λυγισμού

N_{cr} είναι το ελαστικό κρίσιμο φορτίο για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού βασισμένο στις ιδιότητες της πλήρους διατομής.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$$

I είναι η ροπή αδράνειας και l το μήκος καμπτικού λυγισμού.

Άξονας z (ασθενής)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 20000 \text{ (kN/cm}^2\text{)} 1336 \text{ (cm}^4\text{)}}{500 \text{ cm}^2} = 1054.86 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{53.83 \text{ cm}^2 27.5 \text{ kN/cm}^2}{1054.86 \text{ kN}}} = 1.18$$

Έχουμε διατομή I θερμή ελάσεως με λυγισμό περί ασθενή άξονα με h/b < 1.2 και πάχος πελμάτων μικρότερο των 100 mm, συνεπώς η αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού είναι η c, με a = 0.49.

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.5[1 + 0.49(1.18 - 0.2) + 1.18^2] = 1.43$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1.43 + \sqrt{1.43^2 - 1.18^2}} = 0.44$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi Af_y}{\gamma_{M1}} = 0.44(53.83 \text{ cm}^2)(27.5 \text{ kN/cm}^2) = 651.34 \text{ kN}$$

Άξονας y (ισχυρός)

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 20000 \text{ (kN/cm}^2\text{)} 3692 \text{ (cm}^4\text{)}}{500 \text{ cm}^2} = 2915.08 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{53.83 \text{ cm}^2 27.5 \text{ kN/cm}^2}{2915.08 \text{ kN}}} = 0.71$$

Έχουμε διατομή I θερμή ελάσεως με λυγισμό περί ισχυρό άξονα με πάχος πελμάτων μικρότερο των 100 mm και h/b < 1.2, συνεπώς η αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού είναι η b, με a = 0.34.

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.5[1 + 0.34(0.71 - 0.2) + 0.71^2] = 0.83$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.83 + \sqrt{0.83^2 - 0.71^2}} = 0.79$$

$$N_{b,RD} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = 0.79 (53.83 \text{ cm}^2)(27.5 \text{ kN/cm}^2) = 1169.45 \text{ kN}$$

Αντοχή σε πλαγιο-στρεπτικό λυγισμό δομικού μέλους με σταθερή διατομή υπό κάμψη-βασικές σχέσεις.

Ένα πλευρικά μη προστατευμένο δομικό μέλος που υπόκειται σε κάμψη περί τον ισχυρό κύριο κεντροβαρικό άξονα πρέπει να ελέγχεται έναντι πλαγιο-στρεπτικού λυγισμού ως εξής:

$$\frac{M_{ED}}{M_{b,RD}} \leq 1$$

Όπου M_{ED} είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής και $M_{b,RD} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$, όπου $W_y = W_{pl}$ για διατομές κατηγορίας 1 και 2.

Υπολογισμός μειωτικού συντελεστή χ_{LT} .

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ αλλά } \chi_{LT} \leq 1.$$

Όπου $\Phi_{LT} = 0.5[1 + a_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$ και $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$.

Ο συντελεστής a_{LT} υπολογίζεται από τον παρακάτω πίνακα.

Καμπύλη λυγισμού	a	b	c	d
Συντελεστής ατελειών a_{LT}	0.21	0.34	0.49	0.76

Καμπύλη λυγισμού (γενική μέθοδος)

Διατομή	Όρια	Καμπύλη λυγισμού
Ελατές διατομές I	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b

Διαδικασία υπολογισμού M_{cr} .

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

Επειδή το φορτίο ασκείται στο κέντρο βάρους της διατομής το $z_a = 0$.

Ακόμα τα κέντρα βάρους και διάτμησης συμπίπτουν είναι $z_s = 0$, οπότε $z_g = z_a - z_s = 0$.

$$z_j = z_s - 0.5 \int_A \frac{(y^2 + z^2) z dA}{I_y} = 0$$

Οπότε η τελική σχέση που προκύπτει για τον υπολογισμό της M_{cr} είναι η παρακάτω.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right\}^{0.5}$$

$k_w = 1$, συντελεστής στρέβλωσης λαμβάνεται ίσος με 1

$L = 500 \text{ cm}$ είναι το μήκος μεταξύ διαδοχικών πλευρικών στηρίξεων

$k = 1$, λόγω απλών πλευρικών στηρίξεων (τεγίδες) στα άκρα της δοκού.

$$I_w = \frac{1}{4} I_z (h - t_f)^2 = \frac{1}{4} 1336 \text{ cm}^3 (19 - 1)^2 = 108216 \text{ cm}^6, \text{ σταθερά στρέβλωσης}$$

$$I_t = 20.98 \text{ cm}^4, \text{ σταθερά στρέψης}$$

Η σταθερά $C_1 = 1.132$ εξαρτάται από το είδος της ενδιάμεσης φόρτισης και υπολογίζεται από τους παρακάτω πίνακες.

Loading and support conditions	Bending moment diagram	Values of k	Values of factors		
			C_1	C_2	C_3
		1.0 0.5	1,132 0,972	0,459 0,304	0,525 0,980
		1,0 0,5	1,285 0,712	1,562 0,652	0,753 1,070
		1,0 0,5	1,365 1,070	0,553 0,432	1,730 3,050
		1,0 0,5	1,565 0,938	1,267 0,715	2,640 4,800
		1,0 0,5	1,046 1,010	0,430 0,410	1,120 1,890

Z

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right\}^{0.5}$$

$$= 1.132 \frac{\pi^2 20000 \left(\frac{kN}{cm^2} \right) 1336 cm^4}{(1 * 500 cm)^2} \left\{ \left[\frac{1}{1} \right]^2 \frac{108216 cm^6}{1336 cm^4} + \frac{(500)^2 8077 \left(\frac{kN}{cm^2} \right) 20.98 cm^4}{\pi^2 20000 \left(\frac{kN}{cm^2} \right) 1336 cm^4} \right\}^{0.5}$$

$$= 1.132 * 1054.86\{81 + 160.64\}^{0.5} = 18562.12 \text{ kNcm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429.5 \text{ cm}^3 27.5 \text{ kN/cm}^2}{18562.12 \text{ kNcm}}} = 0.79$$

$h/b \leq 2$, συνεπώς επιλέγεται η καμπύλη λυγισμού α με $\alpha_{LT} = 0.21$.

$$\Phi_{LT} = 0.5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0.5[1 + 0.21(0.79 - 0.2) + 0.79^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0.87$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0.87 + \sqrt{0.87^2 - 0.79^2}} = 0.81$$

$$M_{b,RD} = \frac{\chi_{LT}W_yf_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.814 * 429.5 \text{ cm}^3 * 27.5 \text{ kN/cm}^2}{1} = 9567.11 \text{ kNcm}$$

4. Έλεγχος Βελών

4.1 Γενικά

Πέραν των ελέγχων στην οριακή κατάσταση αστοχίας, βασική είναι και η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, η οποία ασχολείται με την επιβεβαίωση, ότι οι μετατοπίσεις (μετακινήσεις και στροφές) της κατασκευής δεν είναι υπερβολικές κάτω από κανονικές συνθήκες χρήσης. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί επίσης να είναι αναγκαίο να εξασφαλίζεται ότι η κατασκευή δεν υπόκειται σε υπερβολικές ταλαντώσεις. Περιπτώσεις όπου αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό, περιλαμβάνουν κατασκευές εκτεθειμένες σε σημαντικά δυναμικά φορτία ή περιέχουν ευαίσθητο εξοπλισμό. Τόσο οι μετατοπίσεις όσο και οι ταλαντώσεις σχετίζονται περισσότερο με την δυσκαμψία παρά με την αντοχή του φορέα. Επειδή οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας αναφέρονται στην συμπεριφορά του φορέα υπό συνθήκες φορτίσεων λειτουργίας, ο έλεγχος γίνεται με τους αντίστοιχους συνδυασμούς φορτίων και με βάση την ελαστική ανάλυση, ανεξάρτητα από την ανάλυση που έχει χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

Οι υπερβολικές μετατοπίσεις μπορεί να προκαλέσουν ένα πλήθος ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων. Μεταξύ αυτών αναφέρονται οι ζημιές στα τελειώματα και τα υλικά πλήρωσης (χωρίσματα) της κατασκευής, οι συσσωρεύσεις νερού σε επίπεδες στέγες, η δυσχέρεια στην λειτουργία των γερανογεφυρών, η οπτική ενόχληση στους χρήστες και σε εξαιρετικές περιπτώσεις οι αλλαγές στην στατική συμπεριφορά του φορέα, που μπορεί να είναι αρκετή για να προκαλέσει αστοχίες.

4.2 Έλεγχος Βελών

Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει προσδιορισμό βελών και σύγκρισή τους με τα επιτρεπόμενα όρια, τα οποία εξαρτώνται από το είδος των φερόντων και μη φερόντων στοιχείων. Για παράδειγμα, τα όρια βελών για στέγες δεν είναι τόσο αυστηρά όσο για τα δάπεδα. Το συνολικό βέλος δ_{max} αποτελείται από επιμέρους συνιστώσες:

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \quad (4.1)$$

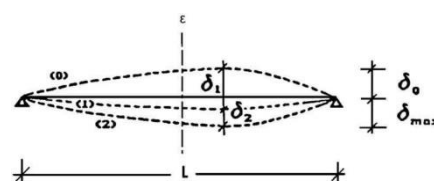
όπου

δ_1 βέλος λόγω μόνιμων δράσεων

δ_2 βέλος λόγω μεταβλητών δράσεων

δ_0 το αρχικό αντιβέλος (αν υπάρχει) της δοκού στην αφόρτιστη κατάσταση

Ο έλεγχος των βελών περιλαμβάνει τόσο δ_{max} , όσο και το δ_2 , με τα πιο αυστηρά όρια να εφαρμόζονται στο δεύτερο εξ αυτών.



Εικόνα 15: Επιτρεπόμενα βέλη.

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα για τα όρια των κατακόρυφων βελών ισχύουν οι τιμές του παρακάτω πίνακα 5.1.

Πίνακας 4.1: Μέγιστες αποδεκτές τιμές βελών κάμψης.

