

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

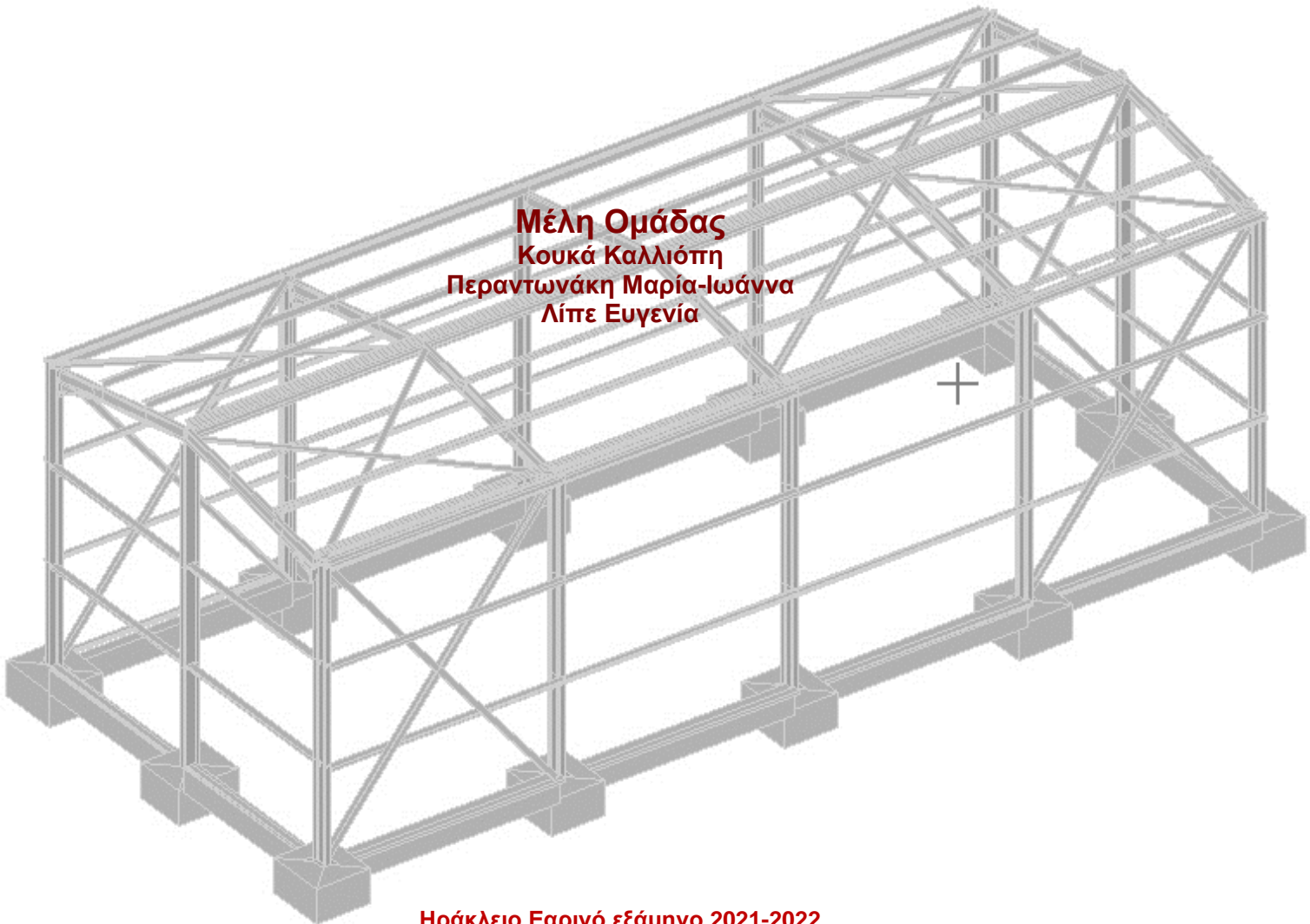
# Πτυχιακή Εργασία

## Θέμα

Σχεδιασμός – Μελέτη Μεταλλικών Κατασκευών

### Μέλη Ομάδας

Κουκά Καλλιόπη  
Περαντωνάκη Μαρία-Ιωάννα  
Λίπτε Ευγενία



Ηράκλειο Εαρινό εξάμηνο 2021-2022

## Ευχαριστίες

Με αυτή την εργασία ολοκληρώθηκε ένας μεγάλος κύκλος, ο κύκλος των σπουδών. Θα θέλαμε λοιπόν να ευχαριστήσουμε τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μας και χωρίς αυτούς δεν θα μπορούσαμε να ζήσουμε αυτό το μοναδικό ταξίδι, τη φοιτητική ζωή. Αυτοί δεν μπορούν να είναι άλλοι από τους γονείς μας αλλά και τους πολύ δικούς και αγαπημένους ανθρώπους που βρίσκονται πάντα δίπλα μας.

Επιπλέον ένα μεγάλο ευχαριστώ στη καθηγήτρια μας Αμαλία Μουτσοπούλου που μας βοήθησε να ολοκληρώσουμε τη πτυχιακή μας εργασία με εναλλακτικούς τρόπους ώστε να τελειώσουμε το θέμα που επιλέξαμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2022  
Ευγενία Λίπε  
Καλλιόπη Κουκά  
Μαρία-Ιωάννα Περαντωνάκη

# 1. Κατάλογος Περιεχομένων

## Περιεχόμενα

1.	Κατάλογος Περιεχομένων .....	3
2.	Περίληψη στα Αγγλικά .....	5
3.	Εισαγωγή .....	6
4.	Βιβλιογραφική αναφορά.....	7
4.1.	Ιστορική αναδρομή .....	7
4.2.	Πληροφορίες για τον χάλυβα.....	13
4.3.1.	Χάλυβας: η δομή και οι ιδιότητες τους. ....	13
4.3.2.	Τρεις βασικές μέθοδοι παραγωγής του χάλυβα .....	14
4.3.3.	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χάλυβα. ....	17
4.3.4.	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χάλυβα ως δομικό υλικό. ....	18
4.3.5.	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεταλλικών κτηρίων .....	19
4.3.	Μεταλλικές κατασκευές και Μηχανολογία .....	20
5.	Ευρωκώδικας 1 <<Δράσεις στις κατασκευές >>. ....	21
5.1.	Γενικές φορτίσεις.....	22
5.2.	Κινητό(μεταβλητό) φορτίο (LiveLoads) .....	23
5.3.	Φορτία χιονιού .....	24
5.3.1.	Γενικές πληροφορίες .....	24
5.3.2.	Μέθοδοι υπολογισμού του φορτίου χιονιού με βάση τον Ευρωκώδικα. .	24
5.3.3.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β EN1991-1-3.....	31
5.4.	Φορτία ανέμου .....	32
5.4.1.	Γενικές πληροφορίες .....	32
5.4.2.	Μέθοδοι υπολογισμού φορτίων ανέμου. ....	33
5.4.3.	Δυνάμεις ανέμου.....	40
5.5.	Θερμοκρασιακές μεταβολές .....	41
5.6.	Μόνιμο φορτίο(Dead Load).....	41
6.	Αναλυτική διαστασιολόγηση (Ευρωκώδικας 3). ....	41
6.1	Γενική αναφορά στον Ευρωκώδικα 3 .....	41
6.1.1.	Αρχές και κανόνες. ....	41
6.1.2.	Εξασφάλιση ανθεκτικότητας και συνθήκες ασφαλείας. ....	43
6.1.3.	Απαιτούμενη έλεγχος.....	44
6.1.4.	Σύμβολα.....	45
6.1.5.	Ορολογία και συμβάσεις. ....	46
6.2	Οριακές Καταστάσεις. ....	47
7.	Αρχές σχεδιασμού χαλύβδινων κτηρίων. ....	49
7.1	Βασικές αρχές σχεδιασμού. ....	49
7.2	Σχεδιαστικές απαιτήσεις. ....	50
7.3	Προϋπολογισμός εργασιών και κόστος συντήρησης.....	51
7.4	Μέθοδοι ανάλυσης χαλύβδινων κατασκευών.....	51
8.	Συγκολλήσεις.....	65
8.1	Γενικές πληροφορίες.....	65
8.1.1.	Χρησιμότητα των συγκολλήσεων. ....	65
8.2	Διαδικασίες συγκόλλησης. ....	66
8.2.1.	Είδη συγκολλήσεων ανάλογα με την φύση του συγκολλητικού υλικού..	74
8.3	Έλεγχος συγκολλήσεων.....	76
8.4	Ασυνέχειες των συγκολλήσεων. ....	78
9.	Παράδειγμα .....	79
9.1	Γενικά .....	79

9.2.1.	Επιλογή υλικών και διατομών.....	79
9.2.2.	Γεωμετρία φορέα.....	80
9.2	Φορτία στην κατασκευή.....	82
9.2.1.	Φορτία σεισμού.....	85
9.2.2.	Δυναμική ανάλυση.....	88
9.2.3.	Ιδιομορφές κτηρίου και ιδιομορφικές μάζες.....	89
9.2.4.	Συνδυασμοί φορτίσεων.....	90
9.2.5.	Οριακές καταστάσεις.....	90
9.2.6.	Περιβάλλουσα εντατικών μεγεθών.....	91
9.2.7.	Υποπρόγραμμα DBview.....	91
9.2.8.	Υποπρόγραμμα AQB.....	91
9.3	Συνδυασμοί φορτίσεων.....	91
9.3.1.	Έλεγχοι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.....	91
9.3.1.1	Τιμές σχεδιασμού για τους συντελεστές του υλικού.....	91
9.3.1.2	Κατάταξη διατομών.....	92
9.3.1.3	Αντοχή διατομών.....	94
9.3.2.	Υποστηλώματα..... <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
9.3.1.4	Έλεγχος υποστυλωμάτων.....	100
9.3.3.	Έλεγχος κύριων δοκών ζυγώματος στέγης.....	109
9.3.4.	Έλεγχος δευτερεύουσων δοκών.....	116
9.3.5.	Έλεγχος διαγώνιων στοιχείων κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας.....	124
9.3.6.	Έλεγχος διαγώνιων στοιχείων οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας.....	126
9.3.7.	Τεγίδες.....	127
9.4	Συνδέσεις μελών.....	130
9.4.1.	Σύνθεση τμημάτων μεταλλικού κτηρίου.....	131
9.4.2.	Συγκόλληση με μετωπικές πλάκες.....	131
9.4.3.	Προβλέψεις κανονισμού.....	132
9.4.4.	Έλεγχος συνδέσεων στο INSTANT 2000.....	134
10.	Επίλογος - Συμπεράσματα Project.....	135
11.	Βιβλιογραφία.....	136

## 2. Περίληψη στα Αγγλικά

The existence of steel seems to have started in 1000 BC when metallurgists produced steel by carbonization of spongy iron. Since then, steel production has experienced tremendous growth. From simple weapons, utensils of everyday life came to modern times to be used for the construction of metal buildings. Well-known buildings and structures, some of which still exist today, are the Brooklyn Bridge in New York, the Crystal Palace in London and the Burj Khalifa in Dubai, United Arab Emirates. The easy management of the material as well as the economical price captured in its huge development. However, the study needed for the construction is demanding, as the loads they receive are enough and the materials must be of good quality so as not to appear serious problems and withstand the corrosion of time. In Greece, it has shown greater recognition in recent years due to the creation of programs that facilitate the study. There are two main categories of steel alloy steels and carbon steels and their production methods are as follows: oxygen blowing method, electric furnace method, Bessemer method, Siemens-Martin method. In this thesis, the construction of a metal shed will be studied. Initially, a small historical retrospection is made, then a reference is made to the Eurocodes required (Eurocode 1- Eurocode 3), a study of the boundary situations and welds and finally, in order to understand the above, another dissertation is presented with the same subject where the SOFISTIK program was used for the study of the construction.

**Keywords:** metal buildings, steel, Eurocode 1, Eurocode 3

### 3. Εισαγωγή

Η κατασκευή των μεταλλικών κτιρίων τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί αρκετά και σιγά σιγά αναγνωρίζετε και στην Ελλάδα, καθώς ο χάλυβας χαρακτηρίζεται ως ένα οικονομικό και εύκολο υλικό όσο αφορά τη διαχείρισή του. Στη συγκεκριμένη εργασία, όπως θα γίνει αντιληπτό από τα παρακάτω, θα μελετηθεί ένα μεταλλικό υπόστεγο. Η χρήση του συγκεκριμένου κτιρίου θα είναι βιομηχανική και θα χρησιμοποιείται για την αποθήκευση μηχανημάτων.

Παρόλο που η ιδιότητα των μελετητών είναι μηχανολόγοι μηχανικοί αποφασίστηκε από κοινού και με τη σύμφωνη γνώμη της υπεύθυνης καθηγήτριας να γίνει η μελέτη σε συγκεκριμένα κομμάτια τα οποία μπορούν να διαχειριστούν καθώς γενικά οι μελέτες για στατικά απευθύνονται σε πολιτικούς μηχανικούς.

Παρακάτω, αρχικά γράφετε η ιστορική αναδρομή, αναφέροντας μεγάλα έργα που έχουν γίνει όλα τα χρόνια και μέσα από αυτά φαίνεται η εξέλιξη των κτιρίων και γενικά των μεταλλικών κατασκευών. Στην ίδια ενότητα υπάρχουν πληροφορίες για το χάλυβα όπως τη δομή του και τις ιδιότητές του, αλλά και μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα.

Επιπροσθέτως, σύμφωνα πάντα με την επιβλέπουσα καθηγήτρια, αποφασίστηκε να μην αναλυθούν όλοι οι ευρωκώδικες που χρησιμοποιούνται, αλλά μόνο ο ένας (1) και ο τρία (3). Παρακάτω λοιπόν και συγκεκριμένα στα κεφάλαια πέντε (5) και έξι (6) αναλύονται οι συγκεκριμένοι ευρωκώδικες. Επιπλέον αναφέρονται και άλλα μέρη της κατασκευής όπως η επικάλυψή της και οι δοκοί που χρησιμοποιούνται καθώς είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι.

Επιπλέον ένα εξίσου βασικό μέρος της μελέτης αλλά και της κατασκευής είναι οι συγκόλληση που θα χρησιμοποιηθεί. Η συγκόλληση έχει ποικίλες μεθόδους για την ένωση δύο ή περισσότερων μεταλλικών στοιχείων οι οποίες υπάρχουν στα επόμενα κεφάλαια. Η επιλογή του τρόπου συγκόλλησης εξαρτάται ανάλογα το πάχος, την έκταση, την βέλτιστη οικονομική λύση και το υλικό.

Για τη μελέτη δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιου είδους πρόγραμμα όπως συνηθίζεται αλλά πάρθηκε παρεμφερής εργασία, με τα ίδια δεδομένα, επεξεργάστηκε, σχολιάστηκε και αναλύθηκε διεξοδικά ώστε να γίνει αντιληπτός και από τους μελετητές ο τρόπος που γίνεται η διαδικασία.

Στην εργασία που αναλύθηκε, χρησιμοποιήθηκε ένα κύριο πρόγραμμα SOFISTIK όπου εκεί πραγματοποιήθηκαν, σύμφωνα και με τους υπολογισμούς που έγιναν στο χέρι, υπολογισμοί για τη κύρια κατασκευή. Επιπλέον το SOFISTIK αποτελείται και από δευτερεύοντα προγράμματα, τα οποία και αυτά βοήθησαν στην ολοκλήρωση των υπολογισμών.

Επιπροσθέτως καλό είναι να αναφερθεί ότι για τα επιπλέον μέρη που χρησιμοποιήθηκαν στη κατασκευή κυρίως για τη σύνδεση των κομματιών, έγινε χρήση μίας διαφορετικής εφαρμογής που είναι ειδική για τα συγκεκριμένα μέρη των μελετών. Εν κατακλείδι αυτή η πτυχιακή εργασία ολοκληρώθηκε με εναλλακτικούς τρόπους για να κατανοηθεί πλήρως και να διεξαχθεί σωστά.

## 4. Βιβλιογραφική αναφορά.

### 4.1. Ιστορική αναδρομή

Από την αρχαιότητα, όπως είναι γνωστό, ο σίδηρος είχε πρωταρχικό ρόλο στην καθημερινότητα των ανθρώπων αφού είχε εφαρμογή στα βασικά σκεύη, εργαλεία και όπλα της εποχής, σύμφωνα με τα ευρήματα. Περί το 1500 π.Χ. όπως καταγράφεται οι περιοχές του Καυκάσου και ειδικότερα στην Αρμενία έγινε η πρώτη παραγωγή σιδήρου.

Όμως τα πρώτα μεταλλικά αντικείμενα κατασκευάστηκαν από αυτοφυή μέταλλα, όπως χρυσό στην Αίγυπτο και τη Μεσοποταμία, χαλκό στη Περσία, στη Μεσοποταμία και την Αίγυπτο και λευκόχρυσο στην Αίγυπτο και στο Ίνκας επίσης κατασκευάζοντας και από σίδηρο που οι άνθρωποι έβρισκαν σε μετεωρίτες.

Έτσι, περίπου 5.000 χρόνια π.Χ., ο άνθρωπος πέρασε από την Εποχή του Λίθου στην Εποχή του Χαλκού. Η μετάβαση αυτή δεν εφαρμόστηκε ταυτοχρόνως την ίδια εποχή σε όλα τα μέρη του πλανήτη. Στην συνέχεια ο άνθρωπος έμαθε να κατεργάζεται μίγματα από ορυκτά διαφόρων μετάλλων με αποτέλεσμα να ανακαλύψει τα κράματα του χαλκού.

Οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι συνέδεαν με μέταλλο μόνο τα επιμέρους δομικά στοιχεία των κατασκευών τους και δεν το χρησιμοποιούσαν ως κύριο υλικό τους. Στα μέσα του 18<sup>ο</sup> αιώνα, και συγκεκριμένα το 1740 αφού άρχισε η βιομηχανική παραγωγή χάλυβα ξεκίνησαν να φτιάχνονται και μεταλλικές κατασκευές. Στην αρχή χρησιμοποιούσαν χυτοσίδηρο και σφυρηλατημένο σίδηρο και αργότερα χάλυβα, λόγω του υψηλού κόστους του.

Ο χάλυβας, ο οποίος πλέον είναι το κύριο υλικό για τη κατασκευή μεταλλικού κτιρίου, αποτελείται από κράμα σιδήρου-άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% άνθρακα, λιγότερο από 1% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Υπάρχουν και άλλες ειδικές κατηγορίες χάλυβα όπως παραδείγματος χάριν ανοξειδωτοί χάλυβες, εργαλειοχάλυβες και άλλα που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων. Οι χάλυβες (κοινώς ατσάλι) είναι το πιο συνηθισμένο υλικό κατασκευών μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο.

Σύμφωνα και πάλι με τα ιστορικά γεγονότα, στην Ανατολή, συγκεκριμένα σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία υπάρχουν στοιχεία που αναφέρουν την ύπαρξη σιδήρου πριν διαδοθεί στην Ευρώπη. Στην Ευρώπη ο σίδηρος ήρθε περίπου το 1200 π.Χ μέσω των αποικιών. Η χρήση και η εκμετάλλευση του υλικού αυτού στην Ελλάδα καταγράφεται σε ποικίλες ιστορικές αναφορές αλλά και στα Ομηρικά έπη. Πριν ξεκινήσει η βιομηχανική παραγωγή χάλυβα, συγκεκριμένα το 17<sup>ο</sup> αιώνα η επεξεργασία του σιδήρου γίνονταν με τη χρήση μεταλλουργικού οπτάνθρακα (κωκ).

Ο χάλυβας είχε αρχίσει ήδη να παράγεται βιομηχανικά, αλλά με υψηλό κόστος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Έτσι στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα άρχισαν οι βιομηχανίες να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες και σε πολύ χαμηλές τιμές. Επιπλέον την ίδια χρονική περίοδο ανακαλύφθηκαν και οι υδρομεταλλουργικές μέθοδοι παραγωγής μη σιδηρούχων μετάλλων.

Ακολούθως ο χάλυβας λόγω του χαμηλού κόστους του αλλά και της διαφορετικής του περιεκτικότητας σε άνθρακα σε σχέση με τον κατεργασμένο σίδηρο, έφερε ως αποτέλεσμα την πλήρη αντικατάσταση του σιδήρου στις μεταλλικές κατασκευές. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η ζήτηση των προϊόντων που αποτελούνταν από μέταλλο παρουσίασε εκθετική άνοδο. Ο χώρος της μεταλλουργίας εξελίχθηκε κατά τον 20 αιώνα. Αιτία αυτού αποτέλεσε η πρόοδος στον τομέα της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας.

Η πρώτη χρήση του χάλυβα σε κτίρια, έγινε στο Παρίσι. Ο αρχιτέκτονας Claude Perrault χρησιμοποίησε ράβδους χάλυβα ως ενίσχυση των τοίχων. Έπειτα από 100 χρόνια την

ίδια ιδέα υλοποίησε ο μηχανικός Jean Rondole όταν σχεδίασε την εκκλησία Ste. Genevieve. Αργότερα το έργο αυτό ονομάστηκε Πάνθεον. Με αυτά ως πρώτα βήματα ο χάλυβας ξεκίνησε να χρησιμοποιείται για την αλλαγή των διαστάσεων της κλασικής αρχιτεκτονικής. Ο χάλυβας παρόλο που είχε την θέση του κύριου υλικού στις κατασκευές χρησιμοποιούνταν σαν μη εμφανή δομικό στοιχείο. Οι ιδιότητες του αποτέλεσαν σημαντική και πρωταρχική εφαρμογή στην οικοδομική. Αυτό έφερε στο φως μια νέα αντίληψη στην αρχιτεκτονική.

Ο χάλυβας ως δομικό υλικό χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά με τη μορφή χυτοσιδήρου. Το υλικό αυτό όμως λόγω της μικρής του εφελκυστικής του αντοχής οδήγησε στον σχεδιασμό τοξωτών φορέων ( π.χ γέφυρες). Το 1779 έγινε η πρώτη χρήση του χυτοσιδήρου για τη κατασκευή ενός μεγάλου έργου και συγκεκριμένα της γέφυρας Coalbrook dale στην Αγγλία που είχε άνοιγμα 33m. Παρόλο που η κατασκευή αυτή αποτέλεσε υψηλή δαπάνη σύμφωνα με τα στοιχεία του κύριου προϋπολογισμού συνεχίζει να βρίσκεται σε λειτουργία. Αυτό το μεγάλο βήμα το εμπνεύστηκε και το κατασκεύασε ο μεταλλουργός Abraham Darby.



**Σχήμα 4.1:** Γέφυρα Coalbrook dale στην Αγγλία, κατασκευασμένη το 1779.

Έχοντας σαν αρχή την κατασκευή περίπλοκων κατασκευών, μεταξύ των ετών 1780-1820 κατασκευάστηκαν από χυτοσίδηρο αρκετές γέφυρες επί το πλείστον με αψιδωτή μορφή. Οι κατασκευαστές δεν στάθηκαν μόνο στις γέφυρες αλλά έκαναν κι άλλες δομικές κατασκευές, αφοτου έγινε ευρέως γνωστή η εκμετάλλευση του χάλυβα.