Φορέας	δ_{max}	δ_2
Μη βατές στέγες	$L/200$	$L/250$
Πατώματα και βατές στέγες	$L/200$	$L/300$

Η στέγη του υπό μελέτη κτιρίου ανήκει στην κατηγορία των μη βατών στεγών άρα για τα ζυγώματα θα έχουμε:

- Μη βατές στέγες $\delta_{max} = \frac{L}{200} = \frac{401}{200} = 2.005 \text{ cm}$, $\delta_2 = \frac{L}{250} = \frac{401}{250} = 1.60 \text{ cm}$
- Πατώματα $\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{401}{250} = 1.60 \text{ cm}$, $\delta_2 = \frac{L}{300} = \frac{401}{300} = 1.11 \text{ cm}$

Για τα όρια των οριζόντιων μετακινήσεων πρέπει να ισχύει:

- $U_{max} = H/150$ (όπου U η οριζόντια μετακίνηση και H το ύψος του κτιρίου)

Στην δική μας περίπτωση $U_{max} = \frac{H}{150} = 616 \text{ cm}/150 = 4.10 \text{ cm}$.

Κατακόρυφες μετατοπίσεις ζυγωμάτων στέγης

Για τα ζυγώματα διατομής IPE 220 τα βέλη κάμψης που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα FESPA 8.1.0.22 για ανάλυση με τους συνδυασμούς σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= 0.2 \text{ cm}, \delta_2 = 1 \text{ cm} \\ \delta_2 &= 1 \text{ cm} < 1.6 \text{ cm} \\ \delta_1 + \delta_2 &= 1.2 \text{ cm} < \delta_{max} = 2.005 \text{ cm} \end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι τα μέγιστα βέλη κάμψης δεν ξεπερνούν τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές.

Οριζόντιες μετατοπίσεις κτιρίου

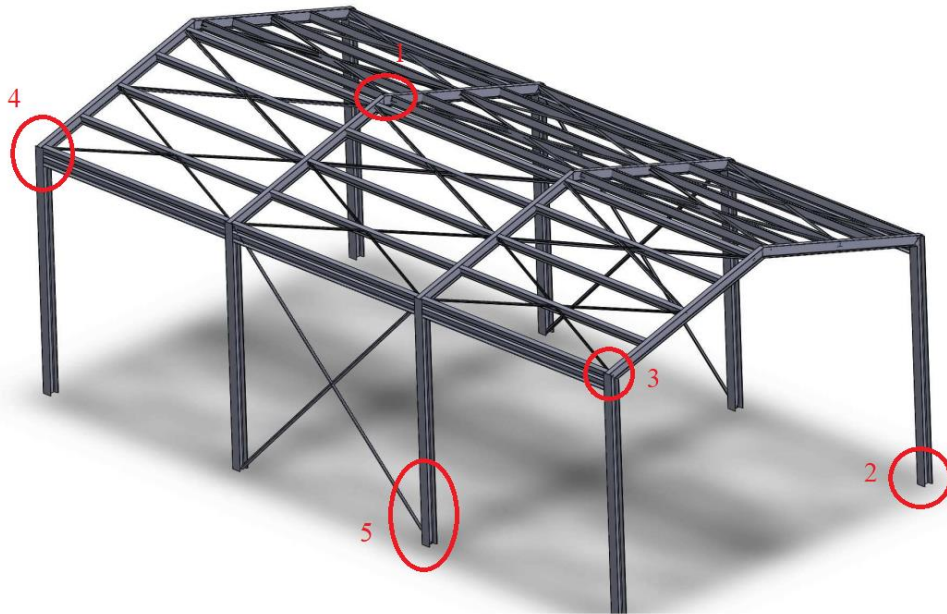
Αφού γίνει ανάλυση του κτιρίου με τους συνδυασμούς σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας εντοπίζεται η μέγιστη μετακίνηση κατά X και η μέγιστη κατά Y του κτιρίου.

$$U_{x,max} = 2.5 \text{ cm} < U_{max} \qquad U_{y,max} = 3.75 \text{ cm} < U_{max}$$

Παρατηρούμε ότι τηρούνται τα όρια των οριζόντιων μετατοπίσεων.

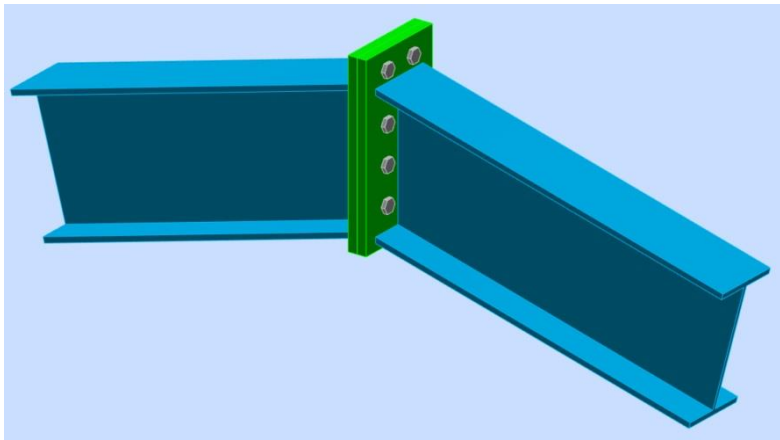
5. Συνδέσεις

Οι συνδέσεις που παρουσιάζονται στη συνέχεια υπολογίσθηκαν στο πρόγραμμα Robot ώστε να ικανοποιούν την δυσμενέστερη φόρτιση στα πλαίσια όμως εξοικονόμησης υλικού. Παρακάτω ακολουθεί και ο λεπτομερής σχεδιασμός τους σε Autocad.



Εικόνα 16: Οι συνδέσεις που μελετήθηκαν.

5.1 Σύνδεση Κορφιά



Εικόνα 17: Σύνδεση κορφιά, Robot Structural Analysis

Στοιχεία Σύνδεσης

Σύνδεση δύο δοκών IPE 200

S 275

Κοχλίες $d=12\text{mm}$

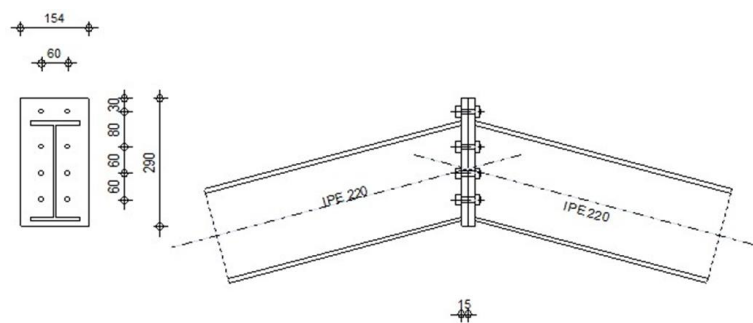
Κλάση 8.8

Πλάκα $290 \times 154 \times 15$ [mm]

Συγκολλήσεις: Πέλμα 7 mm, Κορμός 5 mm

Καμπτική ροπή $M = 33$ kNm

Διατμητική δύαμη $V = -20$ kN



Εικόνα 18: Σχέδιο σύνδεση κορφιά

Αντοχές δοκού

Διάτμηση

$A_{vb} = 15.88$ cm², επιφάνεια διάτμησης

$$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb}/\sqrt{3}) / \gamma_{M0} \quad (5.1)$$

$$V_{cb,Rd} = 215.47 \text{ kN}$$

$$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0, \quad 0.09 < 1$$

Καμπτική αντοχή (χωρίς έλασμα)

$$W_{plb} = 285.43 \text{ cm}^3$$

$$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad (5.2)$$

$$M_{b,pl,Rd} = 67.08 \text{ kNm}$$

Πέλμα και κορμός σε θλίψη

$$M_{cb,Rd} = 67.08 \text{ kNm}$$

$h_f = 211 \text{ mm}$, απόσταση μεταξύ κέντρου των πελμάτων

$$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$$

$F_{c,fb,Rd} = 318.19 \text{ kN}$, αντοχή θλιβόμενου πέλματος και κορμού

Γεωμετρικές Παράμετροι της σύνδεσης

Nr	p(mm)	$l_{eff,cp}$	$l_{eff,nc}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$l_{eff,cp,g}$	$l_{eff,nc,g}$	$l_{eff,1,g}$	$l_{eff,2,g}$
1	50	76	73	73	73	-	-	-	-
2	60	134	145	134	145	127	103	103	103
3	60	134	144	134	144	120	60	60	60
4	60	134	144	134	144	127	102	102	102

$m = 21 \text{ mm}$, κοινό για όλες τις σειρές

$e = 30$, κοινό για όλες τις σειρές

$m_x = 12$, κοινό για όλες τις σειρές

Αντοχή σύνδεσης σε κάμψη

$F_{t,Rd} = 48.56 \text{ kN}$, αντοχή κοχλία σε εφελκυσμό

$B_{p,Rd} = 175.07$, αντοχή κοχλία σε διάτρηση

$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$, καμπτική αντοχή πέλματος υποστυλώματος

$F_{t,wc,Rd} = w b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$, εφελκυστική αντοχή κορμού υποστυλώματος

$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$, καμπτική αντοχή μετωπικής πλάκας

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$,

Αντοχές – 1^η σειρά κοχλιών

$F_{t1,Rd,comp}$ (Σχέση)	$F_{t1,Rd,comp,i}$	
$F_{t1,Rd} = \text{Min}(F_{t1,Rd,comp})$	$\min(97.11, 350.15, 318.19)$	Αντοχή σειράς κοχλιών
$F_{t,ep,Rd(1)}$	97.11	Πλάκα – Εφελκυσμό
$B_{p,Rd}$	350.15	Κοχλίες – Διάτρηση
$F_{c,fb,Rd}$	318.19	Πέλμα δοκού - Θλίψη

Αντοχές – 2^η σειρά κοχλιών

$F_{t2,Rd,comp}$ (Σχέση)	$F_{t2,Rd,comp,i}$	
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	$\min = 97.11$	Αντοχή σειράς κοχλιών
$F_{t,ep,Rd(2)}$	97.11	Πλάκα – Εφελκυσμό
$F_{t,wb,Rd(2)}$	186.37	Κορμός δοκού – εφελκυσμό
$B_{p,Rd}$	350.15	Κοχλίες – Διάτρηση
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd}$	$318.19 - 97.11 = 221.08$	Πέλμα δοκού - Θλίψη

Πρόσθετη μείωση αντοχής της σειράς

$$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h_2/h_1 \quad (5.3)$$

$$F_{t2,Rd} = 65.14 \text{ kN}$$

Αντοχές – 3^η σειρά κοχλιών

$F_{t3,Rd,comp}$ (Σχέση)	$F_{t3,Rd,comp,i}$	
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	97.11	Αντοχή σειράς κοχλιών
$F_{t,ep,Rd(3)}$	97.11	Πλάκα – Εφελκυσμό
$F_{t,wb,Rd(3)}$	186.37	Κορμός δοκού – εφελκυσμό
$B_{p,Rd}$	350.15	Κοχλίες – Διάτρηση
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd}$	$318.19 - 162.26 = 155.94$	Πέλμα δοκού - Θλίψη
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd}$	$194.23 - 65.14 = 129.09$	Πλάκα – εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd}$	$226.08 - 65.14 = 160.94$	Δοκός – εφελκ. – ομάδα
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd}$	$194.23 - 65.14 = 129.09$	Πλάκα – εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd}$	$226.08 - 65.14 = 160.94$	Δοκός – εφελκ. – ομάδα