Έχοντας ως αρχή την εκμετάλλευση του χυτοσιδήρου στις γέφυρες που παρουσίαζαν μια ιδιομορφία ( αψιδωτή μορφή ) ακολούθησε η χρήση αυτού και σε άλλες ανερχόμενες κατασκευές. Όμως λόγω κάποιων εφελκυσμένων μελών που παρουσίαζαν ρωγμές, έφερναν ως αποτέλεσμα την κατάρρευση των γεφυρών αυτών. Αυτό είχε ως συνέπεια πολλά ατυχήματα που επί των πλείστον τα περισσότερα θανατηφόρα . Έτσι η χρήση του χυτοσιδήρου περιορίστηκε αυστηρά μόνο σε θλιβόμενα μέλη που δεν διέτρεχε ο κίνδυνος θραύσης. (π.χ υποστυλώματα).

Έχοντας ανάγκη για επέκταση των κατασκευών και κυρίως των γεφυρών, στεγάστρων και οικοδομικών έργων δημιουργήθηκε η ιδέα χρήσης συγκολλήσεων. Αυτή έφερε ως αποτέλεσμα την ενίσχυση αντοχών στα ελάσματα του κορμού αλλά και στις κύριες νευρώσεις . Επίσης με την εισαγωγή της ιδέας αυτής έπαψαν να χρησιμοποιούνται αμφιέριστοι φορείς όπως και χάλυβες μικρής αντοχής. Τέλος για την μείωση του βάρους αλλά και του κόστους σημαντικό ρόλο είχε η χρήση δικτυωτών.



Η πρώτη γέφυρα με τη χρήση χάλυβα που είχε και μεγάλα ανοίγματα ήταν η γέφυρα St. Louis στο άκρο του ποταμού Μισισσιπή στις ΗΠΑ, ολοκληρώθηκε το 1874. Η γέφυρα αυτή έχει τρία συνεχόμενα ανοίγματα της τάξεως των 150m περίπου το κάθε ένα (153-158-158m) είναι ακόμα και σήμερα σε λειτουργία. Το 1879 κι αφού είχαν περάσει ήδη 5 χρόνια κατασκευάστηκε στον ποταμό Μισισσιπή η πρώτη γέφυρα από πλήρως χαλύβδινα δικτυώματα. Η γέφυρα του Brooklyn η οποία κατασκευάστηκε το 1833 στον ποταμό East River της Ν. Υόρκης με μήκος ανοίγματος 486m είναι η πρώτη κρεμαστή γέφυρα με χαλύβδινα καλώδια ανάρτησης.



**Σχήμα 4.2:** Γέφυρα του Brooklyn στην Νέα Υόρκη, κατασκευασμένη το 1833 στον ποταμό East River.

Με τα χρόνια οι άνθρωποι μάθαιναν αυτό το νέο υλικό που τους ήταν χρήσιμο για τις κατασκευές τους και έτσι έβγαζαν νέες καλύτερες τεχνικές πάνω του. Μία τέτοια τεχνική ήταν η δοκός τύπου Gerber που μειώνει το κίνδυνο επιρροής από διαφορικές καθιζήσεις και η χρήση παραβολικών στοιχείων που ακολουθούν το διάγραμμα ροπών, για οικονομία υλικού και μείωση νεκρού βάρους.

Επίσης, η βιομηχανική παραγωγή του πολυτοπαγούς σιδήρου μετά το 1840 άρχισε να αλλάζει και να αντικαθιστάτε με το χυτοσίδηρο. Αυτό συνέβη κυρίως λόγω της σημαντικής ιδιότητας του να δέχεται μεγάλες εφελκυστικές παραμορφώσεις στη πλαστική περιοχή χωρίς να θραύεται.

Ο σίδηρος αυτός λόγω της ιδιότητας να παραμορφώνεται χωρίς να θραύεται είχε την ικανότητα να παίρνει την μορφή λεπτών πλακών οι οποίες συνδέονταν με ήλους χωρίς να υπάρχει πρόβλημα κάμψης ή μείωσης αντοχής τους. Η πρώτη γέφυρα με πολυτοπαγή σίδηρο είναι η γέφυρα Britannia, είναι η πρώτη σημαντική ολόσωμη σιδηροδρομική γέφυρα μέγιστου ανοίγματος 142m στη ζεύξη Μεναι στην Αγγλία.

Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, έγινε άμεση ανάγκη η δημιουργία μεγάλων βιομηχανικών χώρων. Το γεγονός ότι θα καλύπτονταν μεγάλες επιφάνειες και ότι η κατασκευή των έργων έπρεπε να γίνεται με μεγάλες ταχύτητες, έφερε το αποτέλεσμα που όλοι πίστευαν από την αρχή. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν η αποκλειστική χρήση του χάλυβα ως βασικό δομικό υλικό.

Έπειτα το 1851 κατασκευάστηκε στο Λονδίνο το Crystal Palace Hotel από μέταλλο αλλά και γυαλί σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, για την εποχή (10 μήνες). Έτσι είχε έρθει η

εποχή όπου τα κτίρια θα άλλαζαν και δεν θα είχαν ποια τη συνηθισμένη μορφή. Η κατασκευή μέσω ελάσεων διαφόρων μορφών και διατομών όπως παραδείγματος χάριν ορθογωνικών, κυκλικών, σωληνωτών, άρχισε όταν ο χυτοσίδηρος και ο πολτοπαγής σίδηρος παρουσίασαν ευρύτερη χρήση.

Η κατασκευή σιδηροτροχιών με την χρήση ελάσεων εμφανίζεται το 1820 ενώ κοντά στο 1870 γίνεται η χρήση των διατομών διπλού T (υποστυλωμάτων από χυτοσίδηρο και δοκών από πολτοπαγή σίδηρο). Το παλαιότερο κτήριο το οποίο διαθέτει σκελετό αποκλειστικά από σίδηρο βρίσκεται στο Παρίσι στο Menier και είναι το Chocolate Factory το οποίο κατασκευάστηκε το 1871-1872.

Το κτήριο παρουσιάζει μια εξαιρετική αρμονία στην χρήση δυο διαφορετικών δομικών υλικών όπως είναι το τούβλο και ο σίδηρος. Ένα σημαντικό στοιχείο στην συγκεκριμένη κατασκευή είναι η πρωτοπορία στο σίδηρο όπου δέχεται τις δυνάμεις και από τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία. Αυτό επιτεύχθηκε με τον εξής τρόπο, οι διατομές του σιδήρου αποτελούνται από δύο διατομές T με αποτέλεσμα το διπλό T που έχει δημιουργηθεί να έχει την μορφή ή και αυτό να το περιβάλλουν τα τούβλα.



**Σχήμα 4.3:**

Crystal Palace στο Λονδίνο, κατασκευασμένο το 1851.

Η κατασκευή κτιρίων, γραφείων, εκθεσιακών χώρων και άλλων κατασκευών στα τέλη του δέκατου αιώνα έγινε ευρέως γνωστή, τόσο στις πόλεις των ΗΠΑ όσο και σε χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης. Αρνητικό στοιχείο για την μεγάλη αυτή εξέλιξη των κατασκευών ήταν το γεγονός ότι οι μηχανικοί εκείνης της εποχής διέθεταν μόνο θεωρητικές γνώσεις, που περιορίζονταν πάνω στο νόμο της ελαστικότητας, στη θεωρία λυγισμού ράβδων, στις διαφορικές εξισώσεις λυγισμού πλακών και αφορούσαν τη μηχανική συμπεριφορά σιδηρών ή χαλύβδινων δομικών στοιχείων.

Από τη στιγμή όμως που ανοίγονταν άλλοι ορίζοντες με τη χρήση νέων υλικών όπως ήταν ο χάλυβας, αλλά και την εφαρμογή νέων τεχνικών κατασκευής, οι μελετητές των έργων και οι μηχανικοί προχώρησαν σε άλλες λύσεις που ήταν επιτυχημένες για τα δεδομένα εκείνης της εποχής, αφού υπήρχε παντελής έλλειψη ειδικών σχετικών κανονισμών και προδιαγραφών. Παρόλες τις δυσκολίες, τα πρώτα κτίρια από χάλυβα με ηλώσεις μελετήθηκαν με μία στατική θεωρία η οποία δεν είναι πολύ διαφορετική από τη σύγχρονη μελέτη.

Ο φορέας του εκάστοτε κτιρίου αποτελούνταν από ένα πολυόροφο πλαίσιο που είχε ενισχυμένους τους κόμβους σύνδεση ορόφων-υποστυλωμάτων, ακόμα κι εάν στο κτίριο υπήρχε σε κάθε ύψος ανεπτυγμένο δικτύωμα με ηλώσεις, με το οποίο συνδέονταν οι

όροφοι. Με το τρόπο αυτό απέφευγαν τη δημιουργία ροπών λόγω οριζόντιων ωθήσεων, όπως είναι ο άνεμος, ο σεισμός κι άλλα.

Καλό είναι να σημειωθεί ότι σε εκείνες, τις πρώτες δηλαδή χαλύβδινες κατασκευές τις προδιαγραφές τις έβαζαν οι μελετητές, οι ιδιοκτήτες ή οι εταιρείες που είχαν αναλάβει το έργο. Προδιαγραφές μεταλλικών γεφυρών που είναι τρανταχτά παραδείγματα είναι της εταιρίας σιδηροδρόμων Santa Fe (1895) της εταιρίας του Καναδικού Σιδηροδρόμου του Ειρηνικού (1901).

Τα πρώτα χαλύβδινα κτίρια, που έγιναν πολλά χρόνια πριν, και είναι ακόμα “ζωντανά” αξίζει να γραφτούν: Το Crystal Palace που αναφέρθηκε παραπάνω και βρίσκεται στο Λονδίνο, το εκθεσιακό κέντρο Jephney που βρίσκεται στο Σικάγο και κατασκευάστηκε το 1892, το 20-οροφο συγκρότημα γραφείων της Εταιρίας Brunce Price’s American Surety βρίσκεται στη Νέα Υόρκη (1895), ο γνωστός σε όλους Πύργος του Eiffel ο οποίος βρίσκεται στο Παρίσι (1876), το ξενοδοχείο Ritz στο Λονδίνο (1904), το κτίριο της Morning Post (1906), το R.A.C Club (1910), το Kodak House (1911) και το γερμανικό περίπτερο στην έκθεση της Βαρκελώνης (1929).



**Σχήμα 4.4:** Συγκρότημα γραφείων της Εταιρίας Brunce Price’s American Surety στη Νέα Υόρκη, κατασκευασμένο 1895.

Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα οι πόλεις όλο ένα και αυξάνονταν πληθυσμιακά, τα οικόπεδα πλέον δεν έφταναν για όλο αυτό το κόσμο και οι τιμές τους όλο ένα και ανέβαιναν. Έτσι, με το χάλυβα πάντα ως βασικό υλικό, έρχονται στην επιφάνεια καινούργια σχέδια με μεγάλα κτήρια που με τα χρόνια γίνονται ακόμα υψηλότερα και με την οριζόντια τους πλευρά ακόμα πιο ανεπτυγμένη. Τα πολυώροφα κτήρια που ξεκίνησαν να φτιάχνονται στις ΗΠΑ ονομάζονταν ουρανοξύστες, και εξυπηρετούν μέχρι και σήμερα εκατομμύρια ανθρώπους είτε για την εργασία τους είτε για κατοικία.

Πρωταρχική θέση ακόμα και σε αυτή την εποχή στη κατασκευή τέτοιων κτιρίων έχουν οι χώρες των ΗΠΑ αλλά και οι χώρες της κεντρικής και ανατολικής Ασίας και των Αραβικών Εμιράτων. Στις ΗΠΑ και πάλι, έγινε το κτήριο ορόσημο για την ιστορία των ουρανοξυστών όπου είναι το Empire State το οποίο αποτελείται από 102 ορόφους και έχει συνολικό ύψος 381m. Έκανε να φτιαχτεί 14 μήνες, εγκαινιάστηκε το 1931 και είχε το τίτλο του υψηλότερου κτηρίου για 41 χρόνια.



**Σχήμα 4.5:** Κατασκευή μεταλλικών κτηρίων.

Στις νέες αυτές μελέτες, η κατασκευή της τοιχοποιίας άλλαξε το βάρος της μειώνονταν, ξεκίνησαν να εισάγονταν πλαισιακοί φορείς με άκαμπτες συνδέσεις και οριζόντιο σύνδεσμοι οι οποίοι δέχονται τις καταπονήσεις που γίνονται. Τα χαλύβδινα όμως πλαίσια χρησιμοποιούνταν κυρίως για τη κατασκευή βιομηχανικών εγκαταστάσεων για αρκετά χρόνια και συγκεκριμένα από τον τέλος του Β' Παγκοσμίου πολέμου έως και το 1970.

Μετά το 1980 χαλύβδινα πλαίσια χρησιμοποιήθηκαν για να κατασκευαστούν αρκετά κτήρια σε όλες τις μεγαλουπόλεις του κόσμου. Από στατιστικά στοιχεία του 1990 πολλά κτήρια που δεν αποσκοπούσαν να γίνουν κατοικίες ήταν χαλύβδινα. Συγκεκριμένα στη Μεγάλη Βρετανία το 90% των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και το 50% των πολυώροφων κτηρίων.

Μετά από αυτά και για τα επόμενα χρόνια τα ύψη των κτηρίων ξεπερνούσαν κάθε προσδοκία καθώς κάθε νέα κατασκευή ήταν και πιο ψηλή από τις προηγούμενες. Αρκετά διαδεδομένα κτήρια ή και όχι τόσο πολύ είναι φτιαγμένα από χάλυβα. Ένα από αυτά είναι οι δίδυμοι πύργοι οι οποίοι δεν είναι υπάρχουν σήμερα, φτιάχτηκαν όμως το 1973 και είχαν 110 ορόφους και ύψος 410m. Ο πιο ψηλός ουρανοξύστης στο κόσμο τη σημερινή εποχή είναι ο Burj Khalifa στο Ντουμπάι των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων με ύψος 828 m. Η κατασκευή του διήρκεσε 5 χρόνια, από το 2004 έως το 2009.



**Σχήμα 4.6:** Burj Khalifa στο Ντουμπάι των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων, το υψηλότερο κτήριο στο κόσμο.

Στην Ελλάδα οι χαλύβδινες κατασκευές οι οποίες έχουν γίνει δεν επεκτείνονται σε ύψος αλλά οριζόντια. Η οριζόντια αυτή ανάπτυξη τους γίνεται σε βιομηχανικά υπόστεγα, υπόστεγα αεροσκαφών, αποθήκες, στέγαστρα γηπέδων και άλλα. Τον τελευταίο καιρό και ιδιαίτερα τα τελευταία δέκα χρόνια φτιάχτηκαν μεταλλικά κτήρια μεγάλου μεγέθους που χρησιμοποιούνται τις περισσότερες φορές για την εγκατάσταση γραφείων.

Αφού η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αναφέρετε στη μελέτη μεταλλικού κτηρίου η αναζήτηση για την ιστορική αναδρομή επικεντρώθηκε εκεί, καλό όμως είναι να αναφερθούν και άλλα έργα πολύ σημαντικά που γίνονται μόνο από χάλυβα. Οι πύργοι ανεμογεννητριών με ύψη από 80 μέχρι 120 μέτρα, χαλύβδινοι καπνοδόχοι, πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, χαλύβδινοι ιστοί κινητής τηλεφωνίας, χαλύβδινα δικτυώματα στήριξης κατόπτρων τηλεπικοινωνιών, χαλύβδινες δεξαμενές αλλά και σιλό είναι μερικά παραδείγματα κατασκευών που έχουν ως κύριο στοιχείο κατασκευής το χάλυβα.

Το ύψος και το μέγεθος όλων των κατασκευών αλλάζει ανάλογα με τις ανάγκες του ανθρώπου είτε αυτές επικεντρώνονται στο λειτουργικό κομμάτι είτε στο αισθητικό. Επειδή οι άνθρωποι προσπαθούν μέρα με τη μέρα να ξεπεράσουν τα όρια τους για αυτό και προσπαθούν να φτιάχνουν όλο και μεγαλύτερα επιτεύγματα που να είναι πιο εντυπωσιακά από τα προηγούμενα και πιο καινοτόμα τεχνολογικά. Ταυτόχρονα με τη κατασκευή ψηλών κτηρίων ο χάλυβας δίνει δυνατότητες στο μηχανικό για να συνθέσει πολύπλοκους φορείς με καινούργια όψη, ξεφεύγοντας από τα παραδοσιακά στερεότυπα.

Τα τελευταία χρόνια και αφού η καθημερινότητα γίνεται όλο ένα κι ευκολότερη, έτσι και η μελέτη των κατασκευών με τη χρήση των υπολογιστικών προγραμμάτων έκανε πιο εύκολη τη ζωή των μηχανικών και τους έδωσε ώθηση να δημιουργήσουν περισσότερο αφού έχουν επιπλέον δυνατότητες από παλιά. Εκτός από την ευκολία του προγράμματος η επένδυση του χάλυβα γίνεται ακόμα πιο εύκολη, με υλικά και τοιχοποιίες και αυτό κάνει τις κατασκευές ακόμα πιο όμορφες αισθητικά, αφού η νέα αρχιτεκτονική το απαιτεί.

## **4.2. Πληροφορίες για τον χάλυβα.**

### **4.3.1. Χάλυβας: η δομή και οι ιδιότητες τους.**

Σύμφωνα με την ιστορική αναδρομή όπως προαναφέρθηκε ο χάλυβας ή αλλιώς το ατσάλι αποτελείται από 2.06% άνθρακα ,από 1% μαγγάνιο αλλά και από ελάχιστα ποσοστά φωσφόρου, θείου ,πυριτίου ,οξυγόνου νικελίου, χρωμίου, μολυβδαίνιου, βαδανίου και ζirkονίου. Είναι κράμα αποτελούμενο από σίδηρο και άνθρακα. Ο σίδηρος αποτελεί το κύριο συστατικό του κράματος αφού πλεονεκτεί σε ποσοστό, ενώ υπάρχει μικρή αναλογία άνθρακα.

Οι ιδιότητες του δομικού χάλυβα μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με την χρήση του στην παραγωγή. Αυτό επιτυγχάνεται με την αλλαγή της χημικής σύνθεσης του δηλαδή με την αλλαγή των ποσοστών κάθε συστατικού που αποτελεί το υλικό αυτό. Κάθε μικρή ή και μεγάλη μεταβολή της περιεκτικότητας των αποτελούμενων στοιχείων φέρνει ως αποτέλεσμα την δημιουργία νέου δομικού χάλυβα.

Ο χάλυβας απαρτίζεται από δύο βασικές κατηγορίες σύμφωνα με την χρήση του σε διάφορες κατασκευές. Πιο αναλυτικά είναι :

- A. **Οι κραματωμένοι χάλυβες (alloysteels)**: Αποτελούνται από κράματα σίδηρου και μετάλλων. Αυτοί διακρίνονται σε :
- **Χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης**. Απαρτίζονται από χρώμιο, μολυβδαίνιο, νικέλιο κ.α. Το σύνολο των ποσοστών συμμετοχής αυτών των συστατικών θα πρέπει να φτάνει το πολύ το 10%. Ο συνηθέστερος και ο πιο διαδεδομένος χάλυβας χαμηλής κραμάτωσης είναι ο εργαλειοχάλυβας.

- **Χάλυβες υψηλής κραμάτωσης.** Οι ανοξείδωτοι χάλυβες και οι ταχυχάλυβες.

**B. Οι μη κραματωμένοι χάλυβες ή αλλιώς ανθρακούχοι, κοινοί (carbonsteels):** Αποτελούνται από άνθρακα, μαγγάνιο και πυρίτιο. Αυτοί διακρίνονται σε :

- Χάλυβες χαμηλού άνθρακα.
- Χάλυβες μέτριου άνθρακα.
- Χάλυβες υψηλού άνθρακα.
- Χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα.

Ο όρος κραματωμένος χάλυβας αναφέρεται στον δομικό χάλυβα του οποίου η περιεκτικότητα των αποτελούμενων κραματικών συστατικών υπερβαίνει το ποσοστό του 5%. Αυτό γίνεται για την καλύτερη απόδοση διαφόρων χαρακτηριστικών του χάλυβα.

#### **4.3.2. Τρεις βασικές μέθοδοι παραγωγής του χάλυβα**

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι παραγωγής χάλυβα οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω και έχουν ως εξής:

- 1 Με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο όπου εκεί παράγεται ο χυτοσίδηρος και σε συνέχεια γίνεται η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
- 2 Με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων, σε αυτή την μέθοδο γίνεται αναγωγή σε στερεά κατάσταση σε φρεατώδη κάμινο για να παραχθεί σπογγώδης σίδηρος ο οποίος μετατρέπεται σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου, και
- 3 Με την ανάπτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι στη παγκόσμια χαλυβουργία, με τις οποίες γίνεται η παρασκευή χάλυβα είναι η μέθοδος εμφύσησης οξυγόνου και η δευτερεύον είναι η μέθοδος της ηλεκτρικής καμίνου.

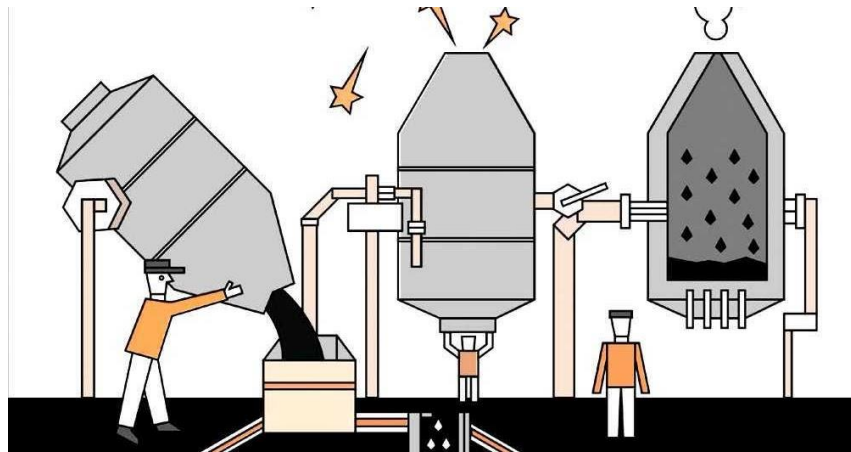
Εν συντομία οι μέθοδοι παρασκευής χάλυβα είναι οι παρακάτω:

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

#### **Μέθοδος Bessemer:**

Στη συγκεκριμένη μέθοδο, ο κοινός χυτοσίδηρος βρίσκεται μέσα στο μετατροπέα στο πυθμένα του οποίου εισάγεται είτε θερμός αέρας είτε αέρας και οξυγόνο με την μέθοδο της έμφυσης η οποία διενεργείται με τη βοήθεια ακροφυσίων. Ο αέρας αυτός κατακαίει η αλλιώς οξειδώνει τις ακαθαρσίες του λιωμένου χυτοσιδήρου αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο χυτοσίδηρος που λαμβάνεται να είναι σχεδόν πλήρως απαλλαγμένος από τον άνθρακα. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας προστίθεται η επιθυμητή ποσότητα του άνθρακα και ανάλογα με την περιεκτικότητα του χυτοσιδήρου σε φώσφορο, επενδύεται και ο μετατροπέας με όξινη ή βασική επένδυση.

Η επένδυση είναι όξινη στη περίπτωση που ο χυτοσίδηρος δεν είναι πλούσιος σε φώσφορο ενώ, στην αντίθετη περίπτωση δηλαδή που χυτοσίδηρος είναι πλούσιος σε φώσφορο επενδύεται με βασική επένδυση (σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται μέθοδος Thomas). Η συγκεκριμένη επένδυση είναι πλούσια σε βασικά οξείδια του ασβεστίου και του οξειδίου του μαγνησίου και λαμβάνεται με πύρωση του δολομίτη. Η άλλη περίπτωση η οποία είναι η όξινη πυρίμαχη επένδυση περιέχει άργιλο και διοξείδιο του πυριτίου.

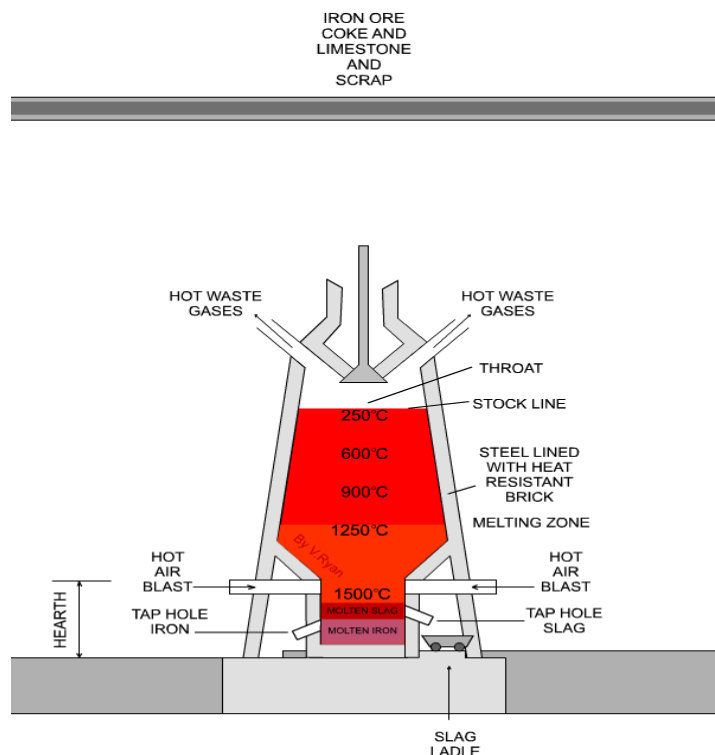


**Σχήμα 4.7:** Μέθοδος Bessemer

**Μέθοδος Siemens – Martin:**

Στη μέθοδο Siemens-Martin χρησιμοποιούνται αβαθείς κάμινοι με μεγάλη επιφάνεια αντίδρασης της επένδυσης, η οποία μπορεί να είναι βασική ή όξινη. Στην κάμινο η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει και τους 1500 – 1700 °C. Η υψηλή θερμοκρασία και η μεγάλη επιφάνεια της επένδυσης της καμίνου, επιτρέπουν την προγραμματισμένη επίδραση των οξειδωτικών αντιδράσεων.

Με τη χρήση αυτής της μεθόδου, καθίσταται δυνατή η παραγωγή χάλυβα, με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την τροφοδοσία της καμίνου. Όπως πχ η ράβδος κοινού χυτοσιδήρου και μεταλλεύματος (χυτοσίδηρος περίπου 75%), η μέθοδος κοινού χυτοσιδήρου και απορριμμάτων σφυρήλατου σιδήρου και χάλυβα (χυτοσίδηρος περίπου 25%) κλπ. Η μέθοδος Siemens – Martin, είναι κατάλληλη για παραγωγή οποιουδήποτε χάλυβα και επιτρέπει μία ακριβή σύνθεση των κραμάτων.

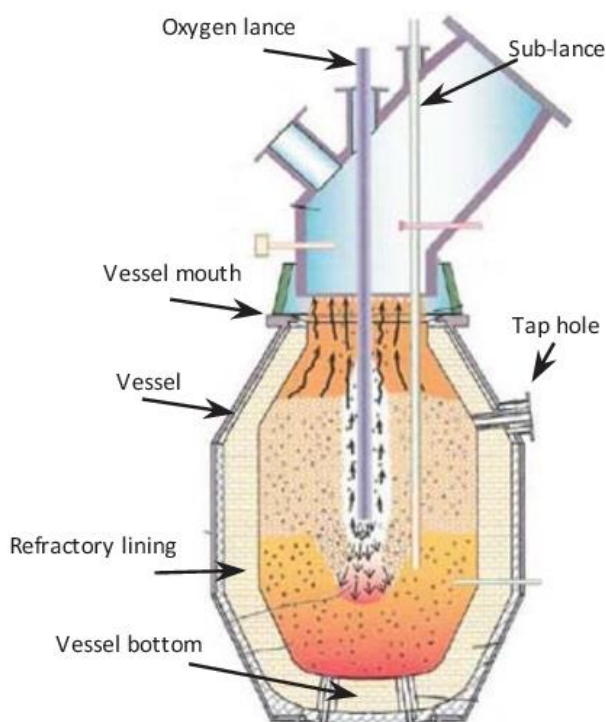


**Σχήμα 4.8:** Μέθοδος Siemens-Martin

### Μέθοδος εμφύσησης οξυγόνου:

Με βάση την μέθοδο εμφύσησης οξυγόνου τροφοδοτείται τήγμα χυτοσιδήρου μέσα σε μια δεξαμενή ή μετατροπέα, ο οποίος είναι μονωμένος με πυρίμαχη επένδυση. Η δεξαμενή είναι στερεωμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει την δυνατότητα να περιστρέφεται προς τα πλάγια για την τροφοδότηση του τήγματος και να φέρεται μετά σε κατακόρυφη θέση για το επόμενο στάδιο της διεργασίας. Όταν βρίσκεται στο στάδιο αυτό, μέσα στην δεξαμενή κατεβαίνει ένας σωλήνας ο οποίος ψύχεται με νερό και χρησιμεύει για την εμφύσηση οξυγόνου μέσα στο τήγμα.

Αρχικά ο σωλήνας οξυγόνου είναι ρυθμισμένος να κατεβαίνει και να είναι λίγο πιο πάνω από την επιφάνεια του τήγματος. Έπειτα το οξυγόνο που εξέρχεται από το σωλήνα, μαζί με τον άνθρακα, πραγματοποιούν μία χημική αντίδραση με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Επιπλέον, ο στροβιλισμός που γίνεται εξασφαλίζει την επαφή του άνθρακα με το οξυγόνο μετά από το στροβιλισμό, επέρχεται το τέλος της διαδικασίας, εκεί η δεξαμενή περιστρέφεται και έτσι συλλέγεται ο χάλυβας και απομακρύνεται η σκουριά και οι άλλες ακαθαρσίες.



**Σχήμα 4.9:** Μέθοδος εμφύσησης οξυγόνου

### Μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου:

Ο χάλυβας που λαμβάνεται από την μέθοδο της ηλεκτρικής καμίνου αποτελεί έναν εξαιρετικής ποιότητας χάλυβα, για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείτε και για την βελτιστοποίηση του χάλυβα που προέρχεται από τις μεθόδους Bessemer ή Siemens – Martin, καθώς επίσης και για την παρασκευή ειδικών χαλύβων.

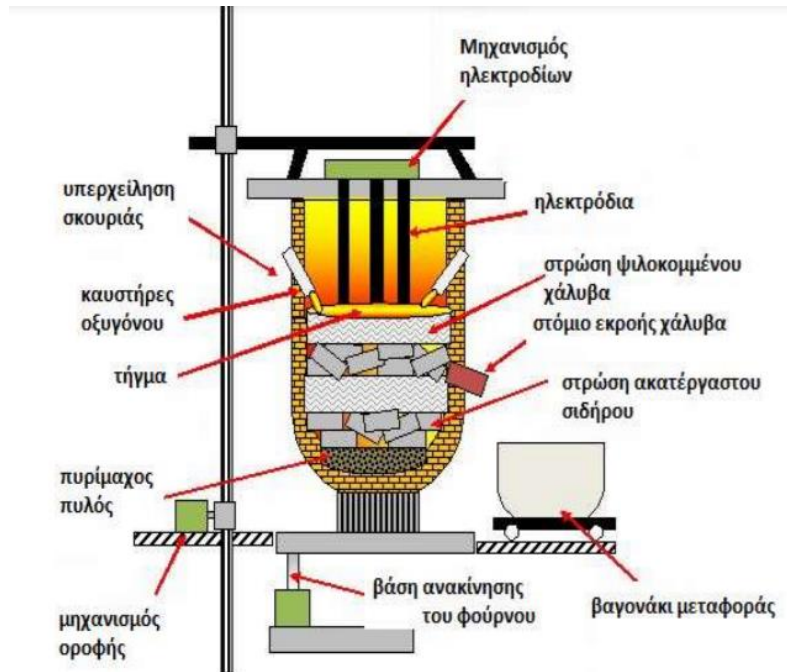
Με την βοήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται θερμότητα με τους εξής τρόπους:

- είτε διά σχηματισμού ηλεκτρικών τόξων μεταξύ ηλεκτροδίων από άνθρακα και του τήγματος.
- είτε διά καύσεως κωκ, μέσα στην υψικάμινο, με τη βοήθεια ηλεκτρικών αντιστάσεων, σε αυτή την περίπτωση, η ποσότητα του κωκ που προστίθεται είναι τόση όσο απαιτείται για την αντίδραση της αναγωγής του μεταλλεύματος.



Ανάλογα με τον τρόπο της περαιτέρω κατεργασίας, οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Χάλυβες διαμόρφωσης οι οποίοι υφίστανται επιπλέον μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση).
2. Χυτοχάλυβες οι οποίοι παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή «χελωνών» και επαναχυτεύονται για τη δημιουργία χυτών εξαρτημάτων.



**Σχήμα 4.10:** Μέθοδος ηλεκτρικής καμίνου (Wikipedia, 2017)

#### 4.3.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χάλυβα.

Ο χάλυβας ως υλικό έχει πολλά και ποικίλα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλα δομικά υλικά που υπάρχουν στην αγορά. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι:

1. Είναι σε μεγάλο ποσοστό ελαστικό υλικό. Έχει μεγάλη περιοχή πλαστικής παραμόρφωσης στο διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης, επιπλέον από τα παραπάνω απορρέει το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο υλικό αντέχει σε υψηλές δυνάμεις μέχρις ότου υπερβεί το όριο διαρροής του και εν τέλει αστοχήσει.
2. Είναι ανακυκλώσιμο υλικό. Επομένως είναι οικολογικό και δεν βλάπτει τον πλανήτη.
3. Παρέχει σταθερές μηχανικές ιδιότητες.
4. Έχει την ιδιότητα να παραμορφώνεται χωρίς να αστοχεί σε υψηλές εφελκυστικές τάσεις και αυτό στα υλικά ορίζεται ως ολκιμότητα.
5. Συγκριτικά με το ξύλο και το μπετόν παρέχει τον υψηλότερο λόγο αντοχής προς το ειδικό βάρος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητο η δημιουργία των ενδιάμεσων υποστυλώσεων και ο χώρος να είναι διαμπερής. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται και σχεδιάζεται μια ελαφρότερη κατασκευή. Επιπλέον λόγω των ελαφρών σε βάρος μεταλλικών-χαλύβδινων κατασκευών αλλά και σύμφωνα με τις ποικίλες ιδιότητες του υλικού αυτού αναδεικνύουν τον χάλυβα ως το πιο κατάλληλο υλικό για αντισεισμικές κατασκευές.
6. Με την απαιτούμενη συντήρηση επιτυγχάνεται η συνεχής αύξηση της διάρκειας ζωής μιας κατασκευής.

Αναφορικά τα κυριότερα μειονεκτήματα του χάλυβα είναι:

1. Μικρή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
2. Μικρή αντοχή σε αλληπάλληλες φορτίσεις.
3. Υλικό ευαίσθητο σε φαινόμενα λογισμού.

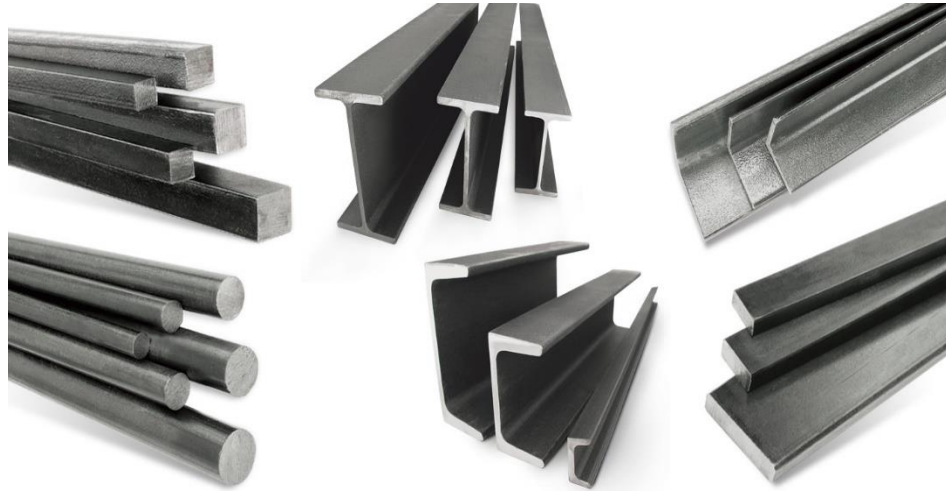
#### 4.3.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χάλυβα ως δομικό υλικό.

Ο χάλυβας ως δομικό υλικό και με βάση τη χρήση του ως το κύριο υλικό σε μία βιομηχανική εγκατάσταση φέρει πολλά και ποικίλα πλεονεκτήματα.

- A. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και με την πάροδο του χρόνου η παραγωγή και οι μέθοδοι παρασκευής του χάλυβα βελτιώνονται συνεχώς. Με αυτόν τρόπο το υλικό αυτό πλέον παράγεται με ποικίλες διατομές και σχήματα. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι πλέον στις υπάρχουσες μεταλλικές κατασκευές υπάρχει η προοπτική επέκτασης και τροποποίησης των μελών της χωρίς να δαπανείται πολύ χρόνος.
- B. Δυνατότητα ελαχιστοποίησης του συνολικού βάρους της μεταλλικής κατασκευής. Αυτό πραγματοποιείται με την σύνδεση μεγάλων ανοιγμάτων και την χρήση των δικτυωμάτων.
- C. Δυνατότητα ελάττωσης κατακόρυφων δυνάμεων και φορτίσεων. Λόγω του μικρού συνολικού βάρους της φερόμενης κατασκευής τα θεμέλια που υπάρχουν δέχονται τις κατάλληλες φορτίσεις.
- D. Ο χάλυβας είναι σε μεγάλο ποσοστό ελαστικό υλικό. Αυτό σημαίνει ότι αντέχει υψηλές δυνάμεις που έχουν την ικανότητα να τον παραμορφώσουν χωρίς να αστοχήσει. Επιπλέον με την χρήση μικρών διαστάσεων του υλικού αυτού επιτυγχάνεται η βέλτιστη αντοχή του σε θλίψη, κάμψη και διάτμηση.
- E. Ευέλικτος εντοπισμός βλαβών και αστοχιών.
- F. Ανακυκλώσιμο υλικό. Δίνει την δυνατότητα δημιουργίας νέων μεταλλικών μελών μέσω χύτευσης.
- G. Υπάρχουν ποικίλα μεγέθη στην αγορά.
- H. Ευελιξία στην ενίσχυση και επέκταση μερικών μελών της μεταλλικής κατασκευής.
- I. Οι δοκοί και οι πλάκες από χάλυβα θεωρούνται πιο διαπερατές κατασκευές και λόγω αυτού είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.
- J. Σε σχέση με τις κατασκευές από μπετόν, εκείνες από χάλυβα μπορούν να υλοποιηθούν σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα. Οι εργασίες κυρίως των προκατασκευασμένων κτηρίων γίνονται ταυτόχρονα με άλλες εργασίες στο χώρο της κατασκευής γι' αυτό και μειώνεται ο τελικός χρόνος παράδοσης.

Σε αντίθετη περίπτωση, αν και είναι ένα υλικό με αρκετά πλεονεκτήματα έχει μερικά μειονεκτήματα, που σε καμία περίπτωση δεν το κάνουν λιγότερο λειτουργικό, απλά αναφέρονται διότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Αναλυτικότερα τα μειονεκτήματα του χάλυβα είναι:

- A. Το υλικό έχει μικρή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Για αυτό το λόγω το κόστος της πυροπροστασίας είναι υψηλό.
- B. Υψηλό κόστος μελέτης.
- C. Για την απαιτούμενη προεργασία του υλικού είναι απαραίτητη η ύπαρξη βιομηχανικής εγκατάστασης.
- D. Απαραίτητη εξειδίκευση του εργατοτεχνικού προσωπικού.



**Σχήμα 4.11:** Διάφορες μορφές χάλυβα: α) ράβδοι τετραγωνικής διατομής, β) δοκοί, γ) ράβδοι γωνιακής διατομής, δ) ράβδοι κυκλικής διατομής, ε) ράβδοι UPN, στ) ράβδοι ορθογωνικής διατομής.

#### 4.3.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεταλλικών κτηρίων

- Ο χάλυβας παρέχει τον υψηλότερο λόγο αντοχής προς το ειδικό βάρος. Όπως προαναφέρθηκε και στα πλεονεκτήματα του χάλυβα ο οποίος είναι το υλικό κατασκευής, αλλά επίσης σημαντικό είναι να αναφερθεί και στη προκειμένη περίπτωση, δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία ενδιάμεσων υποστυλώσεων και ο χώρος να είναι διαμπερής. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί είτε η κατασκευή είναι βιομηχανική, είτε είναι μια πολυκατοικία.
- Συγκριτικά με το σκυρόδεμα ο χάλυβας είναι πιο ελαστικό υλικό όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Με την χρήση του βοηθά τις μεταλλικές κατασκευές να μην καταπονούνται από τις δονήσεις. Για αυτό τον λόγο ο χάλυβα θεωρείται ως το πιο κατάλληλο υλικό για αντισεισμικές κατασκευές.
- Μικρό συνολικό βάρος των μεταλλικών κατασκευών.
- Το κόστος της κατασκευής του μεταλλικού κτηρίου είναι χαμηλό διότι για την απαιτούμενη προεργασία του υλικού αλλά και του σκελετού της μεταλλικής κατασκευής είναι απαραίτητη η ύπαρξη βιομηχανικής εγκατάστασης. Με αυτό τον τρόπο ο κατασκευαστής έχει μειωμένη εισφορά στο ΙΚΑ λόγω στεγασμένου επαγγέλματος.
- Σύμφωνα με το παραπάνω λόγω ότι η κατασκευή γίνεται μέσα σε μία βιομηχανική εγκατάσταση τα καιρικά φαινόμενα δεν την επηρεάζουν. Με αυτόν τον τρόπο η κατασκευή ολοκληρώνεται ταχύτερα και αποτελεσματικότερα.
- Η ιδιότητα του χάλυβα να ανακυκλώνεται δίνει την δυνατότητα μετακίνησης και αποσυναρμολόγησης της κατασκευής αν χρειαστεί. Στην περίπτωση αποσυναρμολόγησης της κατασκευής ο ιδιοκτήτης έχει την δυνατότητα επιστροφής χρημάτων που δαπάνησε για την αγορά του υλικού.
- Το κόστος μιας μεταλλικής κατασκευής επηρεάζεται από την τρέχουσα τιμή που φέρει ο χάλυβας στην αγορά και σε σύγκριση με το μπετόν που έχει σταθερή τιμή αλλά και παραγωγή, μπορεί να είναι ακριβότερο. Λόγω αυτού η επένδυση για την δημιουργία μεταλλικής κατασκευής δεν είναι πάντα η οικονομικότερη λύση.
- Αφού ένα από τα μειονεκτήματα του χάλυβα είναι η μικρή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, αυτό συνεχίζει να φθείρει και την εκάστοτε κατασκευή. Για αυτό τον λόγο οι προϋποθέσεις και οι απαιτήσεις για την εφαρμογή πυραντίστασης είναι ιδιαίζουσες.
- Συγκριτικά με κατασκευές σκυροδέματος οι μεταλλικές κατασκευές έχουν αυξημένο κόστος συντήρησης.

### 4.3. Μεταλλικές κατασκευές και Μηχανολογία

Η μηχανολογία κατεχοχίν ως επιστήμη ειδικεύεται στη σχεδιομελέτη αλλά και τη κατασκευή συστημάτων κίνησης και συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς ισχύος. Επιπλέον, ο σχεδιασμός συστημάτων που δεν περιλαμβάνουν κίνηση και μεταφορά ισχύος αποτελεί αντικείμενο της μηχανολογίας όταν τα συστήματα αυτά υπόκεινται σε υψηλή πίεση ή και υψηλή θερμοκρασία.

Τα μαθήματα που διδάσκονται οι μηχανολόγοι μηχανικοί δεν έχουν σχέση τόσο πολύ με τη στατική μελέτη που εφαρμόζεται στα μεταλλικά κτίρια, στα πρώτα δύο έτη των σπουδών τους εκπαιδεύονται στη μαθηματική ανάλυση, μηχανολογικό σχέδιο, συστήματα κατεργασιών, μηχανική παραμορφωσίμων σωμάτων, κινηματική, δυναμικά συστήματα, ψηφιακό έλεγχο, θερμοδυναμική, μηχανική των ρευστών, μεταφορά θερμότητας, επιστήμη των υλικών, στοιχεία μηχανών, μετρητικά συστήματα, μοντελοποίηση και υπολογισμό συστημάτων με Η/Υ κ.α. Κατά τα επόμενα έτη εμβαθύνουν στη μεθοδολογία της επιστήμης του μηχανολόγου μηχανικού για την ανάπτυξη, σχεδιασμό, υπολογισμό, κατασκευή, υλοποίηση, λειτουργία μηχανολογικών συστημάτων.

Στη πορεία των χρόνων κι ενώ έχουν πάρει πτυχίο εφαρμόζουν τις παραπάνω γνώσεις τις οποίες τους έχουν μεταλαμπαδεύσει από το ίδρυμα που έχουν φοιτήσει αλλά και τις εθνικές, ευρωπαϊκές και διεθνείς προδιαγραφές, κώδικες, κανονισμούς όπως επίσης και τη τεχνογνωσία των επιχειρήσεων του κλάδου, στον σχεδιασμό, τη μελέτη, τη κατασκευή και την ανάλυση καθώς και τη λειτουργία και συντήρηση μονάδων παραγωγής, βιομηχανικού εξοπλισμού, συστημάτων ψύξης και θέρμανσης, μηχανών εσωτερικής καύσης, αεροσκαφών, πλοίων και υποβρυχίων, ρομπότ, ιατρικών συσκευών κ.α. καθώς και διαφόρων τύπων οχημάτων όπως λεωφορεία, τρένα, πλοία, αεροπλάνα, αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες, ποδήλατα, πατίνια, αερόστατα, κλπ.