Πρόσθετη μείωση αντοχής της σειράς

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 41.16 \text{ kN}$$

Αντοχές – 4^η σειρά κοχλιών

$F_{t4,Rd,comp}$ (Σχέση)	$F_{t3,Rd,comp,i}$	
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	97.11	Αντοχή σειράς κοχλιών
$F_{t,ep,Rd(4)}$	97.11	Πλάκα – Εφελκυσμό
$F_{t,wb,Rd(4)}$	186.37	Κορμός δοκού – εφελκυσμό
$B_{p,Rd}$	350.15	Κοχλίες – Διάτρηση
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd}$	$318.19 - 203.42 = 114.77$	Πέλμα δοκού - Θλίψη
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd}$	$194.23 - 41.16 = 153.06$	Πλάκα – εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd}$	$224.84 - 41.16 = 183.67$	Δοκός – εφελκ. – ομάδα
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd}$	$291.34 - 106.30 = 185.04$	Πλάκα – εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd}$	$367.73 - 106.30 = 261.42$	Δοκός – εφελκ. – ομάδα

Πρόσθετη μείωση αντοχής της σειράς

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 17.18 \text{ kN}$$

Συγκεντρωτικός Πίνακας

Nr	h_i (mm)	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	243	97.11	-	-	97.11	-	97.11	350.15
2	163	65.14	-	-	97.11	186.37	97.11	350.15
3	103	41.16	-	-	97.11	186.37	97.11	350.15
4	43	17.18	-	-	97.11	186.37	97.11	350.15

Αντοχή σύνδεσης σε κάμψη

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd} \quad (5.4)$$

$$M_{j,Rd} = 39.2 \text{ kNm}$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0, \quad 0.84 < 1$$

Αντοχή σύνδεσης σε τέμνουσα

$$a_v = 0.6, \text{ συντελεστής για τον υπολογισμό } F_{v,Rd}$$

$$b_{Lf} = 0.99, \text{ μειωτικό συντελεστής για μεγάλου μήκους συνδέσεις}$$

$$F_{v,Rd} = 43.07 \text{ kN}, \text{ διατμητική αντοχή μεμονωμένου κοχλίου}$$

$$F_{t,Rd,max} = 48.56 \text{ kN}, \text{ εφελκυστική αντοχή μεμονωμένου κοχλίου}$$

$$F_{b,Rd,int} = 154.8 \text{ kN}, \text{ Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας ενός ενδιάμεσου κοχλίου}$$

$F_{b,Rd,ext} = 119.08 \text{ kN}$, Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας ενός εξωτερικού κοχλίου

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	97.11	0	97.11	81.76	81.76	34.33
2	97.11	0	65.14	54.85	54.85	51.39
3	97.11	0	41.16	34.66	34.66	64.18
4	97.11	0	17.18	14.47	14.47	76.97

$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$, δρώσα δύναμη λόγω αξονικής σε μία σειρά κοχλιών

$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$, δρώσα δύναμη λόγω ροπής σε μία σειρά κοχλιών

$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$, μέγιστη εφελκυστική δύναμη σε μία σειρά κοχλιών

$F_{vj,Rd} = \text{Min} (n_h F_{v,Ed} / (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd}, n_h F_{b,Rd})$, μειωμένη δύναμη αντοχής μία σειράς κοχλιών

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd}$$

$$V_{j,Rd} = 226.87 \text{ kN}$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0, \quad 0.09 < 1$$

Αντοχή συγκολλήσεων

$A_w = 45 \text{ cm}^2$, επιφάνεια συγκολλήσεων

$A_{wy} = 26.61 \text{ cm}^2$, επιφάνεια οριζόντιων συγκολλήσεων

$A_{wz} = 18.39 \text{ cm}^2$, επιφάνεια κατακόρυφων συγκολλήσεων

$I_{wy} = 3781.58 \text{ cm}^4$, ροπή αδράνειας των συγκολλήσεων

$$\sigma_{\perp \max} = \tau_{\perp \max} = 72.43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 56.73 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = -10.88 \text{ MPa}$$

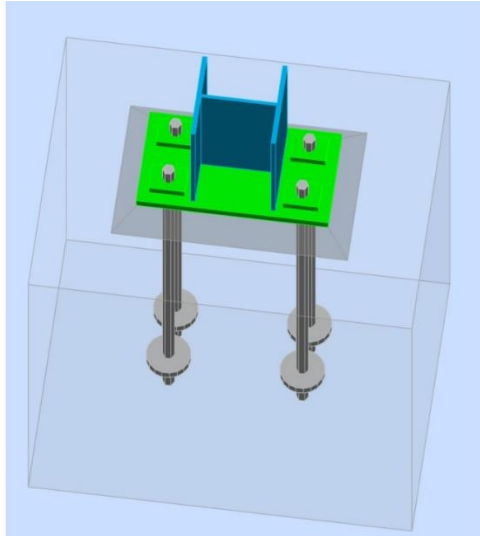
$$\beta_w = 0.8$$

$$[\sigma_{\perp \max}^2 + 3 * (\tau_{\perp \max}^2)] \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}), \quad 144.86 < 360 \quad (0.4)$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)] \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}), \quad 115.01 < 360 \quad (0.32)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}, \quad 72.43 < 259.2 \quad (0.28)$$

5.2 Έδραση υποστυλώματος



Εικόνα 19: Έδραση υποστυλώματος, Robot Structural Analysis

Στοιχεία Σύνδεσης

Υποστύλωμα HEA 200

S 275

Αγκύρια $d=27\text{mm}$

Κλάση 8.8

Πλάκα $430 \times 200 \times 20$ [mm]

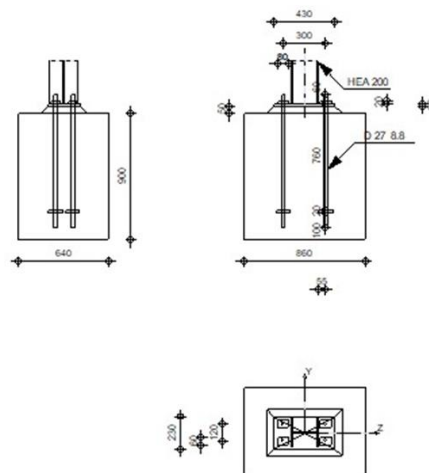
Σκυρόδεμα C 20/25, διαστάσεις $860 \times 640 \times 900$

Συγκολλήσεις: 10 mm

Αξονική δύναμη $N = 41$ kN

Διατμητική δύναμη $V = 23.4$ kN

Καμπτική ροπή $M = 42$ kNm



Εικόνα 20: Σχέδιο έδρασης

Ζώνη θλίψης**Θλίψη σκυροδέματος**

$$f_{cd} = 13.33 \text{ MPa}$$

$$f_j = 20.97 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \ddot{O}(f_{yp}/(3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}))$$

$$c = 42 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 94 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 230 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = 215.35 \text{ cm}^2$$

$$A_{c1} = 1797.73 \text{ cm}^2$$

$$F_{rd,u} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \ddot{O}(A_{c1}/A_{c0}) \leq 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd} \quad (5.5)$$

$$F_{rd,u} = 829.62 \text{ kN}$$

$$\beta_j = 0.67$$

$$f_{jd} = \beta_j \cdot F_{rd,u} / (b_{eff} \cdot l_{eff})$$

$$f_{jd} = 25.68 \text{ MPa}$$

$$A_{c,n} = 508.55 \text{ cm}^2$$

$$A_{c,y} = 215.35 \text{ cm}^2$$

$$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} \cdot f_{jd}$$

$$F_{c,Rd,n} = 1306.08 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,y} = 553.08 \text{ kN}$$

Κορμός και πέλμα υποστυλώματος σε θλίψη**Κατηγορία 2**

$$W_{pl,y} = 429.52 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd,y} = 118.12 \text{ kNm}$$

$$h_{f,y} = 180 \text{ mm}$$

$$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$$

$$F_{c,fc,Rd,y} = 656.21 \text{ kN}$$

Αντοχή θεμελίου σε θλίψη

$$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$$

$$N_{j,Rd} = 1306.08 \text{ kN}$$

$$F_{C,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$$

$$F_{C,Rd,y} = 553.08 \text{ kN}$$

Εφελκυστική ζώνη

Αστοχία Χάλυβα

$$A_b = 4.59 \text{ cm}^2$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$\text{Beta} = 0.85$$

$$F_{t,Rd,s1} = \text{beta} * 0.9 * f_{ub} * A_b / \gamma_{M2} \quad (5.6)$$

$$F_{t,Rd,s1} = 224.73 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd,s} = F_{t,Rd,s1}$$

$$F_{t,Rd,s} = 224.73 \text{ kN}$$

Εφελκυστική Αντοχή μεμονωμένου αγκυρίου

$$F_{t,Rd} = F_{t,Rd,s}$$

$$F_{t,Rd} = 224.73 \text{ kN}$$

Κάμψη της πλάκας έδρασης

Καμπτική ροπή $M_{j,Ed,y}$

$$l_{eff,1} = 115 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = 115 \text{ mm}$$

$$m = 44 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 3.16 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 3.16 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 289.56 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = 314.04 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 449.5 \text{ kN}$$

$$F_{t,pl,Rd,y} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{t,pl,Rd,y} = 289.56 \text{ kN}$$

Αντοχή θεμελίου σε εφελκυσμό

$$F_{T,Rd,y} = F_{t,pl,Rd,y}$$

$$F_{T,Rd,y} = 289.56 \text{ kN}$$

Έλεγχος αντοχής σύνδεσης

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0.03 < 1$$

$$e_y = 1024 \text{ mm}$$

$$z_{c,y} = 90 \text{ mm}$$

$$z_{t,y} = 150 \text{ mm}$$

$$M_{j,Rd,y} = 76.19 \text{ kNm}$$

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0.55 < 1$$

Τέμνουσα**Τέμνουσα Δύναμη $V_{j,Ed,z}$**

$$a_{d,z} = 0.75$$

$$a_{b,z} = 0.75$$

$$k_{1,z} = 2.5$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} * a_{b,z} * f_{up} * d * t_p / \gamma_{M2} \quad (5.7)$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = 346.97 \text{ kN}$$

ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΟΧΛΙΑ

$$a_b = 0.25$$

$$A_{vb} = 5.73 \text{ cm}^3$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

$$F_{2,vb,Rd} = a_b * f_{ub} * A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$$F_{2,vb,Rd} = 90.88 \text{ kN}$$

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ

$$C_{f,d} = 0.3$$

$$N_{c,Ed} = 41 \text{ kN}$$

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} * N_{c,Ed}$$

$$F_{f,Rd} = 12.3 \text{ kN}$$

Έλεγχος Τέμνουσας

$$V_{j,Rd,z} = n_b * \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,z} = 375.8 \text{ kN}$$

$$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0.06 < 1$$

Συγκολλήσεις μεταξύ υποστυλώματος και πλάκας έδρασης

$$\sigma_{\perp} = 44.63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 44.63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{yII} = 0$$

$$\tau_{zII} = 6.88 \text{ MPa}$$

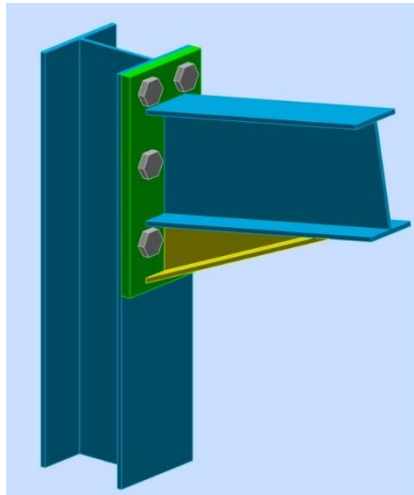
$$\beta_w = 0.85$$

$$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0 \quad 0.14 < 1$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad 0.22 < 1$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad 0.18 < 1$$

5.3 Σύνδεση δοκού – υποστυλώματος (πάκτωση)



Εικόνα 21: Σύνδεση δοκού - υποστυλώματος, Robot Structural Analysis

Στοιχεία Σύνδεσης

Υποστύλωμα: HEA 200

Δοκός: IPE 200

S 275

Γωνία σύνδεσης 10 μοίρες

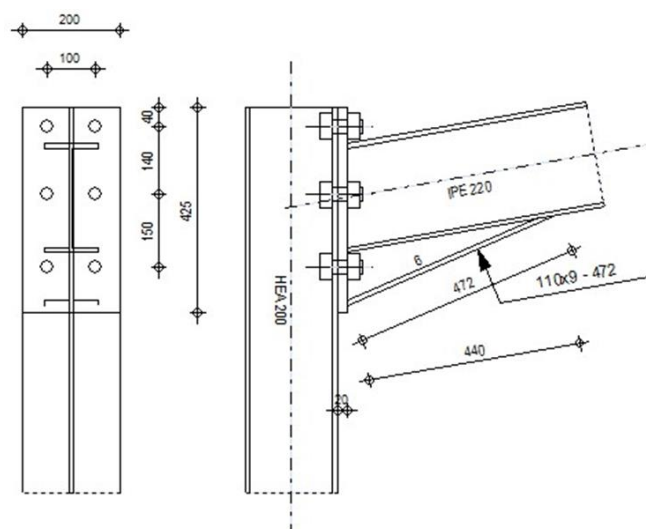
Κοχλίες: $d = 27\text{mm}$, Κλάση 8.8

Πλάκα 576x200x13 [mm]

Συγκολλήσεις: Πέλμα 7 mm, Κορμός 5 mm

Καμπτική ροπή $M = 51.12\text{ kN}$

Αξονική δύναμη $N = 45.122\text{ kN}$



Εικόνα 22: Σχέδιο σύνδεσης δοκού - υποστυλώματος

Αντοχές δοκού**Θλίψη**

$$A_b = 33.37 \text{ cm}^2$$

$$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$N_{cb,Rd} = 917.69 \text{ kN}$$

Καμπτική αντοχή (χωρίς έλασμα)

$$W_{plb} = 285.43 \text{ cm}^3$$

$$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$M_{b,pl,Rd} = 78.49 \text{ kNm}$$

Πέλμα και κορμός σε θλίψη

$$M_{cb,Rd} = 133.77 \text{ kNm}$$

$h_f = 324 \text{ mm}$, απόσταση μεταξύ κέντρου των πελμάτων

$$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$$

$F_{c,fb,Rd} = 413.10 \text{ kN}$, αντοχή θλιβόμενου πέλματος και κορμού

Αντοχή κορμού ή πέλματος ελάσματος σε εγκάρσια θλίψη, στο επίπεδο του κάτω πέλματος της δοκού

$$b_{eff,c,wb} = t_{fb} + 2 \sqrt{2} \alpha_p + 5 (t_{fc} + s) + s_p \quad (5.8)$$

$\alpha_p = 0.6$, ενεργό πάχος λαιμού συγκόλλησης

$$s = r_c$$

$s_p = 2 * t_p$, απλοποιητική παραδοχή

$b_{eff,c,wb} = 165 \text{ mm}$, ενεργό πλάτος κορμού σε θλίψη

$A_{vb} = 15.88 \text{ cm}^2$, επιφάνεια διάτμησης

Η παράμετρος μετασχηματισμού $\beta = 1$, για μονόπλευρο κόμβο.

Για $\beta = 1$ και $\omega = \omega_1$,

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1+1.3\left(\frac{b_{eff,c,wc}t_{wc}}{A_{vc}}\right)^2}}$$

$\omega = 0.82$, μειωτικός συντελεστής για την αλληλεπίδραση με την διάτμηση

$\sigma_{com,Ed} = 177.29 \text{ MPa} < 0.7 f_{y,wc}$, μέγιστη θλιπτική τάση στον κορμό

$k_{wc} = 1$, μειωτικός συντελεστής με βάση τις θλιπτικές τάσεις λόγω αξονικού και ροπή

$b = 10 \text{ deg}$, γωνία μεταξύ πλάκας και δοκού

$g = 23.3 \text{ deg}$, γωνία κλίσης ελάσματος

$$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(g) / \sin(g - b) \quad (5.9)$$

$F_{c,wb,Rd1} = 877.68 \text{ kN}$, αντοχή κορμού της δοκού

Λυγισμός

$d_{wb} = 178 \text{ mm}$, ύψος θλιβόμενου κορμού

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \sqrt{b_{eff,c,wc} * d_{wc} * \frac{f_{y,wc}}{E * t_{wc}^2}} \quad (5.10)$$

$\lambda_p = 0.98$, επίπεδη λυγηρότητα στοιχείου

$$\rho = (\bar{\lambda}_p - 0.2) / \bar{\lambda}_p^2$$

$\rho = 0.98$, μειωτικός συντελεστής για λυγισμό στοιχείου

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(g) / \sin(g - b)$$

$F_{c,wb,Rd2} = 713.62 \text{ kN}$, αντοχή κορμού της δοκού

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2})$$

$$F_{c,wb,Rd,low} = 713.62 \text{ kN}$$

Αντοχές υποστυλώματος

Αντοχή φατνώματος κορμού σε διάτμηση

$M_{b1,Ed} = 51.12 \text{ kNm}$, καμπτική ροπή (δεξιά δοκός)

$M_{b2,Ed} = 0$ kNm, καμπτική ροπή (δεξιά δοκός)

$V_{c1,Ed} = 0$ kN, τέμνουσα δύναμη (κάτω υποστώλωμα)

$V_{c2,Ed} = 0$ kN, τέμνουσα δύναμη (πάνω υποστώλωμα)

$z = 293$ mm, μοχλοβραχίονας

$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$, δρώσα διατμητική δύναμη στο κορμό του υποστυλώματος

$V_{wp,Ed} = 174.18$ kN

$A_{vs} = A - 2bt_f + (t_w + 2r)$, επιφάνεια διάτμησης του υποστυλώματος

$A_{vs} = 18.08$ cm²

$A_{vc} = 18.08$ cm²

$V_{wp,Rd} = 0.9 * (f_{y,wc} * A_{vc} + f_{y,wp} * A_{vp} + f_{ys} * A_{vd}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$ (5.11)

$V_{wp,Rd} = 258.37$ kN

$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0 \quad 0.67 < 1$

Κορμός σε εγκάρσια θλίψη, στο επίπεδο του κάτω πέλματος της δοκού

$t_{wc} = 6$ mm, ενεργό πάχος κορμού υποστυλώματος

$b_{eff,c,wb} = 210$ mm, ενεργό πλάτος κορμού σε θλίψη

$A_{vc} = 18.08$ cm², επιφάνεια διάτμησης

$\omega = 0.76$, μειωτικός συντελεστής για την αλληλεπίδραση με την διάτμηση

$\sigma_{com,Ed} = 0$ MPa, μέγιστη θλιπτική τάση στον κορμό

$k_{wc} = 1$, μειωτικός συντελεστής με βάση τις θλιπτικές τάσεις λόγω αξονικού και ροπή

$F_{c,wb,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wbc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$

$F_{c,wb,Rd1} = 284.18$ kN, αντοχή κορμού υποστυλώματος

Λυγισμός

$d_{wb} = 134\text{mm}$, ύψος θλιβόμενου κορμού

$\lambda_p = 0.87$, επίπεδη λυγηρότητα στοιχείου

$\rho = 0.89$, μειωτικός συντελεστής για λυγισμό στοιχείου

$$F_{c,wb,Rd2} = \omega k_{wc} r b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1}$$

$F_{c,wb,Rd2} = 251.64 \text{ kN}$, αντοχή κορμού υποστυλώματος

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1} , F_{c,wc,Rd2})$$

$F_{c,wc,Rd} = 251.64 \text{ kN}$, αντοχή κορμού υποστυλώματος

Κορμός σε εγκάρσια θλίψη, στο επίπεδο του άνω πέλματος της δοκού

$t_{wc} = 6\text{mm}$, ενεργό πάχος κορμού υποστυλώματος

$b_{eff,c,wb} = 209\text{mm}$, ενεργό πλάτος κορμού σε θλίψη

$A_{vc} = 18.08\text{cm}^2$, επιφάνεια διάτμησης

$\omega = 0.76$, μειωτικός συντελεστής για την αλληλεπίδραση με την διάτμηση

$\sigma_{com,Ed} = 0 \text{ MPa}$, μέγιστη θλιπτική τάση στον κορμό

$k_{wc} = 1$, μειωτικός συντελεστής με βάση τις θλιπτικές τάσεις λόγω αξονικού και ροπή

$$F_{c,wb,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wbc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$$