Στη προκειμένη περίπτωση όπου είναι μία στατική μελέτη ένας μηχανολόγος δεν έχει τόσο γνώση κι εμπειρία πάνω σε αυτό το τομέα, όσο ένας πολιτικός μηχανικός ή ένας μηχανικός δομικών έργων. Όμως σε μία τέτοια μεταλλική κατασκευή όπως είναι το υπόστεγο δεν χρειάζεται ιδιαίτερη μελέτη κι έτσι με τις γνώσεις που έχει ήδη μπορεί να ανταπεξέλθει. Οι γνώσεις που χρειάζονται για τη συγκεκριμένη μελέτη είναι η ανάλυση των δυνάμεων στις δοκούς που θα χρησιμοποιηθούν όπου έχουν διδαχθεί το δεύτερο και τρίτο εξάμηνο των σπουδών τους στα μαθήματα τεχνική μηχανική και αντοχή υλικών.

Ένα ακόμα κομμάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό και σίγουρα δεν μπορεί να υλοποιηθεί μία κατασκευή χωρίς αυτό είναι οι συγκολλήσεις. Τις συγκολλήσεις τις έχουν διδαχθεί οι μηχανολόγοι στο μάθημα των στοιχείων μηχανών σε ξεχωριστό κεφάλαιο με ιδιαίτερη ανάλυση, επομένως είναι αρκετά ικανοί να εμβαθύνουν και στο συγκεκριμένο κομμάτι. Επιπροσθέτως στα πλαίσια του μηχανολογικού σχεδίου 1 έγινε αναφορά στη σχεδίαση αλλά και τη μελέτη των σπειρωμάτων και των βιδών. Αυτό το κομμάτι είναι χρήσιμο για τη στερέωση των δοκών στο έδαφος, δηλαδή για τη συγκράτηση του μεταλλικού υπόστεγου.

Μία μεταλλική κατασκευή αλλά και οποιαδήποτε άλλη κατασκευή που έχει να κάνει με στατική μελέτη πρέπει να αναλύεται και να φτιάχνεται ανάλογα με τους σεισμούς που γίνονται στη περιοχή την οποία βρίσκεται. Πιο συγκεκριμένα, εάν μία περιοχή είναι σεισμογενής τότε στη κατασκευή που θα γίνει πρέπει να χρησιμοποιηθούν υλικά που να δέχονται μεγαλύτερες ταλαντώσεις, ένα τέτοιο υλικό είναι και ο χάλυβας, γι αυτό οι κατασκευές με το αυτό το υλικό θεωρούνται αντισεισμικές. Μία ακόμα παράμετρο που θα πρέπει πάντα να αναλύουν οι μηχανικοί είναι η ταχύτητα του ανέμου αλλά και τα καιρικά φαινόμενα, που, συνηθίζουν να πλήττουν τη περιοχή που φτιάχνεται το εκάστοτε κτίριο. Αυτό συνήθων γίνεται με τη μελέτη των στατιστικών ανά χρονιά από τους υπεύθυνους μηχανικούς.

Δυστυχώς, οι μηχανολόγοι δεν έχουν τη γνώση που χρειάζεται για να κάνουν τη μελέτη, ιδιαίτερα για τα αντισεισμικά κτίρια, γι' αυτό κυρίως δεν μπορούν να αναλάβουν μία στατική μελέτη. Όμως και πάλι στη περίπτωση αυτή που ως κτίριο είναι ένα υπόστεγο, δεν χρειάζεται αυτές τις μελέτες που προαναφέρθηκαν γι' αυτό και μπορούν να το υλοποιήσουν μηχανολόγοι μηχανικοί.

Κάτι ακόμα που είναι καλό να αναφερθεί, είναι το γεγονός ότι οι μηχανολόγοι μηχανικοί δεν μπορούν να υπογράψουν για να βγει η άδεια μίας οποιασδήποτε στατικής κατασκευής και συνήθως βγαίνουν σε συνεργασία με τους πολιτικούς μηχανικούς. Επίσης σε άλλες κατασκευές, πιο σύνθετες, όπως είναι ένα σπίτι ή ένα εργοστάσιο ο μηχανολόγος μηχανικός κάνει και τη μελέτη των υδραυλικών εγκαταστάσεων, τη πυροπροστασία και μπορεί να υπογράψει και σε αυτά.

Εν κατακλείδι, από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω ένας μηχανολόγος μηχανικός μελετάει πράγματα τα οποία κινούνται, όμως μπορεί να βγάλει εις πέρας μία μικρή στατική μελέτη όπως τη συγκεκριμένη. Σίγουρα όμως, εκείνοι που ειδικεύονται σε αυτές είναι άλλου είδους μηχανικοί αλλά η συνεργασία από όλους θα βγάλει ένα γερό και επιθυμητό αποτέλεσμα.

## **5. Ευρωκώδικας 1 <<Δράσεις στις κατασκευές>>.**

Πριν την δεκαετία του 1980 υπήρχαν ποικίλοι εθνικοί τεχνικοί κανονισμοί στην Ευρώπη, επομένως, στα τέλη του 1980 κρίθηκε απαραίτητο από την Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων η δημιουργία, η καθιέρωση καθώς και η αντικατάσταση των διάφορων κανονισμών που υπήρχαν ανά κράτος με ένα νέο σύνολο τεχνικών κανόνων το οποίο θα είναι ίδιο για όλα τα κράτη-μέλη. Οι κανόνες αυτοί χρησιμοποιούνται έως και σήμερα για τον σχεδιασμό κτηρίων και άλλων τεχνικών έργων που αφορούν τον τομέα του Πολιτικού Μηχανικού.

Η σύνταξη, η δοκιμαστική εφαρμογή καθώς και η οριστικοποίηση των Δομικών Ευρωκωδικών ξεκίνησε το 1990, όπου η Ευρωπαϊκή επιτροπή ανέθεσε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN, Comite Europeen de Normalisation, European Committee for Standardization) τις παραπάνω ευθύνες. Επομένως, εκείνη την δεκαετία η Τεχνική Επιτροπή 250, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης ξεκίνησε να συντάσσει τους Ευρωκώδικες, σε αρχικό στάδιο δοκιμαστικά όπως ζητήθηκε και στην συνέχεια ακολούθησε η οριστικοποίησή τους σε όλα τα Ευρωπαϊκά κράτη που συμμετείχαν στην CEN.

Οι Δομικοί Ευρωκώδικες που δημιουργήθηκαν αποτελούνται από 10 Ευρωπαϊκά Πρότυπα. Συμπεριλαμβάνουν τρόπους δόμησης σύμφωνα με τα υλικά όπως το σκυρόδεμα, ο χάλυβας, το ξύλο, η τοιχοποιία, τα γεωτεχνικά έργα και αλουμίνιο και ακολουθούν παρακάτω:

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

Η δημιουργία αυτών των κανόνων έφερε αλλαγές στις μεθόδους τις οποίες χρησιμοποιούσαν έως τότε στον σχεδιασμό. Πλέον στις κατασκευές δεν γίνεται έλεγχος της μέγιστης αναπτυσσόμενης τάσης στις πιο κρίσιμες διατομές τους από πλευράς αντοχής, αλλά επικεντρώνονται στην συνολική συμπεριφορά των κατασκευών σε οριακές καταστάσεις που έχει να κάνει με την αντοχή και την λειτουργικότητα τους.

Εν κατακλείδι, οι Ευρωκώδικες συνέβαλαν σημαντικά στην χρήση κοινών κριτηρίων και μεθόδων για την εκπλήρωση διάφορων απαιτήσεων, όπως η μηχανική αντίσταση. Επιπλέον, συνέβαλαν στην ύπαρξη ενός συνολικού και ενιαίου πλαισίου παραδοχών, τόσο για τους αναλυτικούς υπολογισμούς, όσο και για τις υπολογιστικές προσομοιώσεις.

Ο Ευρωκώδικας 1 αναφέρει όλα τα στοιχεία για τις δράσεις τα οποία είναι απαραίτητα να ληφθούν υπόψη κατά την μελέτη και τον σχεδιασμό κτηρίων και άλλων έργων.

Ο Ευρωκώδικας 1 αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- 1.
- EN 1991-1-1:2002 - Γενικές δράσεις - Πυκνότητες, ίδιο βάρος, επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια.
- EN 1991-1-2:2002 - Γενικές δράσεις - Δράσεις σε φορείς που εκτίθενται σε πυρκαγιά.
- EN 1991-1-3:2003 - Γενικές δράσεις - Φορτία χιονιού.
- EN 1991-1-4:2005 - Γενικές δράσεις - Δράσεις ανέμου.
- EN 1991-1-5:2004 - Γενικές δράσεις - Θερμικές δράσεις.
- EN 1991-1-6:2005 - Γενικές δράσεις - Δράσεις κατά την διάρκεια της κατασκευής.
- EN 1991-1-7:2007 - Γενικές δράσεις - Τυχηματικές δράσεις.
2. EN 1991-2: 2003 - Γενικές δράσεις - Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες.
3. EN 1991-3: 2007 - Γενικές Δράσεις - Δράσεις οφειλόμενες σε γερανούς και μηχανήματα.
4. EN 1991-4:2006 - Γενικές Δράσεις - Σιλό και δεξαμενές.
5. Στην παρούσα έρευνα η μελέτη πραγματοποιείται από μηχανολόγους μηχανικούς επομένως, η ανάλυση του βιομηχανικού στέγαστρου θα επικεντρωθεί στις δράσεις ανέμου, στο μόνιμο φορτίο και στο κινητό φορτίο.

### **5.1. Γενικές φορτίσεις**

Κατά την διάρκεια κατασκευής και σχεδιασμού ενός έργου, στην συγκεκριμένη περίπτωση, κατασκευή βιομηχανικού υπόστεγου, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι φορτίσεις που θα δεχτεί από το περιβάλλον κατά την διάρκεια της κατασκευής του αλλά και κατά τη διάρκεια ζωής και χρήσης του για να αποτελέσει ένα αξιόπιστο τεχνικά έργο. Επιπλέον, πρέπει να διευκρινιστούν η χρήση, η θέση καθώς και η μορφή του, ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός των δράσεων που θα δεχθεί και έπειτα να προσδιοριστούν και τα δυσμενέστερα εντατικά και παραμορφωτικά μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση και διαστασιολόγηση του έργου.

Παραπάνω (στις γενικές πληροφορίες για τους Δομικούς Ευρωκώδικες) αναφέρθηκαν όλοι οι Ευρωκώδικες που καθιερώθηκαν για την ανάλυση των δυνάμεων. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται ο Ευρωκώδικας 1, ο οποίος καλύπτει όλες τις περιπτώσεις δράσεων που μπορεί να δεχθεί μια κατασκευή, με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει ένας αξιόπιστος έλεγχος στην κατασκευή σε κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας.

Ειδικότερα, αναλύονται όλες οι περιπτώσεις συνδυασμών δράσεων που είναι δυνατό να υπάρχουν και μπορούν ασκηθούν σε μια κατασκευή είτε όσο κατασκευάζεται, είτε κατά την διάρκεια ζωής του έργου και θεωρείται ότι οι δράσεις προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες.

Όσον αφορά τον υπολογισμό των δυνάμεων, που επιδρούν πάνω στην κατασκευή, δεν είναι 100% ακριβής. Επομένως, όταν γίνονται υπολογισμοί, το μέγεθος και η κατανομή μίας φόρτισης καθορίζεται με κατάλληλες παραδοχές και προσεγγίσεις. Οι συνδυασμοί αυτοί των φορτίσεων και η ακριβής τιμή τους σε αυτές λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό με τη μέθοδο των οριακών καταστάσεων.

Ο Ευρωκώδικας 1, όπως διευκρινίστηκε και πιο πάνω διαχωρίζεται σε 4 μέρη, μέσα σε αυτά διακρίνονται τα μόνιμα φορτία. Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τα φορτία από το ίδιο το βάρος της κατασκευής, καθώς και διάφορα άλλα μόνιμα μέρη του στεγαστρου, παραδείγματος χάριν η επικάλυψη που μπορεί να έχει. Έπειτα, είναι τα κινητά φορτία, όπου σε αυτή την κατηγορία συναντώνται οι δράσεις που επιδέχεται το υπόστεγο από τον άνεμο, τα κινητά φορτία στέγης, τα φορτία χιονιού καθώς και οι διάφορες θερμοκρασιακές μεταβολές. Τέλος υπάρχουν άλλες δύο κατηγορίες, τα ταχυματικά φορτία και τα σεισμικά φορτία τα οποία όμως δεν θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία.

## 5.2. Κινητό(μεταβλητό) φορτίο (LiveLoads)

Κινητά ονομάζονται τα φορτία τα οποία μεταβάλλονται ανάλογα τις συνθήκες. Συγκεκριμένα, σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται τα φορτία βαρύτητας και τα πλευρικά φορτία, όπου ανάλογα την χρήση του κτηρίου μπορεί να προέρχονται από την παρουσία ατόμων, κινητού εξοπλισμού και διάφορων άλλων.

Επειδή μεταβάλλονται συνεχώς αυτά τα φορτία, δεν είναι εφικτό να υπολογιστεί η ακριβής τιμή και θέση που μπορεί να έχει. Για το λόγο αυτό προσδιορίζονται στατικά και οι τιμές τους δίνονται από κανονισμούς. Για να καλυφθούν όλες οι ενδεχόμενες δυσμενείς φορτίσεις και για να προσδιοριστεί η δυσμενής επιρροή τους, οι μεταβλητές δράσεις κατανέμονται ομοιόμορφα και πρέπει να τοποθετούνται κατά τον πλέον δυσμενή τρόπο στο φορέα.

### Επιβαλλόμενα φορτία λόγω χρήσης.

Τα στέγαστρα χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα την χρήση που θα έχουν, για να γίνει ο προσδιορισμός των επιβαλλόμενων φορτίων.

Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών	Συγκεκριμένη χρήση
H	Στέγες μη- προσβάσιμες παρά μόνο για την κανονική συντήρηση και για επισκευή
I	Στέγες προσβάσιμες για χρήση σύμφωνα με τις κατηγορίες A έως D
K	Στέγες προσβάσιμες για ειδικές χρήσεις, όπως ελικοδρόμια.

**Πίνακας 1:** Κατηγοριοποίηση στεγών

Το στέγαστρο στην παρούσα μελέτη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 ανήκει στην κατηγορία H, της οποίας τα επιβαλλόμενα φορτία δίνονται στον Πίνακα 2.

Στέγη	$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_k$ (kN)
Κατηγορία H	0,00-1,00 (0,50)	0,90-1,50 (1,00)
Στις παρενθέσεις περιέχονται οι προτεινόμενες τιμές του Εθνικού Προσαρτήματος		

**Πίνακας 2:** Επιβαλλόμενα φορτία ορόφων

Για την παρούσα κατασκευή ως επιβαλλόμενο φορτίο θα θεωρηθεί η προτεινόμενη τιμή του φορτίου του Εθνικού Προσαρτήματος, πιο συγκεκριμένα  $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ , το οποίο θεωρείται ότι δρα σε όλη την επιφάνεια της στέγης. Να σημειωθεί ότι το συγκεντρωμένο φορτίο χρησιμοποιείται για τοπικούς ελέγχους και δεν είναι κρίσιμο στο συγκεκριμένη κατασκευή.

### 5.3. Φορτία χιονιού

#### 5.3.1. Γενικές πληροφορίες

Τα φορτία χιονιού ανήκουν στις ελεύθερες μεταβλητές δράσεις, θεωρείται ότι τα φορτία αυτά επιδρούν κατακόρυφα και αναφέρεται στην οριζόντια προβολή της επιφάνειας της στέγης. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις στις οποίες τα φορτία τα οποία προέρχονται από χιόνι αντιμετωπίζονται ως τυχηματικές δράσεις.

Για να υπολογιστεί η ένταση η οποία δημιουργείται σε περίπτωση χιονόπτωσης μελετάται η ομοιομορφία του χιονιού, το σχήμα του υπόστεγου καθώς και το σχήμα της χιονοστιβάδας που έχει προκληθεί λόγω ανέμου.

Το χιόνι είναι πιθανόν να συσσωρευτεί σε ένα στέγαστρο με ποικίλους τρόπους και εξαιτίας διαφόρων παραγόντων όπως:

- ανάλογα με τη μορφή ενός στεγάστρου
- τα θερμικά χαρακτηριστικά,
- την τραχύτητα της επιφάνειας,
- το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κάτω από το στέγαστρο,
- την απόσταση που υπάρχει στα γειτονικά κτήρια,
- τον περιβάλλοντα χώρο,
- και τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες.

Ως εκ τούτου για την εκτίμηση του φορτίου του χιονιού χρησιμοποιείται το ομοιόμορφο χιόνι που συσσωρεύεται σε νηνεμία, ενώ η τελική μορφή του φορτίου λόγω χιονόπτωσης προκύπτει όταν υπάρχουν άνεμοι και δεν συμπεριλαμβάνεται η πιθανή αναδιανομή του ή η αφαίρεση του από ανθρώπινη παρέμβαση.

#### 5.3.2. Μέθοδοι υπολογισμού του φορτίου χιονιού με βάση τον Ευρωκώδικα.

Το φορτίο χιονιού σε ένα υπόστεγο προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Όπου:

$\mu_i$ : συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού.

$C_e$ : συντελεστής έκθεσης στις καιρικές επιδράσεις, με προτεινόμενη τιμή 1.0.

$C_t$ : θερμικός συντελεστής, με προτεινόμενη τιμή 1.0 για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης.

$S_k$ : χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους [kN/m<sup>2</sup>].

Ειδικότερα:

##### Συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού $\mu_i$

Υπάρχουν τρεις μορφές κατανομής του φορτίου χιονιού και ανάλογα την μορφή από εκεί προσδιορίζεται και η τιμή του συντελεστή, οι μορφές έχουν ως εξής:

- Ομοιόμορφα κατανομημένο στρώμα χιονιού σε όλη την επιφάνεια της στέγης σε κατάσταση νηνεμίας ή υπό ασθενή άνεμο.
- Ανομοιόμορφη κατανομή, λόγω τοπικής συγκέντρωσης του χιονιού σε εμπόδια ή στις προεξοχές της κατασκευής, ή ανακατανομή του φορτίου του χιονιού που επηρεάζει την κατανομή του φορτίου στο σύνολο της στέγης (π.χ. μεταφορά του χιονιού από την προσήνεμη προς την υπήνεμη πλευρά της στέγης).
- Ανακατανομή του φορτίου του χιονιού λόγω ολίσθησης του χιονιού από υψηλότερη στάθμη της κατασκευής σε χαμηλότερη.

Σε περίπτωση που υπάρχουν ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες στην περιοχή της κατασκευής τότε λαμβάνονται υπόψιν οι συντελεστές που δίνονται στο Παράρτημα Β του Μέρους 1-3.



Οι τιμές αυτές λαμβάνονται ανάλογα με το είδος της στέγης. Παρακάτω αναγράφονται οι συντελεστές για κάποια είδη στεγών.

### 1. Μονοκλινείς στέγες

Στις μονοκλινείς στέγες ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού εξαρτάται από την γωνία κλίσης της στέγης.

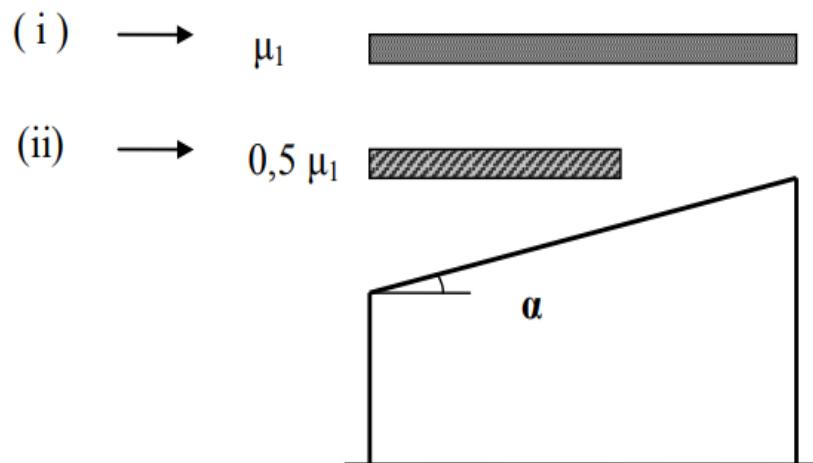
Γωνία κλίσης της στέγης $\alpha(^{\circ})$	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού $\mu_1$
$0^{\circ} \leq \alpha \leq 30^{\circ}$	0,80
1	$0,8(60-\alpha)/30$
$\alpha \geq 60^{\circ}$	0,00

**Πίνακας 3:** Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για μονοκλινείς στέγες.

Λαμβάνονται υπόψιν οι εξής περιπτώσεις φόρτισης:

- i. Ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου σε όλη την επιφάνεια της στέγης
- ii. Ανομοιόμορφη κατανομή του φορτίου με συσσώρευση του μισού στο δυσμενέστερο μισό της στέγης.

Η δυο παραπάνω περιπτώσεις αποτυπώνονται στην παρακάτω εικόνα.



**Σχήμα 5.1:** Περιπτώσεις φόρτισης μονοκλινών στεγών.

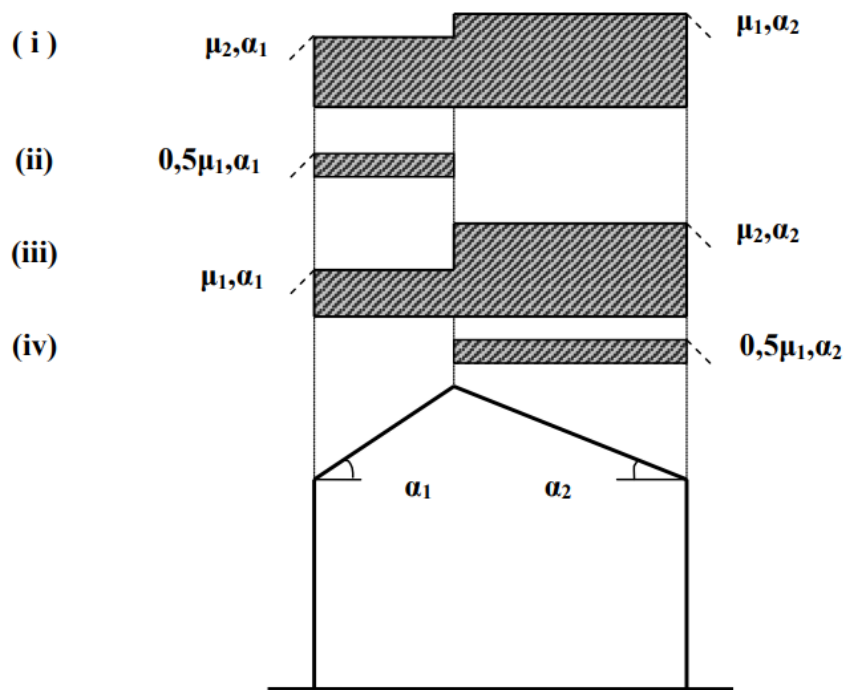
### 2. Δίκλινες στέγες

Στις δίκλινες στέγες ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού εξαρτάται από την γωνία κλίσης της στέγης και υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Γωνία κλίσης της στέγης $\alpha(^{\circ})$	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού $\mu_1$	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού $\mu_2$
$0^{\circ} \leq \alpha \leq 15^{\circ}$	0,8	0,8
$15^{\circ} \leq \alpha \leq 30^{\circ}$	0,8	$0,8+0,6(\alpha-15)/30$
$30^{\circ} \leq \alpha \leq 60^{\circ}$	$0,8(60-\alpha)/30$	$1,1(60-\alpha)/30$
$\alpha \geq 60^{\circ}$	0,0	0,0

**Πίνακας 4:** Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για δίκλινες στέγες.

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνονται οι περιπτώσεις φόρτισης δίκλινων στεγών.



**Σχήμα 5.2:** Περιπτώσεις φόρτισης δίκλινων στεγών.

Να σημειωθεί όμως ότι και στις μονοκλινείς και στις δίκλινες σε περίπτωση που στο χαμηλότερο άκρο της στέγης υπάρχει εμπόδιο για παράδειγμα κάποιο κιγκλίδωμα όπου συγκεντρώνεται χιόνι, ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερος από 0,8.

### 3. Επαναλαμβανόμενες στέγες

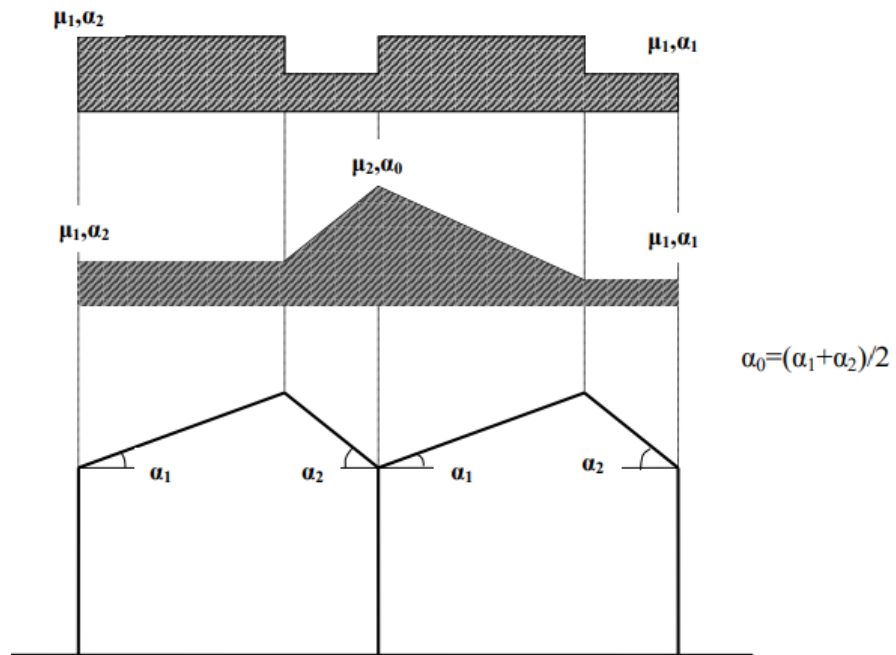
Στις επαναλαμβανόμενες στέγες ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού εξαρτάται από την γωνία κλίσης της στέγης και υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού $\mu_1$	Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού $\mu_2$
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0,8	$(0,8+0,8*\alpha)/30$
$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$0,8(60-\alpha)/30$	1,6

**Πίνακας 5:** Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για επαναλαμβανόμενες στέγες.

Σε αυτή την περίπτωση φόρτιση θεωρείτε η δυσμενέστερη περίπτωση που προκύπτει από:

- ομοιόμορφη κατανομή,
- ή ανομοιόμορφη κατανομή που αναφέρεται στη περίπτωση των δίκλινων στεγών
- ή από κατανομή συσσωρευμένου φορτίου.



**Σχήμα 5.3:** Περιπτώσεις φόρτισης επαναλαμβανόμενων στεγών.

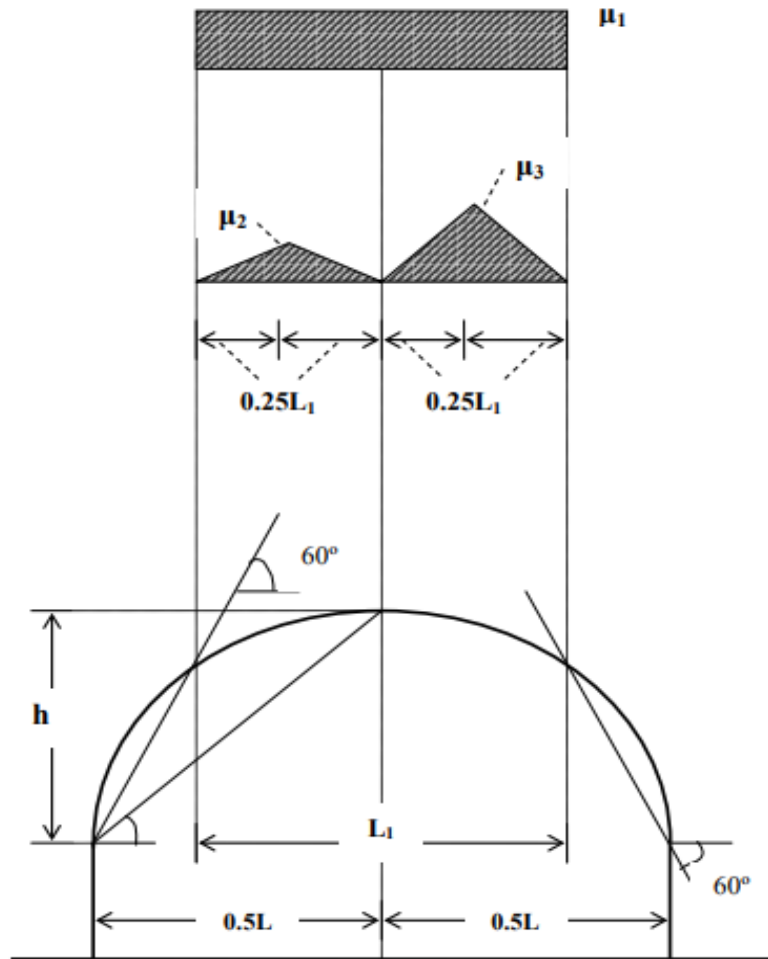
#### 4. Κυλινδρικές στέγες

Στις κυλινδρικές στέγες ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού εξαρτάται από την γωνία κλίσης της στέγης και υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Γωνία κλίσης της στέγης $\beta$ (°)	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$
$\beta \leq 60^\circ$	0,8	$0,2 + 10h/L$ $\mu_2 \leq 2,00$	$0,5\mu_2$
$\beta \geq 60^\circ$	0,0	0,0	0,0

**Πίνακας 6:** Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για κυλινδρικές στέγες.

Για να υπολογιστεί ο συντελεστής του σχήματος του φορτίου χιονιού χρειάζεται να εξεταστούν δυο περιπτώσεις φόρτισης και μεταξύ ομοιόμορφης και η ανομοιόμορφης κατανομής φορτίου του χιονιού αναλύεται η δυσμενέστερη περίπτωση, αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 5.4:** Περιπτώσεις φόρτισης κυλινδρικών στεγών.

### 5. Στέγες με απότομες αλλαγές ύψους

Στην συγκεκριμένη κατηγορία στεγών λόγω των απότομων εναλλαγών του ύψους υπάρχει η περίπτωση το χιόνι να συσσωρευτεί εξαιτίας ανέμου ή ολίσθησης σε υψηλότερη στέγη για αυτό κρίνεται απαραίτητο να εξετάζεται η δυσμενέστερη φόρτιση μεταξύ της ομοιόμορφης και της ανομοιόμορφης κατανομής του φορτίου χιονιού που συγκεντρώνεται σε αυτή.

Για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις ισχύουν οι παρακάτω συντελεστές:

$\mu_1$	$\mu_2$
0,8	$\mu_s + \mu_w$

**Πίνακας 7:** Συντελεστές μορφής φορτίου χιονιού για στέγες με απότομες αλλαγές ύψους.

Όπου:

$\mu_s$ = συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ολίσθησης.

$\mu_w$ = συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ανέμου.

Ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού ο οποίος προέρχεται λόγω ολίσθησης υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Γωνία κλίσης της στέγης $\alpha$ (°)	$\mu_s$
$\alpha < 15^\circ$	0
$\alpha > 15^\circ$	50% του μέγιστου φορτίου χιονιού στη γειτονική υπερκείμενη στέγη

**Πίνακας 8:** Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ολίσθησης.

Ο συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ανέμου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2h < \gamma * h / S_k \text{ με } 0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$$

Όπου:

$\mu_w$ = συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού λόγω ανέμου.

$b_1$ = πλάτος του χαμηλότερου τμήματος του κτιρίου.

$b_2$ = πλάτος του ψηλότερου τμήματος του κτιρίου.

$h$ = η διαφορά ύψους μεταξύ ψηλότερου και χαμηλότερου τμήματος της στέγης.

$\gamma$ = ειδικό βάρος του χιονιού που στην προκειμένη περίπτωση υπολογίζεται ίσο με 2,0 KN/m<sup>3</sup>.

$S_k$ = χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος.

Το μήκος της επιφάνειας συγκέντρωσης του χιονιού  $\ell_s$  ισούται με 2h με τον περιορισμό:  
 $5m \leq \ell_s \leq 15m$

Εάν όμως  $1 < \ell_s$ , τότε ο συντελεστής του φορτίου του χιονιού στο άκρο της χαμηλότερης στέγης παίρνει τιμή με βάση την παρεμβολή μεταξύ των τιμών  $\mu_1$  και  $\mu_2$ .

### **Συντελεστής έκθεσης στις καιρικές επιδράσεις $C_e$**

Ο συντελεστής έκθεσης παίρνει τιμές σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή.

<b>Τοπογραφικά Χαρακτηριστικά</b>	<b><math>C_e</math></b>
Εκτεθειμένο (Ισχυροί άνεμοι)	0,8
Κανονικό (Κανονικές καιρικές συνθήκες)	1,0
Προφυλαγμένο (Προστευόμενες κατασκευές)	1,2

### **Πίνακας 9: Συντελεστές Έκθεσης.**

- Εκτεθειμένο: Επίπεδες εκτάσεις χωρίς εμπόδια εκτεθειμένες από όλες τις πλευρές χωρίς καθόλου, ή με λίγη προστασία από το φυσικό ανάγλυφο, τις υψηλότερες κατασκευές, ή τα δέντρα.
- Κανονικό: Περιοχές όπου δεν υπάρχει σημαντική μετακίνηση του χιονιού από τον άνεμο στις κατασκευές, λόγω του φυσικού ανάγλυφο, των υψηλότερων κατασκευών, ή των δέντρων.
- Προφυλαγμένο: Περιοχές όπου η θεωρούμενη κατασκευή είναι σημαντικά χαμηλότερη από το φυσικό ανάγλυφο, ή περιβάλλεται από υψηλά δένδρα ή/και από υψηλότερες κατασκευές.

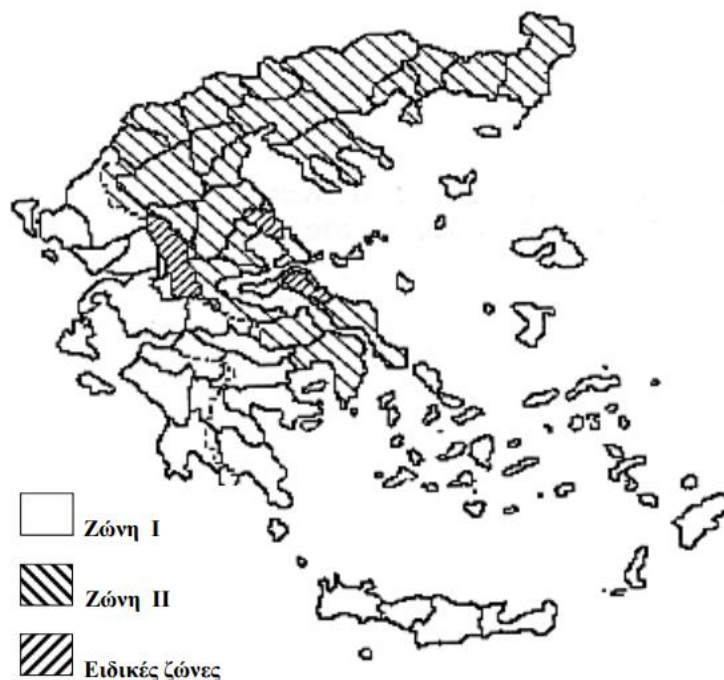
### **Θερμικός συντελεστής $C_t$**

Ο θερμικός συντελεστής λαμβάνεται ίσος με 1.00, μπορεί να μειωθεί μόνο σε περιπτώσεις που παρατηρείται απώλεια θερμότητας από την στέγη.

### **Χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους $S_k$ .**

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού εξαρτάται από την τοποθεσία, το υψόμετρο που έχει σε κάθε περίπτωση η περιοχή καθώς και τη θέση του φορτίου χιονιού, βρίσκεται από το Παράστημα Α του Μέρους ENV 1991-2-3 του Ευρωκώδικα 1.

Από το Εθνικό Παράρτημα φαίνεται πως η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις ζώνες χιονιού οι οποίες απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα, η κάθε περιοχή ανάλογα το έδαφος έχει αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές  $S_k$ .



**Σχήμα 5.5:** Εθνικές Ζώνες Χιονιού ( ENV 1991-2-3:1995).

Εθνική Ζώνη	Ζώνη	Υψόμετρο	Χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού στο έδαφος $S_k$ (kN/m <sup>2</sup> )
➤ Πελοπόννησος ➤ Δυτική Στερεά ➤ Ήπειρος ➤ Νησιά(εκτός περιοχών με υψόμετρο >600m σε Εύβοια και Κρήτη)	I	0-100	0,22
		100-200	0,27
		200-300	0,33
		300-400	0,39
		400-500	0,47
		500-600	0,57
		600-700	0,68
		700-800	0,82
➤ Θράκη ➤ Μακεδονία ➤ Θεσσαλία ➤ Ανατολική Στερεά ➤ Εύβοια (με υψόμετρο >600m και <100m) ➤ Κρήτη (για υψόμετρο >600m και <100m)	II	0-100	0,44
		100-200	0,52
		200-300	0,62
		300-400	0,73
		400-500	0,86
		500-600	1,01
		600-700	1,19
		700-800	1,41
		800-900	1,67
		900-1000	1,97

**Πίνακας 10:** Εθνικές Ζώνες και χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού στο έδαφος.

Σε περίπτωση που το υψόμετρο είναι μεγαλύτερο από αυτά που αναγράφονται στον πίνακα θα πρέπει να δοθούν οδηγίες από τις Αρμόδιες Αρχές.

Η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου επί του εδάφους υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S_k = S_{k,0} [1 + (A/917)^2]$$

Όπου:

$S_{k,0}$ : το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού επί εδάφους στη στάθμη της θάλασσας ( $A=0$ ). Η τιμή του εξαρτάται από τη Ζώνη που τοποθετείται η κατασκευή.

A: το υψόμετρο της τοποθεσίας πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας στρογγυλοποιημένο στην πλησιέστερη εκατοντάδα (σε m).

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, σε γενικότερες γραμμές από τον Πίνακα 10, ανάλογα την ζώνη λαμβάνονται οι παρακάτω τιμές.

- 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 ( $S_{k,0}=0.8 \text{ kN/m}^2$ ): Υπόλοιπη χώρα
- Ειδικές ζώνες ( $S_{k,0}=1,7 \text{ kN/m}^2$ ): Νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Λάρισας, Σποράδες και Εύβοια.

### 5.3.3. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β EN1991-1-3.

Στο Παράρτημα Β αναφέρονται οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής φορτίου χιονιού για περιοχές όπου οι Αρμόδιες Εθνικές Αρχές κρίνουν πως οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι περιοχές αυτές αφορούν όσες όλο το χιόνι λιώνει και απομακρύνεται, οπότε το φορτίο του δεν υφίσταται για ορισμένες εποχές του χρόνου, και για όσες επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Κάθε περίπτωση φόρτισης που οφείλεται σε φορτίο χιονιού θεωρείται ότι δρα ανεξάρτητα και πως σε περίπτωση φόρτισης όπου οι τιμές λαμβάνονται από το συγκεκριμένο Παράρτημα, θα θεωρείται ότι δεν υπάρχει χιόνι σε κάποιο άλλο σημείο της στέγης και θα επιλέγεται η δυσμενέστερη εξ' αυτών.

#### • Μονοκλινείς, δίκλινες και κυλινδρικές στέγες

Σε αυτές τις κατηγορίες στέγης δεν υπάρχει διαφορά στον συντελεστή φορτίου χιονιού σε περίπτωση εξαιρετικών καιρικών συνθηκών φαινομένων. Ισχύουν τα ίδια με τις παραγράφους §1, §2, §4 που αναφέρονται στο τμήμα 5.3.2.

#### • Επαναλαμβανόμενες στέγες

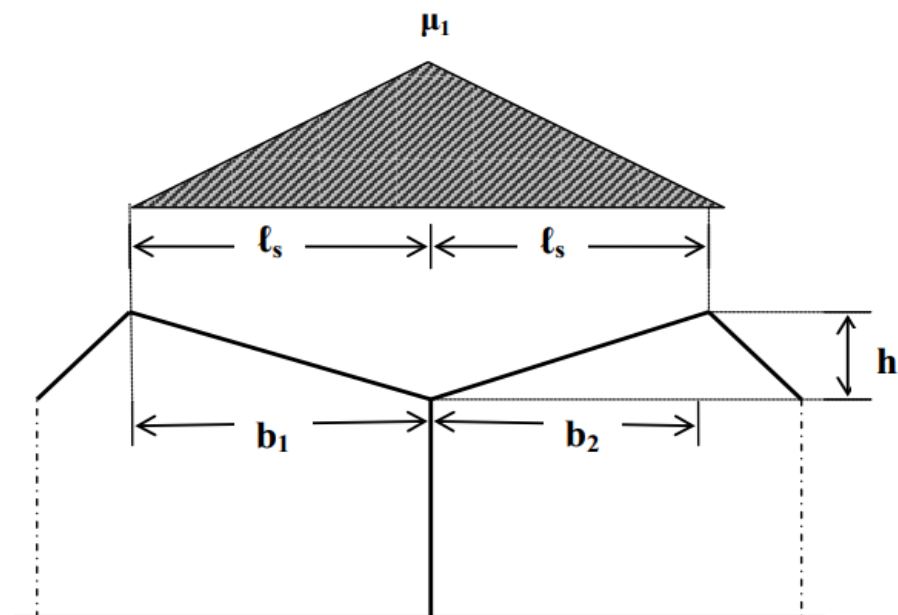
Στις επαναλαμβανόμενες στέγες το χιόνι συγκεντρώνεται στο κενό που υπάρχει μεταξύ των κορφιάδων επομένως, ο υπολογισμός του συντελεστή σχήματος έχει ως εξής:  
Μήκος συσσώρευσης:

$$\text{Αν } b \leq 15\text{m} \rightarrow l_s = b$$

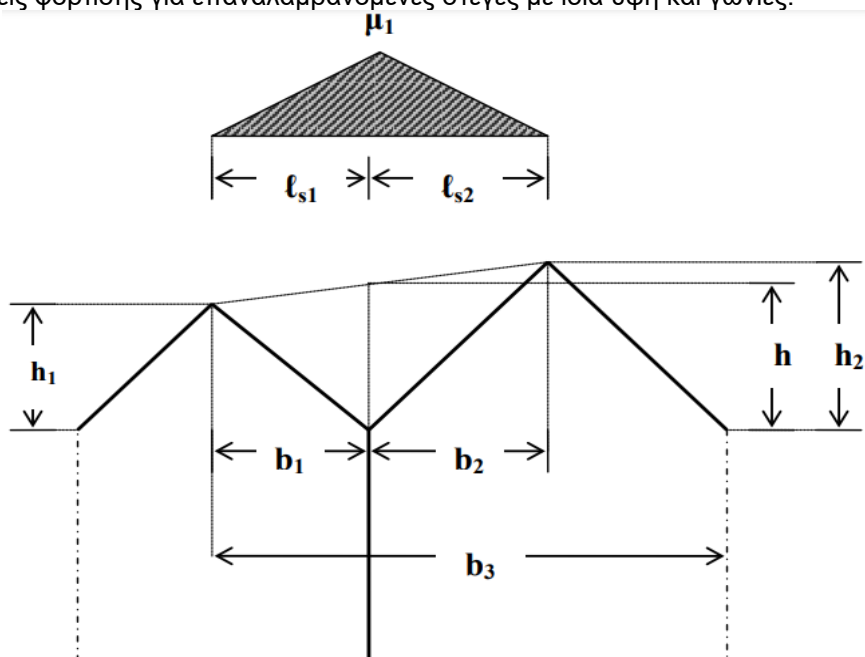
$$\text{Αν } b > 15\text{m} \rightarrow l_s = 15\text{m}$$

Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού:

$$\mu_1 = \min \{ 2h / S_k , 2b_3 / (l_{s1} + l_{s2}) , 5 \}$$



**Σχήμα 5.6:** Περιπτώσεις φόρτισης για επαναλαμβανόμενες στέγες με ίδια ύψη και γωνίες.



**Σχήμα 5.7:** Περιπτώσεις φόρτισης επαναλαμβανόμενων στεγών με διαφορετικά ύψη και γωνίες.

Σε περίπτωση στεγών με περισσότερα από δύο ανοίγματα και περίπου συμμετρική και ομοιόμορφη γεωμετρία το  $b_3$  θα θεωρείται ως η οριζόντια διάσταση τριών κεκλιμένων τμημάτων και η κατανομή που προκύπτει θα θεωρείται ότι ενεργεί σε κάθε εσοχή και όχι απαραίτητα ταυτόχρονα. Ενώ σε περίπτωση που υπάρχει ασυμμετρία στις στέγες και στα ανοίγματα πρέπει να γίνονται ανάλογες παραδοχές του φορτίου χιονιού.

## 5.4. Φορτία ανέμου

### 5.4.1. Γενικές πληροφορίες

Με βάση τον Ευρωκώδικα 1, μέρος 1-4 (EN 1991-1-4), για κτήρια και έργα ύψους μέχρι 200m, τα φορτία του ανέμου κατατάσσονται στις μεταβλητές σταθερές δράσεις και αναπαρίστανται με ένα απλοποιημένο σύνολο στατικών πιέσεων ή δυνάμεων των οποίων οι επιδράσεις είναι ισοδύναμες με τις ακραίες επιδράσεις του στροβιλώδους ανέμου.