$F_{c,wb,Rd1} = 283.83 \text{ kN}$, αντοχή κορμού υποστυλώματος

Λυγισμός

$d_{wb} = 134\text{mm}$, ύψος θλιβόμενου κορμού

$\lambda_p = 0.87$, επίπεδη λυγηρότητα στοιχείου

$\rho = 0.89$, μειωτικός συντελεστής για λυγισμό στοιχείου

$$F_{c,wb,Rd2} = \omega k_{wc} r b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1}$$

$F_{c,wb,Rd2} = 251.52 \text{ kN}$, αντοχή κορμού υποστυλώματος

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1} , F_{c,wc,Rd2})$$

$F_{c,wc,Rd} = 251.52 \text{ kN}$, αντοχή κορμού υποστυλώματος

Γεωμετρικές Παράμετροι της σύνδεσης

$e_1 = 40\text{mm}$, απόσταση ακραίου κοχλίου από το πάνω άκρο της μετωπικής πλάκας

$e_{\min} = 50\text{mm}$, οριζόντια απόσταση κοχλίου από το άκρο της μετωπικής πλάκας

$e = 50\text{mm}$, οριζόντια απόσταση κοχλίου από το άκρο του πέλματος του υποστυλώματος

Ενεργά μήκη – Πέσμα υποστυλώματος

Για ακραία σειρά (θεωρούμενη ως μεμονωμένη)

Κυκλική μορφή αστοχίας

$$l_{\text{eff,cp}} = \min(2 \pi m, \pi m + e_1) \quad (5.12)$$

Μη κυκλική μορφή αστοχίας

$$l_{\text{eff,nc}} = \min(4 m + 1.25 e, 2 m + 0.625 e + e_1)$$

Nr	p(mm)	$l_{\text{eff,cp}}$	$l_{\text{eff,nc}}$	$l_{\text{eff,1}}$	$l_{\text{eff,2}}$	$l_{\text{eff,cp,g}}$	$l_{\text{eff,nc,g}}$	$l_{\text{eff,1,g}}$	$l_{\text{eff,2,g}}$
1	140	182	136	136	136	220	110	110	110
2	145	203	192	192	192	280	140	140	140
3	150	203	191	191	191	252	170	170	170

$$m = (b - t_w) / 2 - 0.8 r_c$$

$m = 32\text{mm}$, κοινό για όλες τις σειρές

Ενεργά μήκη – Μετωπική πλάκα

Nr	p(mm)	$l_{\text{eff,cp}}$	$l_{\text{eff,nc}}$	$l_{\text{eff,1}}$	$l_{\text{eff,2}}$	$l_{\text{eff,cp,g}}$	$l_{\text{eff,nc,g}}$	$l_{\text{eff,1,g}}$	$l_{\text{eff,2,g}}$
1	79	170	100	100	100	-	-	-	-
2	150	260	234	234	234	280	195	195	195
3	150	260	228	228	228	280	189	189	189

$m = 32\text{mm}$, κοινό για όλες τις σειρές

$e = 50$, κοινό για όλες τις σειρές

$m_x = 27\text{mm}$, κοινό για όλες τις σειρές

Αντοχή σύνδεσης σε εφελκυσμό

$$N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{cb,Rd} 2 F_{c,wb,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,upp})$$

$$N_{j,Rd} = 503.04$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1.0, \quad 0.09 < 1$$

Αντοχή σύνδεσης σε κάμψη

$$F_{t,Rd} = 264.38 \text{ kN, αντοχή κοχλία σε εφελκυσμό}$$

$$B_{p,Rd} = 262.61, \text{ αντοχή κοχλία σε διάτρηση}$$

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd}), \text{ καμπτική αντοχή πέλματος υποστυλώματος}$$

$$F_{t,wc,Rd} = w b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}, \text{ εφελκυστική αντοχή κορμού υποστυλώματος}$$

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd}), \text{ καμπτική αντοχή μετωπικής πλάκας}$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0},$$

Αντοχές – 1^η σειρά κοχλιών

$F_{t1,Rd,comp}$ (Σχέση)	$F_{t1,Rd,comp,i}$	
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp,i})$	min = 115.57	Αντοχή σειράς κοχλιών
$F_{t,fc,Rd(1)}$	115.57	Πέλμα Υποστ. – Εφελκ.
$F_{t,wc,Rd(1)}$	212.38	Κορμός Υποστ. – Εφελκ.
$F_{t,ep,Rd(1)}$	347.11	Πλάκα – Εφελκ.
$B_{p,Rd(1)}$	525.22	Διάτρηση κοχλιών
$V_{wp,Rd}/\beta$	258.37	Φάτνωμα σε διάτμηση
$F_{c,wc,Rd}$	251.64	Κορμός Υποστ. – Θλίψη
$F_{c,fb,Rd}$	413.1	Πέλμα δοκού. – Θλίψη
$F_{c,wb,Rd}$	713.62	Κορμός δοκού. – Θλίψη

Αντοχές – 2^η σειρά κοχλιών

$F_{t2,Rd,comp}$ (Σχέση)	$F_{t2,Rd,comp,i}$	
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp,i})$	min = 96.95	Αντοχή σειράς κοχλιών
$F_{t,fc,Rd(2)}$	163.13	Πέλμα Υποστ. – Εφελκ.
$F_{t,wc,Rd(2)}$	269.61	Κορμός Υποστ. – Εφελκ.
$F_{t,ep,Rd(2)}$	409.38	Πλάκα – Εφελκ.
$F_{t,wb,Rd(2)}$	378.92	Κορμός δοκού. – Εφελκ.
$B_{p,Rd}$	525.22	Διάτρηση κοχλιών
$V_{wp,Rd}/b - \sum_1^1 F_{ti,Rd}$	$258.37 - 115.57 = 142.8$	Φάτνωμα σε διάτμηση
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd}$	$251.64 - 115.57 = 136.08$	Κορμός Υποστ. – Εφελκ.
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd}$	$413.10 - 115.57 = 297.53$	Πέλμα δοκού. – Θλίψη
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd}$	$713.62 - 115.57 = 598.05$	Κορμός δοκού. – Θλίψη

$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd}$	$212.52 - 115.57 = 96.95$	Πέλμα Υποστ. – Εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd}$	$312.11 - 115.57 = 196.54$	Κορμός Υποστ. – Εφελκ. – ομάδα

Αντοχές – 3^η σειρά κοχλιών

$F_{t3,Rd,comp}$ (Σχέση)	$F_{t3,Rd,comp,i}$	
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp,i})$	$\text{min} = 39.12$	Αντοχή σειράς κοχλιών
$F_{t,fc,Rd(3)}$	162.32	Πέλμα Υποστ. – Εφελκ.
$F_{t,wc,Rd(3)}$	268.79	Κορμός Υποστ. – Εφελκ.
$F_{t,ep,Rd(3)}$	406.57	Πλάκα – Εφελκ.
$F_{t,wb,Rd(3)}$	370.05	Κορμός δοκού. – Εφελκ.
$B_{p,Rd}$	525.22	Διάτρηση κοχλιών
$V_{wp,Rd}/b - \sum_1^2 F_{ti,Rd}$	$258.37 - 212.52 = 45.85$	Φάτνωμα σε διάτμηση
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd}$	$251.64 - 212.52 = 39.12$	Κορμός Υποστ. – Θλίψη.
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd}$	$413.10 - 212.52 = 200.58$	Πέλμα δοκού. – Θλίψη
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd}$	$713.62 - 212.52 = 501.1$	Κορμός δοκού. – Θλίψη
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd}$	$263.52 - 96.95 = 166.57$	Πέλμα Υποστ. – Εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd}$	$342.70 - 96.95 = 245.75$	Κορμός Υποστ. – Εφελκ. – ομάδα
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd}$	$357.03 - 212.52 = 144.51$	Πέλμα Υποστ. – Εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd}$	$377.10 - 212.52 = 164.58$	Κορμός Υποστ. – Εφελκ. – ομάδα
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd}$	$775.80 - 96.95 = 678.85$	Πλάκα – Εφελκ. – ομάδα
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd}$	$622.29 - 96.95 = 525.34$	Κορμός Δοκού. – Εφελκ. – ομάδα

Συγκεντρωτικός Πίνακας

Nr	h_i (mm)	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	363	115.57	115.57	212.28	347.11	-	528.77	525.22
2	223	96.95	163.13	269.61	409.38	378.92	528.77	525.22
3	73	39.12	162.32	268.79	406.57	370.05	528.77	525.22

Αντοχή σύνδεσης σε κάμψη

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 66.55 \text{ kNm}$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0, \quad 0.77 < 1$$

Αντοχή συγκολλήσεων

$A_w = 67.77\text{cm}^2$, επιφάνεια συγκολλήσεων

$A_{wy} = 39.72\text{cm}^2$, επιφάνεια οριζόντιων συγκολλήσεων

$A_{wz} = 28.05\text{cm}^2$, επιφάνεια κατακόρυφων συγκολλήσεων

$I_{wy} = 9828.47\text{cm}^4$, ροπή αδράνειας των συγκολλήσεων

$\sigma_{\perp\text{max}} = \tau_{\perp\text{max}} = 66.58 \text{ MPa}$

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = -60.91 \text{ MPa}$

$\tau_{\parallel} = 0 \text{ MPa}$

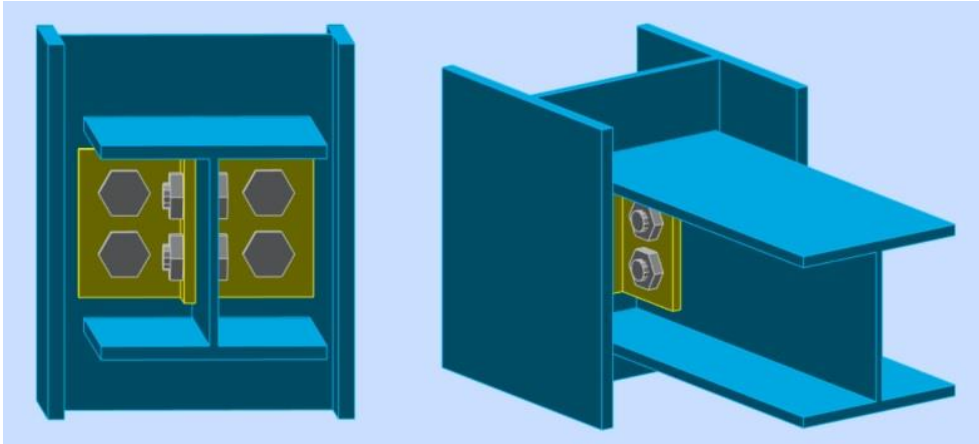
$\beta_w = 0.8$

$$[\sigma_{\perp\text{max}}^2 + 3*(\tau_{\perp\text{max}}^2)] \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2}), \quad 133.16 < 360 \quad (0.37)$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)] \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2}), \quad 121.82 < 360 \quad (0.34)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}, \quad 66.58 < 259.2 \quad (0.)$$