Τα φορτία ανέμου στις μεταλλικές κατασκευές έχουν ιδιαίτερη σημασία, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελούν την βασική φόρτιση. Ως εκ τούτου την χρονική στιγμή που δρουν τα φορτία του ανέμου είναι πιθανών ταυτόχρονα να επιδρούν και άλλα φορτία επί της κατασκευής όπως είναι το χιόνι. Τέτοιες συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές στην επιφάνεια αναφοράς, σε κάποιους συντελεστές και στο σχήμα κατά την διάρκεια κατασκευής. Ακόμα υπάρχει το ενδεχόμενο να αλλάξουν την εξωτερική και εσωτερική πίεση ή τα δυναμικά χαρακτηριστικά.

Είναι γνωστό ότι τα φορτία του ανέμου μεταβάλλονται με το χρόνο, επομένως, μπορούν να δρουν είτε άμεσα στις εξωτερικές επιφάνειες της κατασκευής (πίεση) είτε έμμεσα στις εσωτερικές επιφάνειες αυτής (υποπίεση), μέσω του πορώδους των εξωτερικών επιφανειών. Υπάρχει βέβαια και η περίπτωση τα φορτία του ανέμου να επιδρούν άμεσα στις εσωτερικές επιφάνειες ανοικτών κατασκευών.

Οι δράσεις του ανέμου σε αρκετές περιπτώσεις αποτελούν την βασική φόρτιση στην κατασκευή, με αποτέλεσμα να παίζουν σημαντικό ρόλο στη κατασκευή. Οι δράσεις τους μεταβάλλονται ανάλογα την τοποθεσία, το ύψος της κατασκευής, το περιβάλλον που βρίσκεται και διάφοροι άλλοι παράγοντες.

Τα φορτία που ασκούνται από τον άνεμο μεταβάλλονται χρονικά και είναι δυνατό να προκληθούν ταλαντώσεις, η επίδραση αυτή τις περισσότερες φορές είναι μικρή και για τον λόγο αυτό τα φορτία του ανέμου μπορούν να θεωρηθούν στατικά.

Για τον προσδιορισμό των δράσεων η σημαντικότερη πληροφορία είναι η ταχύτητα που έχει ο άνεμος, η οποία επηρεάζεται από το εξωτερικό περιβάλλον αλλά και από το κτίριο, πιο συγκεκριμένα από παράγοντες όπως: η γεωγραφική θέση, η φυσική θέση, η τοπογραφία, οι διαστάσεις του κτιρίου (κυρίως το ύψος), η μέση ταχύτητα του ανέμου, το σχήμα της κατασκευής, η κλίση της στέγης και η διεύθυνση του ανέμου.

#### **5.4.2. Μέθοδοι υπολογισμού φορτίων ανέμου.**

Για τον υπολογισμό των φορτίων που προέρχονται από τον άνεμο υπάρχουν δύο μέθοδοι:

a. Απλή μέθοδος

Η οποία χρησιμοποιείται:

- i. κυρίως σε κατασκευές οι οποίες δεν παρουσιάζουν ευαισθησία στις δυναμικές διεγέρσεις,
- ii. σε κτίρια ή καπνοδόχους με ύψος μικρότερο των 200m,
- iii. και σε οδικές ή σιδηροδρομικές γέφυρες με άνοιγμα μικρότερο των 200m, με την προϋπόθεση, ότι  $c_d < 1.2$

b. Λεπτομερής μέθοδος

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για κατασκευές οι οποίες είναι ευαίσθητες σε δυναμικές διεγέρσεις και έχουν  $c_d > 1.2$ . Η μέθοδος αυτή δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα από την απλή μέθοδο.

Να αναφερθεί ότι ο συντελεστής  $c_d$  : είναι ο συντελεστής δυναμικής απόκρισης της κατασκευής σε ανεμορριπή για ένταση εντός του επιπέδου ροής του ανέμου και εξαρτάται από τον τύπο κατασκευής (χάλυβα, σκυρόδεμα ή σύμμικτη), από το ύψος καθώς δε και από το πλάτος της κατασκευής.

#### **• Πίεση λόγω ανέμου σε επιφάνειες**

Παρακάτω δίνεται η γενική εξίσωση η πίεση του ανέμου που δρα κάθετα στις επιφάνειες μιας κατασκευής :

$$w = q_p(z) * c_p$$

Όπου:

$q_p(z)$ : πίεση ταχύτητας αιχμής στο ύψος αναφοράς, η οποία προσδιορίζεται από την σχέση:

$$c_e(z) * q_b.$$

$z$ : ύψος αναφοράς της εξωτερικής ( $w_e$ ) ή εσωτερικής ( $w_i$ ) πίεσης

$c_p$ : συντελεστής εξωτερικής ( $w_e$ ) ή εσωτερικής ( $w_i$ ) πίεσης

Για πιο δύσκαμπτες επιφάνειες ισχύουν οι εξισώσεις που θα αναφερθούν παρακάτω. Χρησιμοποιούνται αυτές οι εξισώσεις ώστε να μπορούν να αγνοηθούν τα φαινόμενα ταλάντωσης, λόγω του συντονισμού που προκαλούνται από τον άνεμο.

### a) Πίεση ταχύτητας αιχμής ( $q_p(z)$ )

Η πίεση αιχμής Περιλαμβάνει μέσες και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας και ισχύει ο παρακάτω τύπος για τον προσδιορισμό της:

$$q_p(z) = (1 + 7 * I_v(z)) * 0.5 * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b$$

Όπου:

$v_m(z)$ : είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  πάνω από το έδαφος και προσδιορίζεται από την σχέση  $v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$ .

$I_v(z)$ : είναι η ένταση του στροβιλισμού σε ύψος  $z$  και ισχύει:

$$I_v(z) = \sigma_v / v_m(z) = k_i / c_0(z) * \ln(z/z_0) \text{ για } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \text{ για } z \leq z_{\min}$$

όπου:

$k_i$ : είναι ο συντελεστής στροβιλισμού, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 1,00.

$c_0$ : είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης του εδάφους.

$z_0$ : είναι το μήκος τραχύτητας.

$\rho$ : είναι η πυκνότητα του αέρα και εξαρτάται από το υψόμετρο, την θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μια περιοχή κατά την διάρκεια ανεμοθύελλας ( $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ ).

$c_e(z)$ : είναι ο συντελεστής έκθεσης και δίνεται από τη σχέση:  $c_e(z) = q_p(z) / q_b$

όπου:

$q_b$ : είναι η βασική πίεση και δίνεται από τη σχέση:  $q_b = 1/2 * \rho * v_b^2$

$v_b$ : είναι η βασική ταχύτητα ανέμου, που ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους, στα 10m πάνω από το έδαφος κατηγορίας II και δίνεται από τη σχέση:

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0}$$

όπου:

$C_{dir}$ : είναι ο συντελεστής διεύθυνσης και λαμβάνεται ίσος με 1,00

$C_{season}$ : είναι ο εποχικός συντελεστής και λαμβάνεται ίσος με 1,00

$v_{b,0}$ : είναι η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας ανέμου, που ορίζεται σε 33 m/s για τα νησιά και τα παράλια μέχρι 10km από την ακτή και σε 27 m/s για την υπόλοιπη χώρα, σύμφωνα με το Εθνικό Πρόσάρτημα.

### b) Εξωτερική πίεση ( $w_e$ )

$$W_e = q_{ref} * c_e(z_e) * c_{pe}$$

Όπου:

$q_{ref}$ : πίεση αναφοράς, προκαλείται από την ανάσχεση της ροής του ανέμου, η αντιστοιχούσα στη μέση ταχύτητα αναφοράς του ανέμου.

$c_e(z_e)$ : συντελεστής έκθεσης ο οποίος λαμβάνει υπ' όψη του τη μορφολογία του εδάφους αλλά και το υψόμετρο  $z_e$  από την επιφάνεια του εδάφους. Ο συντελεστής αυτός τροποποιεί επίσης και τη μέση πίεση λαμβάνοντας υπ' όψη του και την τυρβώδη ροή.

$c_{pe}$ : συντελεστής εξωτερικής πίεσης.

$z_{(e,i)}$ : ύψος αναφοράς,

για το οποίο ισχύουν:

$1/z = z_e$  για τους συντελεστές εξωτερικής πίεσης και

$z/z_i$  για τους συντελεστές εσωτερικής πίεσης.

Το  $z_e$  εξαρτάται από πλάτος της κατασκευής ενώ το  $z_i$  εξαρτάται από τη μορφή του εσωτερικού του κτιρίου.

### c) Πίεση αναφοράς ανέμου ( $q_{ref}$ )

Για την πίεση αναφοράς ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$q_{ref} = (\rho/2) * v_{ref}^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Όπου:

$v_{ref}$ : ταχύτητα αναφοράς του ανέμου. Η οποία ορίζεται ως η μέση ταχύτητα δεκαλέπτου σε ύψος 10m από την επιφάνεια του εδάφους.

Δίνεται από την σχέση:  $v_{ref} = C_{DIR} * C_{TEM} * C_{ALT} * v_{ref,0}$

Όπου:

$v_{ref}$ : βασική τιμή της ταχύτητας αναφοράς του ανέμου

$C_{DIR}$ : συντελεστής διεύθυνσης, λαμβάνεται ίσος με 1.0

$C_{TEM}$ : συντελεστής προσωρινότητας, λαμβάνεται ίσος με 1.0 και

$C_{ALT}$ : συντελεστής υψόμετρου, λαμβάνεται ίσος με 1.0.

$\rho$ : είναι η πυκνότητα του αέρα, η οποία επηρεάζεται από το υψόμετρο και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την αναμενόμενη βαρομετρική πίεση στην περιοχή κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Συνήθως η τιμή της πυκνότητας του αέρα λαμβάνεται ίση με  $1.25 \text{ kg/m}^3$ .

### d) Μέση ταχύτητα ανέμου $v_m(z)$

Η μέση ταχύτητα σε ένα ύψος  $z$  από το έδαφος δίνεται από την εξίσωση:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$

Όπου:

$c_o(z)$ : συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης. Για επίπεδο έδαφος είναι ίσος με 1,0

$c_r(z)$ : συντελεστής τραχύτητας.

### ❖ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

#### Συντελεστής έκθεσης $c_e(z)$

Ο συντελεστής έκθεσης  $c_e(z)$  υπολογίζεται από την σχέση:

$$c_e z = c_r^2(z) * c_o^2(z) * [1 + 2 * g * I_v(z)]$$

Όπου:

$z$ : Είναι το εκάστοτε θεωρούμενο ύψος αναφοράς και διακρίνεται σε:

α.  $z_e$ , για εξωτερική πίεση.

β.  $z_i$ , για εσωτερική πίεση.

$g$ : είναι ο συντελεστής αιχμής.

$$I_v = \frac{k_r}{c_r(z) * c_o(z)}$$

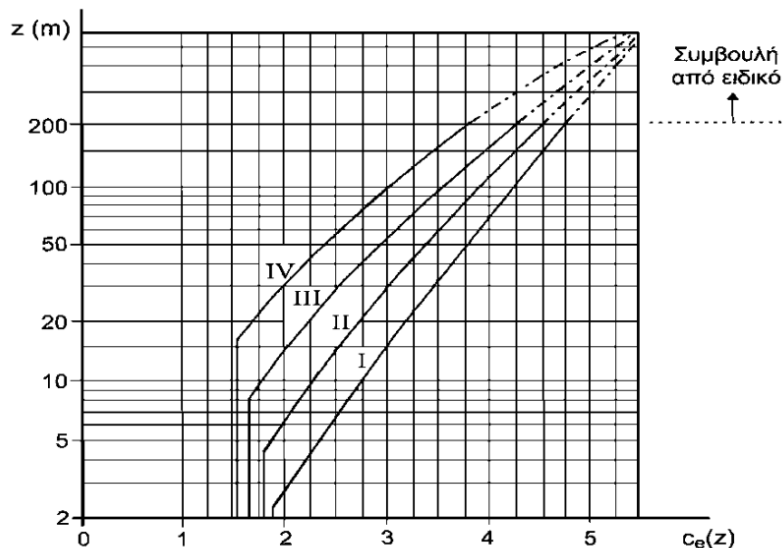
Όπου:

$k_r$ : συντελεστής εδάφους και υπολογίζεται από τον πίνακα 37.

$c_r(z)$ : είναι ο συντελεστής τραχύτητας.

$c_o(z)$ : είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης.

Αλλιώς όταν αφορά επίπεδα εδάφη ο συντελεστής έκθεσης μπορεί να υπολογιστεί από το παρακάτω διάγραμμα ανάλογα την κατηγορία εδάφους. Επίπεδο ορίζεται ένα έδαφος όταν έχει συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης ίσο με 1 ( $c_o=1$ ).



**Σχήμα 5.8:** Συντελεστής έκθεσης  $c_e(z)$  συναρτήσεως του ύψους  $z$ , πάνω από το έδαφος, για διάφορες κατηγορίες εδάφους I έως IV.

### Συντελεστής τραχύτητας $c_r(z)$

Ο συντελεστής τραχύτητας  $c_r(z)$  λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητότητα της μέσης ταχύτητας ανέμου στη θέση της κατασκευής λόγω του ύψους πάνω από το έδαφος και λόγω της τραχύτητας του εδάφους της προσβαλλόμενης περιοχής στη θεωρούμενη διεύθυνση του ανέμου και υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \text{ για } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ για } z \leq z_{\min}$$

Όπου:

$z_0$ : το μήκος της τραχύτητας ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους σύμφωνα με τον Πίνακα 11.

$k_r$ : συντελεστής εδάφους, εξαρτάται από το μήκος τραχύτητας  $z_0$ .

Δίνεται από τη σχέση:  $k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}$

Όπου:

$z_{0,II}$ : 0,05 για κατηγορία εδάφους II σύμφωνα με τον Πίνακα 12.

$z_{\min}$ : ελάχιστο ύψος με βάση τον Πίνακα 12.

$z_{\max}$ : 200m.

$z_0, z_{\min}$ : εξαρτώνται από την κατηγορία εδάφους με βάση τον Πίνακα 12.

### Συντελεστής Τοπογραφικής Διαμόρφωσης $c_o(z)$

Από τον συντελεστή τοπογραφικής διαμόρφωσης μπορεί να εκτιμηθεί η αύξηση της μέσης ταχύτητας του ανέμου πάνω από μεμονωμένους λόφους, εξάρσεις ή γκρεμούς ανάλογα με την κλίση κατά την διεύθυνση του ανέμου και δίνετε από τις σχέσεις:

- Εάν  $c_o = 1$  για  $\Phi < 0,05$  τότε  $c_o = 1$
- Εάν  $c_o = 1 + 2 s \Phi$  για  $0,05 < \Phi$  τότε  $c_o = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi$
- Εάν  $c_o = 1 + 0,6 s$  για  $\Phi > 0,3$  τότε  $c_o = 1 + 0,6 \cdot s$

όπου:

$s$ : είναι ο συντελεστής τοπογραφικής θέσης, συνάρτηση των στοιχείων σύμφωνα με την προσβαλλόμενη πλαγιά (οριζόντια, κατακόρυφη απόσταση κ.τ.λ.). ( $x/L_e$  και  $z/L_e$ )

$\Phi = H/L_u$  είναι η κλίση προς την προσβαλλόμενη πλαγιά.

$L_e$ : είναι το ενεργό μήκος προς την προσβαλλόμενη πλαγιά (πίνακας 3.6).

$L_u$ : είναι το πραγματικό μήκος προς την προσβαλλόμενη πλαγιά.

H: είναι το ενεργό ύψος της εδαφικής ανωμαλίας.

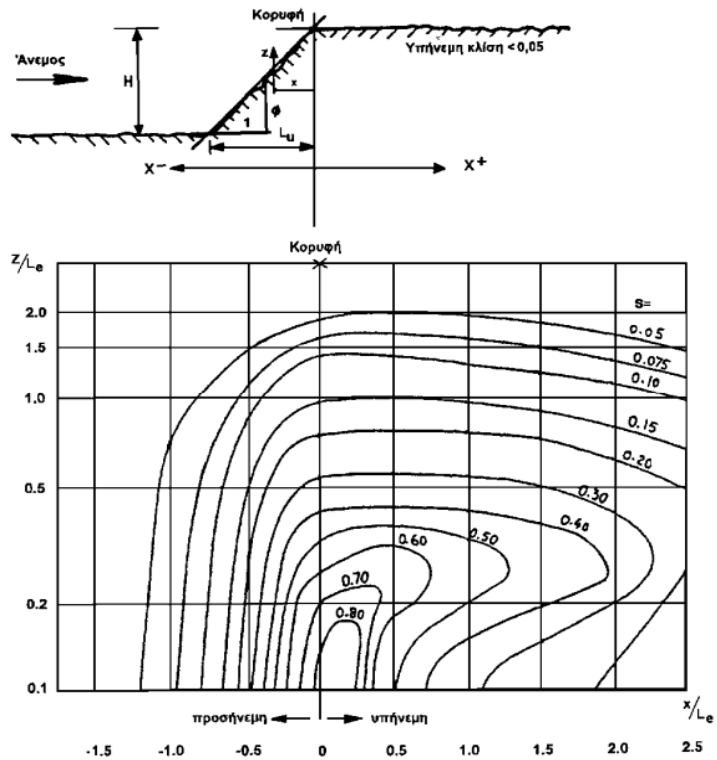
x: είναι η οριζόντια απόσταση της κατασκευής από την κορυφή του λόφου.

z: είναι η κατακόρυφη απόσταση της κατασκευής από την επιφάνεια του εδάφους.

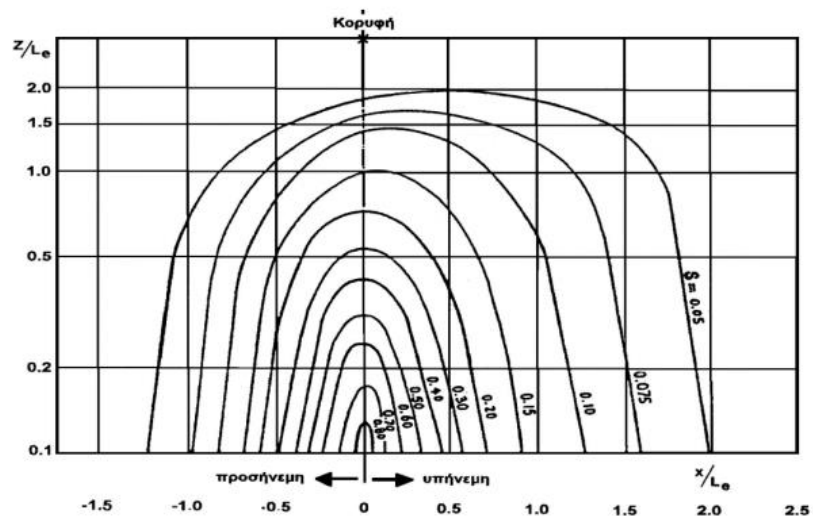
Για κοιλάδες ο  $c_0(z)$ , μπορεί να ληφθεί ίσος με 1.0, με προϋπόθεση να μην υπάρχει αύξηση της ταχύτητας.

Κλίση ( $\Phi = L/H$ )		$L_e$
Ελαφρά	$0,05 < \Phi < 0,3$	$L_e = L_u$
Απότομη	$0,3 < \Phi$	$L_e = H/0,3$

**Πίνακας 11:** Τιμές ενεργού μήκους ανάντη της πλαγιάς  $L_e$



**Σχήμα 5.9:** Συντελεστής (s) για γκρεμούς και εξάρσεις.



**Σχήμα 5.10:** Συντελεστής (s) για λόφους και προεξοχές.

## Αεροδυναμικοί συντελεστές πίεσης και δύναμης

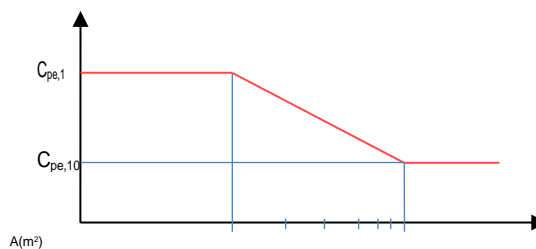
Οι συντελεστές αυτοί χρησιμοποιούνται ώστε να υπολογιστούν οι τελικές πιέσεις επί των επιφανειών των κατασκευών ή οι τελικές δυνάμεις ανέμου σε όλη την κατασκευή ή σε ένα τμήμα της. Οι βασικές κατηγορίες κατασκευών και κατασκευαστικών στοιχείων που γίνεται η χρήση των αεροδυναμικών συντελεστών είναι η εξής κατηγορίες:

- Κτίρια.
- Στέγαστρα.
- Ελεύθεροι διαχωριστικοί τοίχοι, φράχτες και πινακίδες.
- Δομικά στοιχεία με ορθογωνική διατομή.
- Δομικά στοιχεία με οξείες ακμές.
- Δομικά στοιχεία με διατομή κανονικού πολυγώνου.
- Κυκλικοί κύλινδροι. Σφαίρες.
- Δικτυώματα και σκαλωσιές.
- Γέφυρες.
- Σημαίες.

### • Συντελεστής εξωτερικής πίεσης $c_{pe}$

Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνουν την επίδραση του ανέμου στις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων και διακρίνονται σε καθολικούς και τοπικούς συντελεστές. Εξαρτώνται από τις διαστάσεις της φορτιζόμενης επιφάνειας  $A$ , η οποία μεταφέρει στο εξεταζόμενο στοιχείο της κατασκευής τη δράση της ανεμοπίεσης και προκαλεί την αντίστοιχη καταπόνησή του.

$c_{pe}$



**Σχήμα 5.11:** Μεταβολή του συντελεστή εξωτερικής πίεσης ( $c_{pe}$ ), για κτίρια, συναρτήσει της φορτιζόμενης επιφάνειας ( $A$ ).

Οι τοπικοί συντελεστές  $c_{pe,1}$  αφορούν τους συντελεστές πίεσης για φορτιζόμενες επιφάνειες μικρότερες ή ίσες από  $1 \text{ m}^2$  π.χ. για το σχεδιασμό μικρών στοιχείων και στερεώσεων ενώ οι καθολικοί συντελεστές  $c_{pe,10}$  αφορούν τους συντελεστές πίεσης για φορτιζόμενες επιφάνειες μεγαλύτερες των  $10 \text{ m}^2$ .

### • Συντελεστής εσωτερικής πίεσης $c_{pi}$

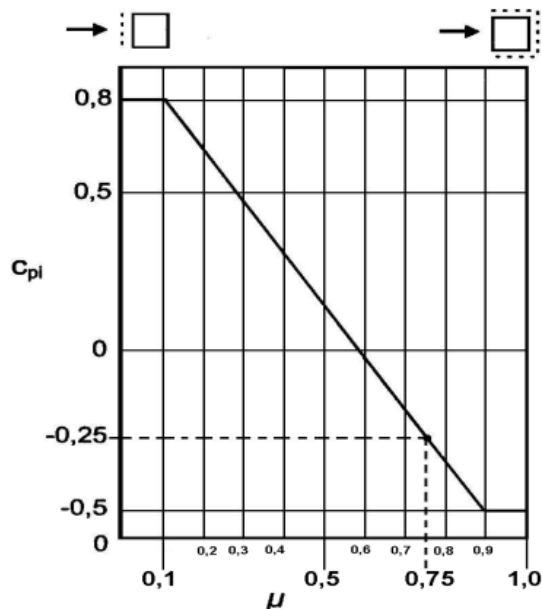
Οι συντελεστές εσωτερικής πίεσης δίνουν την επίδραση του ανέμου στις εσωτερικές επιφάνειες των κτιρίων.

Για κτήρια χωρίς εσωτερικά διαχωρίσματα δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα και είναι συνάρτηση του ποσοστού ανοιγμάτων  $\mu = A_i/A_T$ .

Όπου:

$A_i$ : είναι το άθροισμα των επιφανειών των ανοιγμάτων που υπάρχουν στην υπήνεμη πλευρά και στις παράλληλες πλευρές στη διεύθυνση του ανέμου.

$A_T$ : είναι το άθροισμα των επιφανειών των ανοιγμάτων που υπάρχουν σε όλες τις πλευρές του κτιρίου.



**Σχήμα 5.12:** Συντελεστής εσωτερικής πίεσης ( $C_{pi}$ ) για κτίρια με ανοίγματα στους τοίχους.

- συντελεστής δύναμης  $c_f$

Οι παραπάνω τιμές ορίζονται από τον πίνακα που ακολουθεί

Κατηγορία εδάφους		$k_t$	$Z_o$	$Z_{min}$
0	Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα.	0,17	0,003	1
I	Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια.	0,17	0,01	1
II	Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτήρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων.	0,19	0,05	2
III	Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτήρια ή μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση).	0,22	0,3	5
IV	Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτήρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά το 15m.	0,24	1,0	10

**Πίνακας 12:** Κατηγοριοποίηση εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι.

### e) Εσωτερική πίεση ( $w_i$ )

Για την εύρεση της εσωτερικής πίεσης χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$W_i = q_{ref} \cdot C_e(z_i) \cdot C_{pi}$$

Όπου:

$q_{ref}$ : πίεση αναφοράς ανέμου

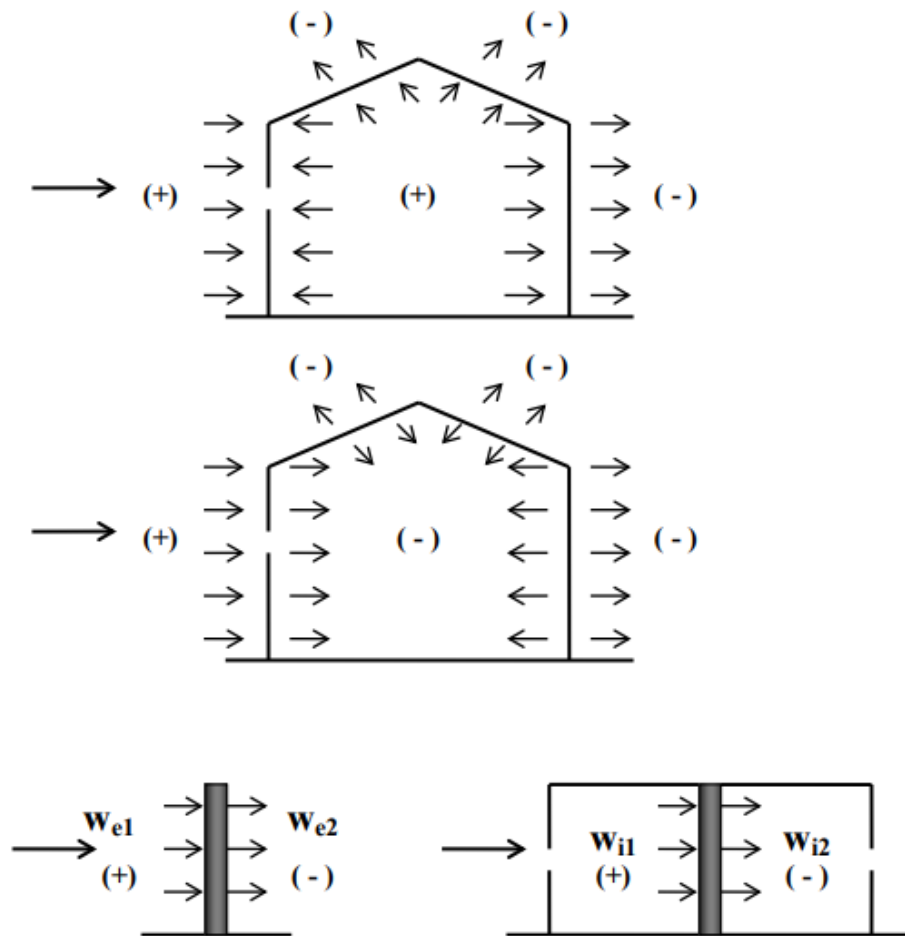
$C_e(z_i)$ : είναι ο συντελεστής εκθέσεως

$C_{pi}$ : είναι ο συντελεστής εσωτερικής πίεσης.

### f) Τελική πίεση

Τελική πίεση ονομάζεται η διαφορά των πιέσεων πάνω στην επιφάνεια του τοίχου ή του στοιχείου. Η φορά των πιέσεων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, διότι η πίεση με κατεύθυνση προς την επιφάνεια του τοίχου ή του στοιχείου θεωρείται θετική και υπάρχει υπερπίεση, ενώ σε αντίθετη περίπτωση θεωρείται αρνητική και υπάρχει υποπίεση, όταν

δηλαδή η κατεύθυνση της πίεσης απομακρύνεται από την επιφάνεια του τοίχου ή του στοιχείου.



**Σχήμα 5.13:** Πίεση του ανέμου επί των επιφανειών.

### 5.4.3. Δυνάμεις ανέμου.

➤ Συνολική δύναμη του ανέμου ( $F_w$ )

Η συνολική δύναμη του ανέμου η οποία δρα πάνω σε μια κατασκευή ή σε ένα τμήμα αυτής και έχοντας ως προϋπόθεση η κατασκευή να μην είναι ευαίσθητη σε δυναμική καταπόνηση (δηλαδή όταν  $cd < 1,2$ ), δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F_w = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

Είναι το άθροισμα των πιέσεων επί όλων των επιφανειών της.

Όπου:

$c_d$ : δυναμικός συντελεστής.

$c_f$ : συντελεστής δύναμης.

$A_{ref}$ : επιφάνεια αναφοράς, μετράτε ως η προβολή της κατασκευής σε επίπεδο, κάθετο προς τη διεύθυνση του ανέμου.

Σε περίπτωση που η κατασκευή είναι δικτυωτή ή κατακόρυφη υπό μορφή προβόλου πχ κτίρια, καπνοδόχοι κτλ με λυγηρότητα ύψος ή πλάτος μεγαλύτερο από 2m και σταθερή διατομή, τότε στην παραπάνω σχέση αντί για τον όρο  $z_e$  έχουμε τον όρο  $z_j$  όπου ο όρος  $j$  αναφέρεται στα χαρακτηριστικά στοιχεία της επιμέρους επιφάνειας  $A_j$ , που βρίσκεται σε ύψος  $z_j$ .

Κατά τον υπολογισμό των δυνάμεων πρέπει να ληφθούν υπόψη η στρεπτικές καταπονήσεις που προέρχονται από αστάθμητους παράγοντες, για παράδειγμα η



διεύθυνση πνοής ανέμου υπό γωνία, η δύναμή του ανέμου εφαρμόζεται με εκκεντρότητα  $e$  ίση με  $e = b/10$

Όπου:

$b$ : διάσταση της κατασκευής, η κάθετη προς τη διεύθυνση πνοής του ανέμου.

➤ Δύναμη τριβής ανέμου ( $F_{fr}$ )

Οι δυνάμεις τριβής δρουν επαπτομενικά σε κάθε περίπτωση ανάλογα την επιφάνεια προσβολής και υπολογίζονται από τον τύπο που ακολουθεί:

$$F_{fr} = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{fr} \cdot A_{fr}$$

Όπου:

$q_{ref}$ : πίεση αναφοράς

$c_e(z_e)$ : συντελεστής έκθεσης

$c_{fr}$ : συντελεστής τριβής

$A_{fr}$ : επιφάνεια τριβής

## 5.5. Θερμοκρασιακές μεταβολές

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές δρουν έμμεσα και αναφέρονται στο μέρος 1-5 του Ευρωκώδικα 1, όπου δίνονται οδηγίες για τα φορτία που προκύπτουν από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Οι δράσεις οι οποίες προέρχονται από μεταβολές τις θερμοκρασίες υπολογίζονται θεωρώντας ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι ομοιόμορφη στα στοιχεία του φορέα, οι μεταβολές αυτές οφείλονται από την εναλλαγή θερμοκρασιών στο περιβάλλον ανάλογα την χρονική περίοδο παραδείγματος χάρι χειμώνας – καλοκαίρι.

Για να ληφθούν υπόψη τα φορτία που επιβάλλονται στην κατασκευή από συστολές και διαστολές λαμβάνετε η μεταβολή της θερμοκρασίας ως  $\Delta T = +20$  ή  $\Delta T = -20$  υπάρχει ομοιόμορφη αύξηση ή μείωση θερμοκρασίας ολόκληρου του φέροντος οργανισμού.

## 5.6. Μόνιμο φορτίο(Dead Load)

Μόνιμα φορτία λέγονται τα φορτία που ασκούν συνεχή δύναμη σε μία κατασκευή. Επομένως όταν γίνεται αναφορά στο μόνιμο φορτίο εννοείται το βάρος των υλικών που αποτελούν μια κατασκευή (για παράδειγμα ο χάλυβας), φέροντα και μη και τα βάρη γαιών και έρματος.

Στα μη φέροντα στοιχεία που αναφέρθηκαν είναι:

- Στέγες
- Διαμορφώσεις επιφανειών και επικαλύψεις
- Χωρίσματα και ταπετσαρίες
- Χειρολαβές, κιγκλιδώματα, στηθαία ασφαλείας, κράσπεδα
- Στοιχεία επένδυσης τοίχων
- Ψευδοροφές / αναρτημένες οροφές
- Θερμομόνωση
- Εξαρτήματα γεφυρών
- Μόνιμες εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης (εξοπλισμός ανελκυστήρων, κυλιόμενων κλιμάκων, θέρμανσης, εξαερισμού, κλιματισμού, ηλεκτρικός εξοπλισμός, σωλήνες δίχως το περιεχόμενό τους, καλώδια και αγωγούς καλωδιώσεων).

## 6. Αναλυτική διαστασιολόγηση(Ευρωκώδικας 3).

### 6.1 Γενική αναφορά στον Ευρωκώδικα 3

#### 6.1.1. Αρχές και κανόνες.

Ο Ευρωκώδικας 3 αναφέρεται στον σχεδιασμό κατασκευών από χάλυβα και ακολουθείται από όλα τα Ευρωπαϊκά κράτη τα οποία ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης, ώστε να ακολουθούνται ίδιες αρχές καθώς και κανόνες με σκοπό τον ασφαλή σχεδιασμό των χαλύβδινων κατασκευών.

Έπειτα από αρκετές δεκαετίες που οι μεταλλικές κατασκευές είχαν ξεκινήσει να χρησιμοποιούνται όλο ένα και παραπάνω, συγκεκριμένα στα τέλη της δεκαετίας του '80, η επιτροπή των Ευρωπαϊκών κοινοτήτων αποφάσισε να φτιάξει κανονισμούς, τους οποίους όλοι οι μηχανικοί θα χρησιμοποιούσαν κι έτσι οι κατασκευές θα ήταν πανομοιότυπες σε ότι αφορούσε τα δομικά τους στοιχεία. Αυτούς του κανονισμούς τους ονόμασαν Δομικούς Ευρωκώδικες, οι οποίοι αναφέρονται και σε προηγούμενο κεφάλαιο (Ευρωκώδικας 1).

Η σημαντικότερη αλλαγή που προέκυψε από την δημιουργία του Ευρωκώδικα 3 ήταν η αντικατάσταση της μεθόδου των επιτρεπόμενων τάσεων από την μέθοδο των οριακών καταστάσεων. Η μέθοδος των οριακών καταστάσεων χρησιμοποιεί διάφορους συντελεστές ασφαλείας και έχει αρκετά περίπλοκους ελέγχους παρόλα αυτά καταλήγει σε λογικότερη διαστασιολόγηση, πιο τολμηρά σχέδια αλλά σε ασφαλέστερες μεταλλικές κατασκευές.

Ο Ευρωκώδικας 3(EN 1993-1-1:2004) αποτελείται από 6 μέρη(Ευρωπαϊκά Πρότυπα) τα οποία αναγράφονται παρακάτω:

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

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω χρησιμοποιούνται συντελεστές ασφαλείας, οι οποίοι συμβολίζονται με  $\gamma$  και είναι αριθμοί μεγαλύτεροι ή ίσοι της μονάδας οι οποίοι έχουν σαν αποτέλεσμα είτε να πολλαπλασιάζονται οι δράσεις οι οποίες εφαρμόζονται στην κατασκευή είτε να διαιρούνται οι αντιστάσεις των μελών τις κατασκευής.

Από τους διάφορους συντελεστές ασφαλείας που υπάρχουν χρησιμοποιούνται κυρίως μόνο δύο κατηγορίες οι οποίες αναγράφονται παρακάτω.

1.  $\gamma_{M1}=1.0$

η τιμή αυτή χρησιμοποιείται στις αντιστάσεις οι οποίες σχετίζονται με την τάση διαρροής του χάλυβα  $f_y$ .

2.  $\gamma_{M2}=1.25$

η τιμή αυτή αφορά στις αντιστάσεις οι οποίες σχετίζονται με την οριακή εφελκυστική αντοχή  $f_u$

Για ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης και

3. οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας  $\gamma_{M0}=1.0$

Για τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας στο σχεδιασμό κτηρίων, επιτρέπεται από τις αρμόδιες αρχές κάθε κράτους μέλους να επιλεγεί διαφορετική αριθμητική τιμή από τις προηγούμενες προτεινόμενες τιμές, παραδείγματος χάριν αντί για 1.0 μπορεί να χρησιμοποιηθεί 1.1.

Με την δημιουργία του Ευρωκώδικα και συγκεκριμένα του Ευρωκώδικα 3 εισήχθησαν και νέα στοιχεία τα οποία διευκόλυναν των σχεδιασμό και την κατασκευή μεταλλικών κτηρίων.

- Έγινε αλλαγή του συστήματος αξόνων σε μια διατομή, συγκεκριμένα αντί για  $x,y$  χρησιμοποιείται  $y,z$ ,
- επίσης χρησιμοποιούνται οι μονάδες του συστήματος S.I.,

- υιοθετείτε η μειωμένη αντοχή στα ελάσματα μεγάλου πάχους (40 mm και πάνω) καθώς και διάφορα άλλα.

Είναι απαραίτητο να αναφερθεί επίσης ότι σχετικά με τα θέματα ασφάλειας στις μεταλλικές κατασκευές υπάρχουν κάποιες ενδεικτικές τιμές(indicative values) οι οποίες στο κείμενο του κανονισμού δίνονται εντός πλαισίου. Υπεύθυνοι για τον καθορισμό των οριστικών τιμών είναι οι αρχές του κάθε κράτους-μέλους. Βέβαια η εφαρμογή των κανονισμών γίνεται συνδυαστικά με τα Εθνικά Κείμενα Εφαρμογής - ΕΚΕ (National Application Documents, NADs) όπου εκεί ουσιαστικά καθορίζονται οι οριστικές τιμές που αφορούν τα θέματα ασφάλειας τηρώντας όμως και τα πρότυπα του Ευρωκώδικα 3 αλλά ταυτόχρονα να είναι και συμβατά με τους κανονισμούς σε εθνικό επίπεδο.

Ο Ευρωκώδικας εκτός από τον βασικό κορμό αποτελείται και από κάποια κανονιστικά ή πληροφοριακά Παραρτήματα εξίσου σημαντικά με τα υπόλοιπα κεφάλαια του Ευρωκώδικα καθώς συμπληρώνουν όλες τις πληροφορίες που μας δίνει το βασικό πλαίσιο του Ευρωκώδικα. Για παράδειγμα στα Παραρτήματα αναφέρονται κάποια ειδικά θέματα όπως η στατική ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη τη μη γραμμικότητα του υλικού και οι απλοποιητικές διατάξεις για τον σχεδιασμό συνεχών δοκών δαπέδου (Τμήμα EN 1993- 3-1, Παράρτημα ΑΒ (Πληροφοριακό). Ο Κανονισμός συμπληρώνεται επίσης από ορισμένα Πρότυπα EN και EN ISO.

### **6.1.2. Εξασφάλιση ανθεκτικότητας και συνθήκες ασφαλείας.**

Αρχικά κατά τον σχεδιασμό μιας μεταλλικής κατασκευής για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας της κατά την διάρκεια του χρόνου είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

1. Η χρήση που θα έχει η κατασκευή,
2. τα κριτήρια συμπεριφοράς,
3. οι αναμενόμενες συνθήκες περιβάλλοντος,
4. η σύνθεση,
5. οι ιδιότητες και η συμπεριφορά του υλικού,
6. οι τύποι των διατομών στα δομικά στοιχεία και οι τύποι συνδέσεων,
7. η ποιότητα κατασκευής,
8. ο ποιοτικός έλεγχος κατά την παράδοση της κατασκευής,
9. τα μέτρα προστασίας για να αποφευχθούν ταχύτερη αλλοίωση στην ποιότητα της κατασκευής
10. και τέλος πως αλληλοεπιδρούν όλα τα παραπάνω.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω θα πρέπει να τηρούνται και κάποιες συνθήκες. Παρακάτω θα αναφερθούν αυτές οι συνθήκες οι οποίες θα πρέπει να ικανοποιούνται μετά την ολοκλήρωση των απαραίτητων υπολογισμών με τα κατάλληλα υπολογιστικά μοντέλα.

Οι συνθήκες είναι 3, και έχουν ως εξής:  $E_{d, stb} \geq E_{d, dst}$ ,  $R_d \geq S_d$  και  $C_d \geq E_d$ .

Πιο αναλυτικά:

#### **Πρώτη συνθήκη**

$$E_{d, stb} \geq E_{d, dst(1)}$$

Όπου:

$E_{d, stb}$ : σταθεροποιητικές δράσεις(stabilizing actions)

$E_{d, dst}$ : αποσταθεροποιητικών δράσεων (destabilizing actions)

Η συνθήκη αυτή αφορά την Οριακή Κατάσταση η οποία έχει να κάνει με την στατική ισορροπία, τις μετατοπίσεις ή τις παραμορφώσεις της μεταλλικής κατασκευής και πρέπει να ικανοποιεί τη παραπάνω ανισότητα.

Από την ανισότητα αυτή απορρέει το συμπέρασμα ότι οι σταθεροποιητικές δράσεις πρέπει πάντοτε να είναι μεγαλύτερες ή ίσες του αποτελέσματος των αποσταθεροποιητικών δράσεων.

### **Δεύτερη συνθήκη**

$$R_d \geq S_d$$

Όπου:

$R_d$ : αντίσταση σχεδιασμού διατομής, μέλους ή σύνδεσης.

$S_d$ : τιμή σχεδιασμού των εσωτερικών δυνάμεων και ροπών.

Η συνθήκη αυτή αφορά την Οριακή Κατάσταση η οποία σχετίζεται με τη θραύση ή την υπερβολική παραμόρφωση διατομής, μέλους ή σύνδεσης και πρέπει να ικανοποιεί τη παραπάνω ανισότητα.

Από την ανισότητα αυτή απορρέει το συμπέρασμα ότι η αντίσταση σχεδιασμού διατομής, μέλους ή σύνδεσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση της τιμής σχεδιασμού των αντίστοιχων εσωτερικών δυνάμεων και ροπών.

### **Τρίτη συνθήκη**

$$C_d \geq E_d$$

Όπου:

$C_d$ : Δράσεις για τη φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού της κατασκευής

$E_d$ : Δράσεις για τις τιμές σχεδιασμού

Η συνθήκη αυτή αφορά την Οριακή Κατάσταση η οποία σχετίζεται με την επίδραση των δράσεων και πρέπει να ικανοποιεί τη παραπάνω ανισότητα.

Από την ανισότητα αυτή απορρέει το συμπέρασμα ότι η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού της κατασκευής για τις δράσεις πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση της τιμής σχεδιασμού των αντίστοιχων δράσεων.

Συμπερασματικά για οποιοδήποτε συνδυασμό φόρτισης θα πρέπει η συνολική αντίσταση της μεταλλικής κατασκευής να είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε πιθανή εντατική κατάσταση της.

### **6.1.3. Απαιτούμενη έλεγχοι**





Είναι απαραίτητο πριν την κατασκευή της μεταλλικής κατασκευής να διενεργούνται οι απαραίτητοι έλεγχοι για να αποφεύγονται δυσάρεστες καταστάσεις και αστοχίες που είτε μπορεί να προκαλέσουν ατυχήματα είτε να δημιουργήσουν εμπόδια κατά την διάρκεια κατασκευής είτε να προσδώσουν στην κατασκευή μικρότερη διάρκεια ζωής.

Επομένως σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 δεν απαιτούνται για όλα τα εξεταζόμενα μέλη οι ίδιοι έλεγχοι, άρα με βάση το είδος του τμήματος το οποίο πρέπει να ελεγχθεί προσδιορίζονται και οι αντίστοιχοι έλεγχοι.

Ανάλογα λοιπόν το είδος ισχύει:

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

Με βάση τον Ευρωκώδικα 3 οι διατομές για να ελεγχθούν κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες.

Κατηγορία διατομής	Μορφή	Περιγραφή
1		Μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση με την απαιτούμενη από την πλαστική ανάλυση δυνατότητα στροφής χωρίς μείωση της αντοχής τους
2		Μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική ροπή αντοχής τους, αλλά έχουν περιορισμένη δυνατότητα στροφής λόγω τοπικού λυγισμού
3		Η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χαλύβδινου μέλους μπορεί να φθάσει την αντοχή διαρροής, αλλά συμβαίνει τοπικός λυγισμός πριν την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής
4		Συμβαίνει τοπικός λυγισμός πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής

**Πίνακας 13:** Κατηγοριοποίηση διατομών.

Η κατανομή αυτή αποσκοπεί στην δυνατότητα αναγνώρισης της έκτασης στην οποία η αντοχή και η ικανότητα στροφής των διατομών περιορίζεται από την αντοχή τους σε τοπικό λυγισμό.