5.4 Σύνδεση δοκού – υποστυλώματος (άρθρωση)



Εικόνα 23: Σύνδεση δοκού - υποστυλώματος, Robot Structural Analysis

Στοιχεία Σύνδεσης

Υποστύλωμα: HEA 200

Δοκός: HEA 140

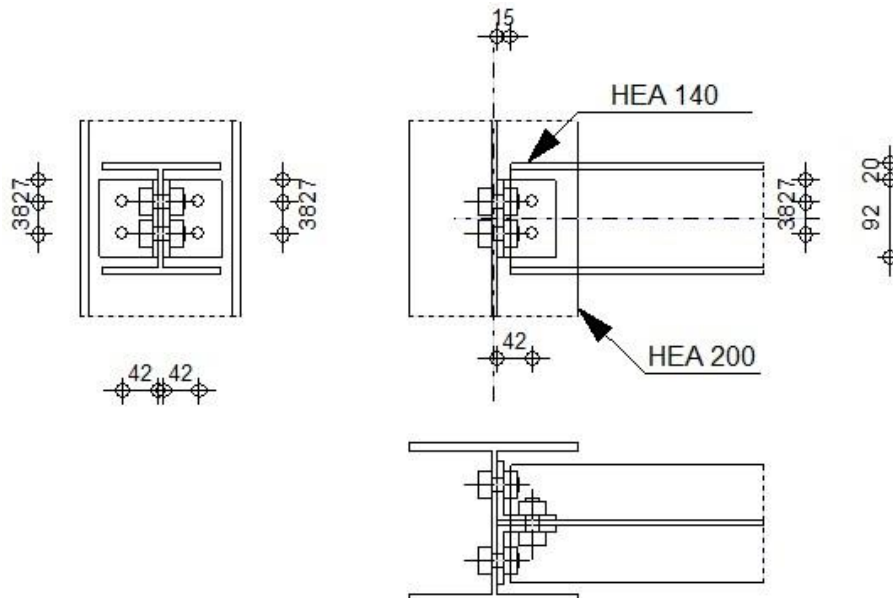
S 275

Γωνιακά L 70x7

S 235

Κοχλίες: $d = 16 \text{ mm}$, Κλάση 8.8

Διατμητική δύναμη $V = 1.5 \text{ kN}$



Εικόνα 24: Σχέδιο σύνδεσης δοκού - υποστυλώματος

Έλεγχοι**Μονότμητοι Κοχλίες μεταξύ υποστυλώματος – γωνιακού**

Κοχλίες στο κορμό του υποστυλώματος

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v / \gamma_{M2} \quad (5.13)$$

Αντικαθιστώντας $f_{ub} = 40 \text{ kN/cm}^2$, $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$, $\gamma_{M2} = 1.25$ και $\alpha_v = 0.6$, για κοχλίες ποιότητας 8.8.

$F_{v,Rd} = 77.18 \text{ kN}$, αντοχή σε διάτμηση (σπείρωμα εκτός διατεμνόμενης επιφάνειας),

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$, $A_s = 1.57 \text{ cm}^2$, $\gamma_{M2} = 1.25$

$F_{t,Rd} = 90.43 \text{ kN}$, εφελκυστική αντοχή κοχλία

Διεύθυνση x

$$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} = 1.26 > 0.$$

$$a_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bx} = 0.93$$

Αντοχή σε θλίψη άντυγας

$$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot a_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1x} = 1.26$, $a_{bx} = 0.93$, $f_u = 43 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.6 \text{ cm}$ (ελάσματος), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1x} = 38.70 \text{ kN}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} = 2.5 > 0.$$

$$a_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bz} = 0.45$$

Αντοχή σε θλίψη άντυνας

$$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot a_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1z} = 2.5$, $a_{bz} = 0.45$, $f_u = 43 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.6 \text{ cm}$ (ελάσματος),
 $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1z} = 37.15 \text{ kN}$$

Κοιλίες στο γωνιακό**Διεύθυνση x**

$$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} = 1.26 > 0.$$

$$a_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bx} = 0.52$$

Αντοχή σε θλίψη άντυνας

$$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot a_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1x} = 1.26$, $a_{bx} = 0.52$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.7 \text{ cm}$ (ελάσματος), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd2x} = 21 \text{ kN}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} = 2.50 > 0$$

$$a_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bz} = 0.45$$

Αντοχή σε θλίψη άντυνας

$$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot a_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1z} = 2.5$, $a_{bz} = 0.45$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.7 \text{ cm}$ (ελάσματος), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd2z} = 36.59 \text{ kN}$$

Δυνάμεις στους κοχλίες

$e=45\text{mm}$, απόσταση μεταξύ του κέντρου της ομάδας κοχλίων του γωνιακού και του κέντρου του κορμού της δοκού.

$M_0=0.03\text{ kNm}$, πραγματική ροπή $M_0=0.5*V_{b,Ed}*e$

$F_{Vz}=0.38\text{ kN}$, συνιστώσα τέμνουσας στο κοχλία στη z διεύθυνση, $F_{Vz}=0.5*|V_{b,Ed}|/n$

$F_{Mx}=0.88\text{ kNm}$, ροπή στο κοχλία στη x διεύθυνση, $F_{Mx}=|M_0|*z_i/\sum z_i^2$.

$F_{x,Ed}=0.88\text{ kN}$, συνολική δύναμη του κοχλία στην διεύθυνση x, $F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$

$F_{z,Ed}=0.38\text{ kN}$, συνολική δύναμη του κοχλία στην διεύθυνση z, $F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$

$F_{Ed}=0.96\text{ kN}$, τέμνουσα δύναμη στο κοχλία, $F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2)}$

$F_{Rdx}=21\text{ kN}$, Αντοχή κοχλία στην διεύθυνση x, $F_{Rdx}=\min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$

$F_{Rdz}=36.59\text{ kN}$, Αντοχή κοχλία στην διεύθυνση z, $F_{Rdz}=\min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$

Έλεγχοι

$$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}, \quad 0.88 < 21 \quad (0.04)$$

$$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz}, \quad 0.38 < 36.59 \quad (0.01)$$

$$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}, \quad 0.96 < 77.21 \quad (0.01)$$

Κοχλίας σε εφελκυσμό

$e=45\text{mm}$

$M_0=0.03\text{ kNm}$, πραγματική ροπή $M_0=0.5*V_{b,Ed}*e$

$F_{t,Ed}=0.89\text{ kN}$, εφελκυστική δύναμη στο δυσμενέστερο κοχλία, $F_{t,Ed}=M_{0t}*z_{\max}/\sum z_i^2 + 0.5*N_{b2,Ed}/n$

Έλεγχος

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}, \quad 0.89 < 90.43 \quad (0.01)$$

Ταυτόχρονη δράση εφελκυστικής και τέμνουσας δύναμης στο κοχλία,

$$F_{v,Ed}=0.96\text{ kN}, \text{ συνολική τέμνουσα δύναμη, } F_{v,Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2)}$$

Έλεγχος

$$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/(1.4*F_{t,Rd}) \leq 1.0, \quad 0.02 < 1 \quad (0.02)$$

Δίτητοι Κοχλίες μεταξύ δοκού – γωνιακού

$$F_{v,Rd} = 2 \text{ (δύο επιφάνειες διάτμησης)} 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$, $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$, $\gamma_{M2} = 1.25$ και $\alpha_v = 0.6$, για κοχλίες ποιότητας 8.8.

$$F_{v,Rd} = 77.21 \text{ kN, αντοχή σε διάτμηση (σπείρωμα εκτός διατεμνόμενης επιφάνειας)}$$

Κοχλίες στη δοκό**Διεύθυνση x**

$$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} = 1.26 > 0.$$

$$a_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bx} = 0.50$$

Αντοχή σε θλίψη άντυγας

$$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot a_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1x} = 1.26$, $a_{bx} = 0.5$, $f_u = 43 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.6 \text{ cm}$ (δοκός), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1x} = 19 \text{ kN}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} = 2.50 > 0.$$

$$a_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bz} = 0.45$$

Αντοχή σε θλίψη άντυγας

$$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot a_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1x} = 2.50$, $a_{bx} = 0.45$, $f_u = 43 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.6 \text{ cm}$ (δοκός), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1z} = 34.34 \text{ kN}$$

Κοχλίες στο γωνιακό

Διεύθυνση x

$$k_{1x} = \min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} = 1.26 > 0.$$

$$a_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bx} = 0.52$$

Αντοχή σε θλίψη άντυνας

$$F_{b,Rd2x} = k_{1x} * a_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1x} = 1.26$, $a_{bx} = 0.52$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.7 \text{ cm}$ (γωνιακό), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd2x} = 42 \text{ kN}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} = 2.50 > 0$$

$$a_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bz} = 0.45$$

Αντοχή σε θλίψη άντυνας

$$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * a_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1z} = 2.50$, $a_{bz} = 0.45$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.7 \text{ cm}$ (γωνιακό), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd2z} = 73.17 \text{ kN}$$

Δυνάμεις στου κοιλίες

$e = 45 \text{ mm}$, απόσταση μεταξύ του κέντρου της ομάδας κοιλίων του γωνιακού και του κέντρου του κορμού της δοκού.

$$M_0 = 0.07 \text{ kNm}, \text{πραγματική ροπή } M_0 = 0.5 * V_{b,Ed} * e$$

$$F_{Vz} = 0.75 \text{ kN}, \text{συνιστώσα τέμνουσας στο κοιλία στη z διεύθυνση, } F_{Vz} = 0.5 * |V_{b,Ed}| / n$$

$F_{Mx}=1.79$ kNm, ροπή στο κοχλία στη x διεύθυνση, $F_{Mx}=|M_0|*z_i/\sum z_i^2$.

$F_{x,Ed}=1.79$ kN, συνολική δύναμη του κοχλία στην διεύθυνση x, $F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$

$F_{z,Ed}=0.75$ kN, συνολική δύναμη του κοχλία στην διεύθυνση z, $F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$

$F_{Ed}=1.94$ kN, τέμνουσα δύναμη στο κοχλία, $F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2)}$

$F_{Rdx}=19$ kN, Αντοχή κοχλία στην διεύθυνση x, $F_{Rdx}=\min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$

$F_{Rdz}=34.34$ kN, Αντοχή κοχλία στην διεύθυνση z, $F_{Rdz}=\min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$

Έλεγχοι

$$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}, \quad 1.79 < 19 \quad (0.09)$$

$$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz}, \quad 0.75 < 34.34 \quad (0.02)$$

$$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}, \quad 1.94 < 77.21 \quad (0.01)$$

Έλεγχοι διατομών σε απόσχιση (διατμητική δύναμη)

Γωνιακό

$A_{nt}=1.33$ cm², καθαρή επιφάνεια σε εφελκυσμό

$A_{nv}=2.66$ cm², επιφάνεια διάτμησης

$V_{effRd}=55.2$ cm², αντοχή σχεδιασμού σε απόσχιση, $V_{effRd}=0.5*f_u*A_{nt}/\gamma_{M2} + (1/\sqrt{3})*f_y*A_{nv}/\gamma_{M0}$

$$|0.5*V_{b,Ed}| \leq V_{effRd}, \quad 0.75 < 55.24 \quad (0.01)$$

Δοκός

$A_{nt}=0.99$ cm², καθαρή επιφάνεια σε εφελκυσμό

$A_{nv}=3.22$ cm², επιφάνεια διάτμησης

$V_{effRd}=68.1$ cm², αντοχή σχεδιασμού σε απόσχιση, $V_{effRd}=0.5*f_u*A_{nt}/\gamma_{M2} + (1/\sqrt{3})*f_y*A_{nv}/\gamma_{M0}$

$$|V_{b,Ed}| \leq V_{effRd}, \quad 1.50 < 68.11 \quad (0.01)$$

Έλεγχοι απομειωμένων διατομών

Γωνιακό

$A_t = 3.22 \text{ cm}^2$, εμβαδό συνολικής επιφάνειας

$A_{t,net} = 1.96 \text{ cm}^2$, εμβαδό επιφάνειας σε εφελκυσμό

$$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0}) \quad 0.55 < 0.82$$

$$W_{net} = 9.53 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rdnet} = 2.24 \text{ kNm}, \quad M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$$

$$|M_0| \leq M_{c,Rdnet}, \quad 0.03 < 2.24 \quad (0.02)$$

$A_v = 6.44 \text{ cm}^2$, ενεργή επιφάνεια διάτμησης, $A_v = I_a \cdot t_{fa}$

$A_{v,net} = 3.92 \text{ cm}^2$, ενεργή επιφάνεια διάτμησης χωρίς τις οπές, $A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0$

$V_{pl,Rd} = 53.19 \text{ kN}$, διατμητική αντοχή, $V_{pl,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$

$$|0.5 \cdot V_{b,Ed}| \leq V_{pl,Rd}, \quad 0.75 < 53.19 \quad (0.01)$$

Δοκός

$A_t = 3.66 \text{ cm}^2$, εμβαδό συνολικής επιφάνειας

$A_{t,net} = 2.67 \text{ cm}^2$, εμβαδό επιφάνειας σε εφελκυσμό

$$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0}) \quad 0.55 < 0.82$$

$$W_{net} = 14.87 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rdnet} = 4.09 \text{ kNm}, \quad M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$$

$$|M_0| \leq M_{c,Rdnet}, \quad 0.07 < 4.09 \quad (0.02)$$

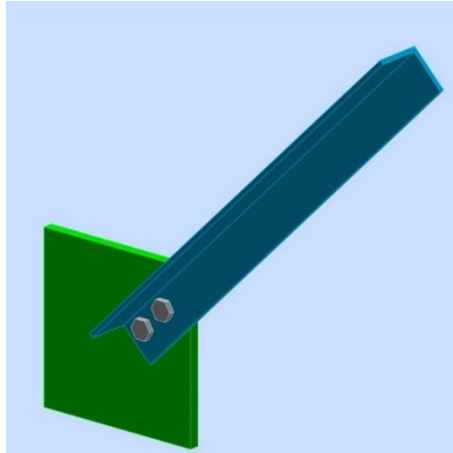
$A_v = 7.31 \text{ cm}^2$, ενεργή επιφάνεια διάτμησης, $A_v = I_a \cdot t_{fa}$

$A_{v,net} = 5.33 \text{ cm}^2$, ενεργή επιφάνεια διάτμησης χωρίς τις οπές, $A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0$

$V_{pl,Rd} = 116.14 \text{ kN}$, διατμητική αντοχή, $V_{pl,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$

$$|V_{b,Ed}| \leq V_{pl,Rd}, \quad 1.50 < 116.14 \quad (0.01)$$

5.5 Σύνδεση γωνιακού



Εικόνα 25: Σύνδεση γωνιακού, Robot Structural Analysis

Στοιχεία Σύνδεσης

Δοκός: HEA 200 – HEA 140

S 275

Γωνιακά L 70x7

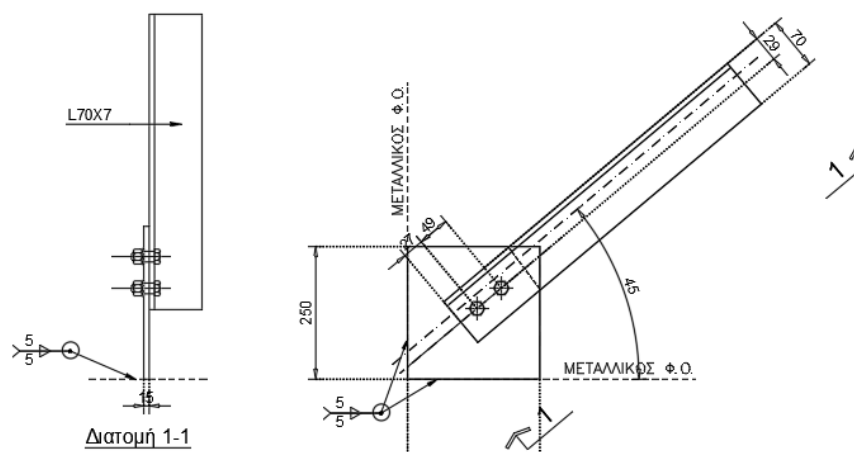
S 235

Κοχλίες: $d = 16 \text{ mm}$, Κλάση 8.8

Πλάκα 250x250x15

S 275

Αξονικό φορτίο $N = 17.64 \text{ kN}$



Εικόνα 26: Σχέδιο σύνδεσης γωνιακού

Διατμητική Αντοχή κοιλία

$$F_{v,Rd} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_v / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$, $A_v = 2.01 \text{ cm}^2$, $\gamma_{M2} = 1.25$ και $\alpha_v = 0.6$, για κοιλίες ποιότητας 8.8.

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 80 (\text{kN/cm}^2) \cdot 2.01 (\text{cm}^2) / 1.25$$

$$F_{v,Rd} = 77.18 \text{ kN}$$

Έλεγχος κοιλιών στο μέλος

$$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} = 2.50 > 0.$$

$$a_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bx} = 0.50$$

Αντοχή σε θλίψη άντυγας

$$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot a_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1x} = 2.5$, $a_{bx} = 0.50$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.7 \text{ cm}$ (γωνιακού), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1x} = 2.5 \cdot 0.50 \cdot 36 (\text{kN/cm}^2) \cdot 1.6 (\text{cm}) \cdot 0.7 (\text{cm}) / 1.25$$

$$F_{b,Rd1x} = 40.3 \text{ kN}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} = 2.11 > 0$$

$$a_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bz} = 0.54$$

Αντοχή σε θλίψη άντυγας

$$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot a_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1z} = 2.11$, $a_{bz} = 0.54$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 0.7 \text{ cm}$ (γωνιακού), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1z} = 2.11 \cdot 0.54 \cdot 36 (\text{kN/cm}^2) \cdot 1.6 (\text{cm}) \cdot 0.7 (\text{cm}) / 1.25$$

$$F_{b,Rd1z} = 36.75 \text{ kN}$$

Έλεγχος κοχλίων στο έλασμα

$$k_{1x} = \min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} = 2.50 > 0.$$

$$a_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bx} = 0.66$$

Αντοχή σε θλίψη άντυγας

$$F_{b,Rd1x} = k_{1x} * a_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1x} = 2.5$, $a_{bx} = 0.66$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 1.5 \text{ cm}$ (ελάσματος), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1x} = 114.05 \text{ kN}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} = 2.11 > 0$$

$$a_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$a_{bz} = 1.00$$

Αντοχή σε θλίψη άντυγας

$$F_{b,Rd1z} = k_{1z} * a_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$$

Αντικαθιστώντας $k_{1z} = 2.11$, $a_{bz} = 1$, $f_u = 36 \text{ kN/cm}^2$, $d = 1.6 \text{ cm}$, $t_i = 1.5 \text{ cm}$ (ελάσματος), $\gamma_{M2} = 1.25$.

$$F_{b,Rd1z} = 145.84 \text{ kN}$$

Υπολογισμός Δυνάμεων στου κοχλίες ανά διεύθυνση

$$N_{ed} = 17.64 \text{ kN}$$

$e = 9 \text{ mm}$, απόσταση μεταξύ του κέντρου της ομάδας κοχλίων του γωνιακού και του κέντρου του κορμού της δοκού.

$$M_0 = 0.16 \text{ kNm}, \text{πραγματική ροπή } M_0 = 0.5 * N_{b,Ed} * e$$

$n=2$, αριθμός κοχλιών

$F_{NSd} = 8.82$ kN, συνιστώσα τέμνουσας στο κοχλία στη z διεύθυνση, $F_{NSd} = |N_{b,Ed}|/n$

$F_{MSd} = 3.34$ kNm, ροπή στο κοχλία στη x διεύθυνση, $F_{MSd} = |M_0| * x_{max} / \sum x_i^2$.

$F_{x,Ed} = 8.82$ kN, συνολική δύναμη του κοχλία στην διεύθυνση x , $F_{x,Ed} = F_{NSd}$

$F_{z,Ed} = 3.34$ kN, συνολική δύναμη του κοχλία στην διεύθυνση z , $F_{z,Ed} = F_{MSd}$

$F_{Ed} = 9.43$ kN, τέμνουσα δύναμη στο κοχλία, $F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed})^2 + (F_{z,Ed})^2}$

$F_{Rdx} = 40.32$ kN, Αντοχή κοχλία στην διεύθυνση x , $F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$

$F_{Rdz} = 36.59$ kN, Αντοχή κοχλία στην διεύθυνση z , $F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$

Ελέγχοι

$$|F_{x,Ed}| \leq F_{Rdx}, \quad 8.82 < 40.32 \quad (0.22)$$

$$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz}, \quad 3.34 < 36.57 \quad (0.09)$$

$$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}, \quad 9.43 < 77.21 \quad (0.12)$$

Έλεγχος απομειωμένης διατομής

$\beta_2 = 0.43$ (Βάγιας σελ. 88), $d_0 = 1.8$ cm, $t_f = 0.7$ cm (γωνιακού)

$$A_{net} = A - d_0 * t_f$$

$$A_{net} = 9.4 - 1.8 * 0.7$$

$$A_{net} = 8.14$$

$$N_{u,Rd} = (\beta_2 * A_{net} * f_u) / \gamma_{M2}$$

$$N_{u,Rd} = 100$$
 kN

$$N_{pl,Rd} = (A * f_y) / \gamma_{M0}$$

$$N_{pl,Rd} = 214.79$$
 kN

$$|N_{Ed}| \leq N_{u,Rd} \quad 17.64 < 100 \quad (0.18)$$

$$|N_{Ed}| \leq N_{pl,Rd} \quad 17.64 < 198.74 \quad (0.09)$$

Έλεγχος απόσχισης

$$A_{nt} = [(7-2.9)-d_0/2]*t$$

$$A_{nt} = (4.1 - 1.8/2)*0.7$$

$A_{nt}=2.24 \text{ cm}^2$, καθαρή επιφάνεια σε εφελκυσμό

$$A_{nv} = [(4.9+2.7) - 1.5*d_0]*t$$

$$A_{nv} = 7.6 - 1.5*1.8$$

$A_{nv} = 3.43 \text{ cm}^2$, επιφάνεια διάτμησης

Αντοχή σχεδιασμού σε απόσχιση για ομάδα κοχλιών που υπόκεινται σε έκκεντρη φόρτιση, $V_{effRd}=0.5*f_u*A_{nt}/\gamma_{M2} + (1/\sqrt{3})*f_y*A_{nv}/\gamma_{M0}$

$$V_{effRd}=78.79 \text{ cm}^2$$

$$|N_{b,Ed}| \leq V_{effRd}, \quad 17.64 < 78.79 \quad (0.22)$$

6. Συμπεράσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τέσσερις πίνακες στους οποίους γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων του λογισμικού FESPA και ROBOT με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς στο χέρι. Η σύγκριση γίνεται κατά τον υπολογισμό του καμπτικού λυγισμού για μία δοκό και ένα υποστύλωμα, για το λόγο αντοχής των συνδέσεων και για τον υπολογισμό των φορτίων χιονιού και ανέμου.

Στο πίνακα 6.1 γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ αυτών που προκύπτουν από το λογισμικό FESPA και από τους υπολογισμούς στο χέρι για τον υπολογισμό της αντοχής μίας δοκού σε καμπτικό λυγισμό. Η αντοχή υπολογίζεται και για τους δύο άξονες του μέλους. Η σύγκριση γίνεται για τις καμπύλες λυγισμού, για τον συντελεστή ατελειών και το μήκος λυγισμού που επιλέγονται στις δύο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα και στις δύο περιπτώσεις προκύπτουν ίδια. Ακόμα γίνεται σύγκριση για τις τιμές της ανηγμένης λυγηρότητας, τον μειωτικό συντελεστή λυγισμού χ , το κρίσιμο φορτίο λυγισμού και την αντοχή σε καμπτικό λυγισμό. Τα αποτελέσματα για αυτά τα μεγέθη δεν διαφέρουν σημαντικά, από 0.5%-10%, αποκλίσεις που θεωρούνται αποδεκτές για τους μηχανικούς.

Πίνακας 6.1: Καμπτικός λυγισμός δοκού, σύγκριση αποτελεσμάτων FESPA και υπολογισμών στο χέρι.

		Άξονας	Καμπύλη λυγισμού		a(συντελεστής ατελειών)		K(μήκος λυγισμού)	
Δοκός			FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι
		y	a	a	0.21	0.21	4.03	4.03
		z	b	b	0.34	0.34	1.03	1.03
$\bar{\lambda}$ (ανηγμένη λυγηρότητα)		χ		N_{cr}		N_{bRD}		
FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	
0.510	0.52	0.921	0.919	3535.64	3369.09	845.40	843.34	
0.480	0.49	0.893	0.889	3972.30	3812.38	819.36	815.81	

Στο πίνακα 6.2 γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ αυτών που προκύπτουν από το λογισμικό FESPA και από τους υπολογισμούς στο χέρι για τον υπολογισμό της αντοχής ενός υποστυλώματος σε καμπτικό λυγισμό. Η σύγκριση γίνεται για τα ίδια μεγέθη με πριν και τα αποτελέσματα παρουσιάζουν παρόμοιες αποκλίσεις.

Πίνακας 6.2: Καμπτικός λυγισμός υποστυλώματος, σύγκριση αποτελεσμάτων FESPA και υπολογισμών στο χέρι.

Υποστύλωμα		Άξονας	Καμπύλη λυγισμού		a		K	
			FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι
		y	b	b	0.34	0.34	5	5
		z	c	c	0.49	0.49	5	5
$\bar{\lambda}$		χ		N_{cr}		N_{bRD}		
FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	FESPA	Χέρι	
0.696	0.79	0.786	0.71	3060.84	2915.08	1163.83	1169.45	
1.157	1.18	0.455	0.44	1107.61	1054.86	673.62	651.34	

Στο πίνακα 6.3 γίνεται σύγκριση του λόγου αντοχής των συνδέσεων, οι οποίοι προκύπτουν από το λογισμικό ROBOT και υπολογισμούς στο χέρι. Τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία. Το εύρος των αποκλίσεων κυμαίνεται από 3%-10%, οι οποίες είναι αποδεκτές.

Πίνακας 6.3: Λόγος αντοχής συνδέσεων, σύγκριση αποτελεσμάτων ROBOT και υπολογισμών στο χέρι.

	ROBOT	Χέρι
Τύπος Σύνδεσης	Λόγος αντοχής	Λόγος αντοχής
Κορφιάς	0.81	0.84
Δοκός-Υποστύλωμα (άρθρωση)	0.15	0.17
Δοκός-Υποστύλωμα (πάκτωση)	0.72	0.77
Έδραση	0.51	0.55
Σύνδεση γωνιακού	0.20	0.22

Στο πίνακα 6.4 γίνεται σύγκριση των τιμών που προκύπτουν για το φορτίο χιονιού και αέρα από το λογισμικό FESPA και τους υπολογισμούς στο χέρι. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν στις δύο περιπτώσεις είναι παρόμοια, καθώς παρατηρούνται αποκλίσεις μικρότερες του 4%. Τα μεγέθη αυτά παρουσιάζουν τις μικρότερες αποκλίσεις από όλα τα μεγέθη που συγκρίνονται.

Πίνακας 6.4: Φορτία χιονιού και ανέμου, σύγκριση αποτελεσμάτων FESPA και υπολογισμών στο χέρι.

Φορτία	FESPA	Χέρι
Χιόνι, S (kN/m ²)	0.67	0.7
Άνεμος, q_p (kN/m ²)	0.64	0.66

Γενικά παρατηρείται ότι σε περιπτώσεις όπου η σύγκριση δεν γίνεται μεταξύ αριθμητικών αποτελεσμάτων, όπως για παράδειγμα όταν συγκρίνουμε τις καμπύλες λυγισμού και το συντελεστή ατελειών, τα αποτελέσματα συμπίπτουν απόλυτα, γεγονός που αποδεικνύει ότι και στους δύο τρόπους επίλυσης ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Ακόμα οι διαφορές που παρατηρούνται στα υπόλοιπα μεγέθη που συγκρίνονται παρουσιάζουν αριθμητικές αποκλίσεις, οι οποίες δεν είναι σημαντικές. Οι διαφορές αυτές δεν αποδεικνύουν, κάποια θεωρητική διαφορά στη διαδικασία επίλυσης που ακολουθείται σε κάθε τρόπο, καθώς οι αποκλίσεις δεν είναι τόσο σημαντικές για υποδηλώνουν την διαφορετική θεωρητική προσέγγιση στους ελέγχους που γίνονται. Μόνο στην περίπτωση των φορτίων μπορεί να υπάρχει μια μικρή διαφοροποίηση στις παραδοχές μεταξύ λογισμικού και υπολογισμών στο χέρι, παρ' όλα αυτά οι διαφορές είναι αμελητέες. Οι αποκλίσεις μπορούν να αιτιολογηθούν κυρίως με βάση την ακρίβεια που επιλέγεται σε κάθε τρόπο. Για παράδειγμα στους υπολογισμούς που γίνονται με κάποιο λογισμικό (FESPA και ROBOT), η ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι μεγαλύτερη (παραπάνω δεκαδικά ψηφία). Στους υπολογισμούς στο χέρι, οι υπολογισμοί γίνονται με ακρίβεια δύο δεκαδικών, η οποία είναι αποδεκτή σε επίπεδο μηχανικού. Η συμφωνία των αποτελεσμάτων δηλώνει ότι έχει ακολουθηθεί η σωστή διαδικασία για τον έλεγχο των μεταλλικών στοιχείων, τον έλεγχο των συνδέσεων και

τον υπολογισμό των φορτίων ανέμου και χιονιού και στις δύο περιπτώσεις υπολογισμών.

7. Βιβλιογραφία

1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (1999). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος ΙΙ». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005α). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., (2005β). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Ιωάννης Χ. Ερμόπουλος: «Ευρωκώδικας 1: Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις επί την κατασκευών. Ερμηνευτικά σχόλια και παραδείγματα εφαρμογής». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2005 2η έκδοση
4. EN 1991-1-1, Ευρωκώδικας 1, «Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα», Μέρος 1-1: Γενικές δράσεις-Πυκνότητες, ίδιον βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια CEN, Απρίλιος 2002
5. EN 1991-1-3, Ευρωκώδικας 1, «Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα», Μέρος 1-3: Γενικές δράσεις- Φορτία χιονιού CEN Ιούλιος 2003
6. EN 1991-1-4, Ευρωκώδικας 1, «Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα», Μέρος 1-4: Γενικές δράσεις- Δράσεις ανέμου CEN, Ιανουάριος 2004
7. EN 1993-1-1, Ευρωκώδικας 3, «Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα», Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες- Γενικοί κανόνες για κτίρια, CEN, Ιούνιος 2004
8. EN 1993-1-8, Ευρωκώδικας 3, «Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα», Μέρος 1-8: Γενικοί κανόνες- Σχεδιασμός κόμβων, CEN, Μάιος 2003
9. EN 1998-1-1, Ευρωκώδικας 8, «Αντισεισμικός σχεδιασμός», Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια, CEN, Δεκέμβριος 2004.