Επίσης η κατάταξη μιας συγκεκριμένης διατομής εξαρτάται από το λόγο πλάτους προς πάχος  $c/t$  των τμημάτων λόγω αξονικής δύναμης ή/και καμπτικής ροπής. Τα θλιβόμενα αυτά τμήματα περιλαμβάνουν κάθε τμήμα μιας διατομής το οποίο θλίβεται είτε εξ ολοκλήρου είτε εν μέρει για τον υπό θεώρηση συνδυασμό φορτίων. Επομένως με βάση τα παραπάνω η κατηγορία στην οποία ανήκει μία διατομή εξαρτάται τόσο από τη γεωμετρία της, όσο και από τον τύπο της φόρτισης που επιβάλλεται σε αυτή.

Τα επιμέρους τμήματα μιας διατομής όπως είναι για παράδειγμα ο κορμός ή το πέλμα μπορούν να ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, ωστόσο η διατομή κατατάσσεται σύμφωνα με την υψηλότερη κατηγορία των θλιβόμενων τμημάτων της.

#### 6.1.4. Σύμβολα.

Παρακάτω αναγράφονται κάποια σύμβολα τα οποία χρησιμοποιούνται σε αλγόριθμο, ο οποίος εκτελεί τη σχεδίαση των μεταλλικών κατασκευών, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

$x-x$  → Άξονας κατά μήκος του μέλους

$y-y$  → Ισχυρός άξονας της διατομής

$z-z$  → Ασθενής άξονας της διατομής

$b$  → Πλάτος διατομής

$h$  → Ύψος διατομής

$t_w$  → Πάχος κορμού

$t_f$  → Πάχος πέλματος

$f_y$  → Όριο διαρροής

$f_u$  → Όριο θραύσης

$A$  → Εμβαδό

$I_y$  → Δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας γύρω από άξονα

$y-y I_z$  → Δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας γύρω από άξονα

$z-z I_T$  → Στρεπτική ροπή αδράνειας

$I_w$  → Αντίσταση σε καμπύλωση

$W_{pl}$  → Πλαστική ροπή αντίστασης

$W_{pl,y}$  → Πλαστική ροπή αντίστασης  $y-y$

$W_{rl,z}$  → Πλαστική ροπή αντίστασης  $z-z$   
 $I_y$  → Ακτίνα αδράνειας  $z$   
 $E$  → Μέτρο ελαστικότητας  
 $G$  → Μέτρο διάτμησης  
 $N$  → Λόγος Poisson  
 $\Lambda$  → Λυγηρότητα  
 $\Lambda$  → Ανοιγμένη λυγηρότητα  
 $\gamma_M$  → Συντελεστής ασφάλειας γενικά  
 $\gamma_{Mi}$  → Ειδικός συντελεστής ασφάλειας  
 $N_{ED}$  → Τιμή σχεδιασμού αξονικής δύναμης  
 $M_{y,ED}$  → Τιμή σχεδιασμού καμπτικής ροπής κατά άξονα  $y-y$   
 $M_{z,ED}$  → Τιμή σχεδιασμού καμπτικής ροπής κατά άξονα  $z-z$   
 $V_{y,ED}$  → Τιμή σχεδιασμού διατμητικής δύναμης κατά άξονα  $y-y$   
 $V_{z,ED}$  → Τιμή σχεδιασμού διατμητικής δύναμης κατά άξονα  $z-z$   
 $T_{ED}$  → Τιμή σχεδιασμού στρεπτικής ροπής  
 $N_{RD}$  → Τιμή αντίστασης αξονικής δύναμης  
 $M_{y,RD}$  → Τιμή αντίστασης καμπτικής ροπής κατά άξονα  $y-y$   
 $M_{z,RD}$  → Τιμή αντίστασης καμπτικής ροπής κατά άξονα  $z-z$   
 $N_t,RD$  → Τιμή αντίστασης εφελκυστικής αξονικής δύναμης  
 $V_{rl,RD}$  → Τιμή αντίστασης διατμητικής δύναμης  
 $V_{rl,T,RD}$  → Τιμή αντίστασης διατμητικής δύναμης με παρουσία στρέψης  
 $T_{RD}$  → Τιμή αντίστασης στρεπτικής ροπής  
 $N_{cr,y}$  → Κρίσιμο φορτίο καμπτικού λυγισμού γύρω από άξονα  $y-y$   
 $N_{cr,z}$  → Κρίσιμο φορτίο καμπτικού λυγισμού γύρω από άξονα  $z-z$   
 $N_{cr,T}$  → Κρίσιμο φορτίο στρεπτικού λυγισμού για θλιβόμενη ράβδο  
 $N_{cr,T F}$  → Κρίσιμο φορτίο στρεπτοκαμπτικού λυγισμού για θλιβόμενη ράβδο

#### 6.1.5. Ορολογία και συμβάσεις.

Σε όλες τις επιστήμες και ιδιαίτερα στην επιστήμη όπως είναι αυτή των κατασκευών, χρησιμοποιούνται αρκετές ορολογίες. Οι ορολογίες συνήθως αναφέρονται μεταξύ των ατόμων του ίδιου επαγγέλματος, κι έτσι υπάρχει πλήρη συνεννόηση καθώς σε άλλους ανθρώπους οι οποίοι δεν ασχολούνται με αυτό το τομέα αυτοί οι ορισμοί θα είναι άγνωστοι. Στον ευρωκώδικα 3 υπάρχει μία καινούργια έννοια, η οποία δεν υπάρχει πουθενά αλλού και είναι η έννοια του πλαισίου (frame). Το πλαίσιο θεωρείται τμήμα κατασκευής που έχει ένα σύνολο μελών από χάλυβα, τα οποία έχουν άμεση σύνδεση μεταξύ τους και έχει επέλθει πάνω σε αυτά ειδική μελέτη ώστε να μπορούν να αντέχουν τα φορτία που τους αναθέτονται.

Η ορολογία αυτή χρησιμοποιείται για πλαίσια με πακτώσεις, για δικτυωτά πλαίσια και μπορεί να καλύψει κατά κάποιον τρόπο τα επίπεδα και τα χωρικά πλαίσια. Τα πλαίσια βέβαια αυτά δεν έχουν μία κατηγορία, αλλά λέγονται και με άλλες, παράγωγες λέξεις, οι οποίες θα αναφερθεί παρακάτω ποιες είναι και τι σημαίνουν.

1. Υπο-πλαίσιο (sub-frame) à Είναι ένα πλαίσιο που υπάρχει μέσα σε ένα άλλο, μεγαλύτερο πλαίσιο αλλά καλό είναι να σημειωθεί ότι στις σχέδιο-μελέτες θεωρείται ένας ξεχωριστός, αυτόνομος φορέας.
2. Ημι-συνεχή (semi-continuous) à Τα συγκεκριμένα πλαίσια όταν αναλυθούν στατικά πρέπει να αναφερθεί με κάθε λεπτομέρεια η συμπεριφορά των μελών και των συνδέσεων τους.
3. Συνεχή (continuous) à Στη προκειμένη περίπτωση πρέπει να αναλυθεί μόνο η συμπεριφορά των μελών τους.
4. Απλά (simple) à Σε αυτά τα πλαίσια οι συνδέσεις δεν έχουν ροπές.

## 6.2 Οριακές Καταστάσεις.

Κατά τη διάρκεια της σχέδιο-μελέτης των μεταλλικών κατασκευών πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι οριακές καταστάσεις. Υπάρχουν τριών ειδών καταστάσεις η οριακή κατάσταση σχεδιασμού, αστοχίας και λειτουργικότητας οι οποίες θα αναλυθούν πιο διεξοδικά παρακάτω.

- Οριακές καταστάσεις σχεδιασμού: Για να μπορεί μία κατασκευή να είναι κατάλληλη για χρήση κι έτσι να αποφευχθούν προβλήματα, θα πρέπει ένα σύνολο κριτηρίων συμπεριφοράς να ικανοποιεί τις προδιαγραφές που υπάρχουν και είναι για κάθε κατασκευή διαφορετικές.
- Οριακές καταστάσεις αστοχίας: Οι καταστάσεις αστοχίας αφορούν τη κατασκευή αλλά και τους ανθρώπους που μπορεί να συσχετίζονται με αυτή, καθώς η μελέτη των καταστάσεων αυτών είναι για τη κατάρρευση της κατασκευής η οποία μπορεί να είναι μερική ή ακόμα και ολική κι έτσι να φέρει σε κίνδυνο ό,τι βρίσκεται εντός κι εκτός από εκείνη.

Ο μελετητής είναι απαραίτητο να ελέγξει όλες τις δράσεις είτε φυσικές είτε τεχνητές που υπάρχει περίπτωση κάποια στιγμή να προκληθούν, με κάθε περιθώριο ασφαλείας πάντα. Επιπροσθέτως πρέπει να εξασφαλίσει ότι η κατασκευή μπορεί να αντέξει τις καταστάσεις που ίσως δράσουν σε αυτή.

- Βασικοί συνδυασμοί,  
ισχύει:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Ταχηματικοί συνδυασμοί,  
ισχύει:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + A + \psi_1 Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

- Σεισμικοί συνδυασμοί,  
ισχύει:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + E + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

	Συνδυασμός δράσεων	Επιμέρους συντελεστές δράσεων				
		Υδουσμενής, Υεμενής				
		Μόνιμα	Χιόνι	Άνεμος	Θερμοκρασία	Σεισμός
Αστοχίας ULS	ULS 1	1,35	1,50			
	ULS 2	1,35	1,50	0,90		
	ULS 3	1,35	1,50		0,90	
	ULS 4	1,35	1,50	0,90	0,90	
	ULS 5	1,35;1,00		1,50		
	ULS 6	1,35;1,00	0,90	1,50		
	ULS 7	1,35;1,00		1,50	0,90	
	ULS 8	1,35;1,00	0,90	1,50	0,90	
	ULS 9	1,35			1,50	
	ULS 10	1,35	0,90		1,50	
	ULS 11	1,35		0,90	1,50	
	ULS 12	1,35	0,90	0,90	1,50	
Σεισμικός	SEISM	1,00	0,30			1,00

**Πίνακας 14:** Συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας: Οι συγκεκριμένες καταστάσεις απευθύνονται σε συνθήκες όπου η κατασκευή αντέχει τις δράσεις που έχουν προηγηθεί αλλά ο τρόπος που συμπεριφέρεται σε αυτές δεν είναι ο κατάλληλος κι αυτό μπορεί να επιφέρει αρκετά μη αντιμετωπίσιμα προβλήματα, αυτό συμβαίνει καμία φορά λόγω αυξημένης ταλάντωσης ή υπερβολικών παραμορφώσεων.

Η λανθασμένη αυτή συμπεριφορά μπορεί να μην προκαλέσει άμεσα προβλήματα όμως προκαλεί ανασφάλεια στους ανθρώπους που τη χρησιμοποιούν, βλάβες μη φερόντων στοιχείων αλλά και ανεπιθύμητες ρηγματώσεις. Καλό είναι να σημειωθεί ότι οι αυξημένες κινήσεις και ταλαντώσεις συνδέονται με τη δυσκαμψία κι όχι με την αντοχή της κατασκευής.

- Χαρακτηριστικοί συνδυασμοί, ισχύει:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0i} Q_{ki}$$

- Συχνοί συνδυασμοί, ισχύει:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \Psi_1 Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2i} Q_{ki}$$

- Μόνιμοι συνδυασμοί, ισχύει:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2i} Q_{ki}$$

- Σεισμικοί συνδυασμοί, ισχύει:

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + A_{serv} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2i} Q_{ki}$$

	Συνδυασμός δράσεων ς	Επιμέρους συντελεστές δράσεων Υδυσμενής, Υευμενής				
		Μόνιμα	Χιόνι	Άνεμοι	Θερμοκρασίες	Σεισμοί
Λειτουργικότητα ς SLS	SLS 1	1,00	1,00			
	SLS 2	1,00	1,00	0,60		
	SLS 3	1,00	1,00		0,60	
	SLS 4	1,00	1,00	0,60	0,60	
	SLS 5	1,00		1,00		
	SLS 6	1,00	0,60	1,00		
	SLS 7	1,00		1,00	0,60	
	SLS 8	1,00	0,60	1,00	0,60	
	SLS 9	1,00			1,00	
	SLS 10	1,00	0,60		1,00	
	SLS 11	1,00		0,60	1,00	
	SLS 12	1,00	0,60	0,60	1,00	

**Πίνακας 15:** Συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

Η σημασία των παραπάνω συμβόλων:

+: σημαίνει « επαλληλία με »

$G_{kj}$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων

$P_k$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή της προ έντασης

$Q_{ki}$ : είναι η χαρακτηριστική τιμή της μεταβλητής δράσης  $i$

$A$ : είναι η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης

$E$ : είναι η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης



$\gamma_{Gj}$ ,  $\gamma_{GAj}$ : είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση  $j$   
 $\gamma_p$ ,  $\gamma_{pA}$ : είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την προ ένταση  
 $\gamma_{Qi}$ : είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση  $i$   
 $\gamma_i$ : είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας  
 $\psi_{0i}$ ,  $\psi_{1i}$ ,  $\psi_{2i}$ : είναι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων.

Οι κατηγορίες σπουδαιότητας περιέχουν τον συντελεστή  $\gamma_i$ . Σε αυτές τις κατηγορίες ανήκουν οι κατασκευές οι οποίες κρίνονται ανάλογα με τον κίνδυνό τους και κατά πόσο επηρεάζουν τους ανθρώπους αλλά και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει εάν η κατασκευή καταστραφεί ή εάν διακοπεί η λειτουργία της.

Σε αντίθετη περίπτωση, οι συντελεστές συνδυασμού  $\psi_i$  των μεταβλητών δράσεων, χρησιμεύουν στην μελέτη των κατασκευών για να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα για να γίνουν ταυτόχρονα οι δυσμενείς τιμές των διαφόρων ανεξάρτητων δράσεων.

Παρακάτω επισυνάπτονται οι προτεινόμενες από τον EC1 τιμές των επιμέρους συντελεστών συνδυασμού  $\psi_i$ :

Συντελεστές συνδυασμού $\psi_i$ κατά τον EC1			
ΔΡΑΣΗ	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Μεταβλητά φορτία σε κτήρια <sup>(1)</sup>			
Κατηγορία κατοικίες	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία γραφεία	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία επιφάνειες συνάθροισης σχολεία εστιατόρια εκκλησίες θέατρα κινηματογράφοι κλπ	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία καταστήματα	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία αποθηκευτικοί χώρο	1,0	0,9	0,8
Φορτία κυκλοφορίας οχημάτων σε κτήρια			
Κατηγορία F: βάρος οχημάτων 30kN	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία G: 30kN βάρος οχημάτων 160kN	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία H: στέγες	0	0	0
Φορτία χιονιού σε κτήρια	0,6 <sup>(2)</sup>	0,2 <sup>(2)</sup>	0 <sup>(2)</sup>
Φορτία ανέμου σε κτήρια	0,6 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(2)</sup>	0 <sup>(2)</sup>
Θερμοκρασία σε κτήρια (εκτός φωτιάς) <sup>(3)</sup>	0,6 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(2)</sup>	0 <sup>(2)</sup>
(1) Για συνδυασμούς επιβεβλημένων φορτίων σε πολυώροφα κτήρια βλ. EC1:Μέρος 2-1			
(2) Ενδέχεται να απαιτούνται τροποποιήσεις για διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές			
(3) Βλ. EC1:Μέρος 2-5			

**Πίνακας 16:** Συντελεστές συνδυασμού δράσεων  $\psi_i$  κατά τον EC1.

## 7. Αρχές σχεδιασμού χαλύβδινων κτηρίων.

### 7.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού.

Ο χάλυβας ως υλικό κατασκευής έχει πολλές χρήσεις, μία από αυτές είναι η κατασκευή κτηρίων όπως το στέγαστρο στο οποίο γίνεται η μελέτη στη συγκεκριμένη εργασία. Όταν δοθεί μία τέτοια μελέτη στους μηχανικούς, τότε παίρνουν υπόψιν τους κάποιες βασικές αρχές σχεδιασμού διότι για τη κατασκευή ενός χαλύβδινου κτηρίου το πρώτο βήμα που πρέπει να γίνει είναι ο σχεδιασμός. Έπειτα ο σχεδιασμός έχει κι άλλα επιμέρους εξίσου σημαντικά βήματα.

Το πρώτο είναι ο καθορισμός των στόχων της κατασκευής πιο συγκεκριμένα, το κτήριο να γίνει όσο το δυνατόν πιο εργονομικό έτσι ώστε να μπορεί να μπορεί να εξυπηρετεί χωρίς προβλήματα το λόγο που του έχει διατεθεί. Αυτό μετά παραπέμπει σε ένα ακόμα βήμα το οποίο είναι η επιλογή της μορφής του κτηρίου, και τα δύο αυτά μαζί καταλήγουν

στον ακριβή υπολογισμό αλλά και τα σχέδια που αφορούν κατασκευαστικές λεπτομέρειες, ειδικότερα σχέδια εφαρμογής του κτηρίου.

Οι κανόνες για τις βασικές αρχές σχεδιασμού, επίσης, έχουν ως βασικό αντικείμενο την ολοκλήρωση μίας κατασκευής που να είναι σωστά φτιαγμένη και να ικανοποιεί τις προδιαγραφές ενός κτηρίου ασφαλείας, λειτουργικότητας και οικονομίας ή κι άλλα δευτερεύοντα κριτήρια. Η σχεδιομελέτη, οποιουδήποτε έργου, αρχίζει από τις επιθυμίες του ατόμου που ανήκει η κατασκευή. Εκείνος δίνει στο μελετητή τα απαραίτητα στοιχεία τα οποία συνήθως είναι ο σκοπός που θέλει να γίνει το έργο αλλά και τα όρια του προϋπολογισμού.

Τα στοιχεία αυτά που δίνονται είναι το αρχικό στάδιο, στο οποίο δεν έχει ξεκινήσει τίποτα όσο αφορά το σχεδιασμό, όμως είναι οι αρχικές πληροφορίες από τις οποίες ξεκινάνε όλα. Ο άνθρωπος που έχει αναλάβει το εκάστοτε έργο θα πρέπει να μελετήσει διεξοδικά τις πληροφορίες που του έχουν δοθεί, να τις επεξεργαστεί και σύμφωνα με τους κανονισμούς, τη πρακτική αλλά και την αγορά να τις διαμορφώσει έτσι ώστε να είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές των σχεδιασμών χαλύβδινων κτηρίων.

Αυτό το αρχικό στάδιο σχεδιασμού, στο οποίο έχουν περάσει οι πληροφορίες και οι επιθυμίες του εργοδότη πρέπει να ακολουθηθεί από τον εργολήπτη για τον περαιτέρω σχεδιασμό. Επιπροσθέτως και όπως είναι προφανές καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής θα πρέπει να ανταλλάσσονται απόψεις, από όλα τα άτομα που συνεργάζονται, κι έτσι το τελικό αποτέλεσμα να είναι το επιθυμητό.

## **7.2 Σχεδιαστικές απαιτήσεις.**

Η μελέτη και η κατασκευή ενός κτηρίου γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε η αξιοπιστία και η οικονομία να υπάρχουν μέσα στα πλαίσια που πρέπει να πληρούνται. Παρακάτω αναλύονται όλες οι γενικές προδιαγραφές.

- Να λειτουργικό, αξιόπιστο και να αντέχει τις καταπονήσεις, δηλαδή να έχει αντοχή.
- Με τη πάροδο του χρόνου να συνεχίζει να είναι κατάλληλο για χρήση.
- Να αναλαμβάνει όλες τις δράσεις και επιρροές, οι οποίες είναι ενδεχόμενο να συμβούν κατά τη διάρκεια κατασκευής και χρήσης του.
- Να είναι εύχρηστο όσο αφορά τη καθαριότητα του και εύκολα να συντηρηθεί οικονομικά.
- Να έχει υψηλή αισθητική.

Όπως προαναφέρθηκε, οι παραπάνω κατηγορίες εντάσσονται στις γενικές απαιτήσεις, όμως υπάρχουν και ειδικές απαιτήσεις οι οποίες πρέπει να ακολουθούνται και απασχολούν περισσότερο τους ίδιους τους μηχανικούς και όχι τους εργοδότες τους δώματος.

- Κατά τη διάρκεια των μελετών πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για να μπορούν να τοποθετηθούν γερανογέφυρας ή και άλλα κινητά φορτίων μονής τροχιάς καθώς επίσης και ανελκυστήρες.
- Το φυσικό φως θα πρέπει να είναι σωστό δηλαδή να τα παράθυρα και οι πόρτες να είναι επαρκή και σε σωστά σημεία, με αυτό το τρόπο μειώνονται και οι δαπάνες.
- Ο αερισμός του κτηρίου είτε είναι τεχνητός είτε είναι φυσικός να είναι ο καλύτερος δυνατός.
- Οι εσωτερικοί χώροι να έχουν τη κατάλληλη στεγάνωση
- Η τοποθέτηση των στοιχείων του χάλυβα να είναι έτσι ώστε να μπορούν να κινηθούν μέσα στο χώρο μηχανήματα για τη μεταφορά μεγάλων φορτίων.
- Να υπάρχει πρόβλεψη για τυχόν μελλοντική επέκταση του κτηρίου ή αλλαγή στη χρήση του.

### **7.3 Προϋπολογισμός εργασιών και κόστος συντήρησης.**

Ο τελικός σχεδιασμός ενός χαλύβδινου κτηρίου και η προσφορά που δίδετε από τους μηχανικούς που έχουν αναλάβει το έργο θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν το κόστος ανέγερσης αλλά καλό θα ήταν να υπάρχει και μία πρόβλεψη για το κόστος της συντήρησής του.

Για παράδειγμα μία εργασία που περιλαμβάνει συγκολλητές διατομές και περίπλοκες συνδέσεις αυξάνει το κόστος, καθώς σε αυτές τις περιπτώσεις οι τιμές των εργατικών είναι ανεβασμένες. Σε αντίθετη περίπτωση αν χρησιμοποιηθούν εν θερμώ εξηλασμένες διατομές μαζί με απλές συνδέσεις τότε το κόστος μειώνεται.

Επιπροσθέτως, όσο αφορά τη συντήρηση του κτηρίου θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα έτσι ώστε να γίνεται όσο το δυνατόν ευκολότερη η συντήρησή του. Επίσης η συντήρηση πρέπει να γίνεται σε σωστή χρονική στιγμή και με το σωστό τρόπο, αυτό συμβαίνει διότι εάν δεν γίνει έγκαιρα ο χάλυβας διαβρώνεται κι έτσι μειώνεται η αντοχή κι αυτό έχει ως συνέπεια και τη μείωση της ασφάλειας της κατασκευής.

### **7.4 Μέθοδοι ανάλυσης χαλύβδινων κατασκευών.**

Μία μεταλλική κατασκευή έχει δύο είδη σχεδίασης, μπορεί να σχεδιαστεί ως ένας στατικά ορισμένος φορέας ή ένας στατικά αόριστος. Για το πρώτο είδος, τον στατικά ορισμένο φορέα η αγγλική του ωρολόγια είναι statically determinate ενώ για το στατικά αόριστο statically redundant, θεωρήθηκε σωστό να αναφερθούν διότι πλέον είναι ευρέως γνωστές ορολογίες.

Στη δεύτερη περίπτωση οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές υπολογίζονται με δύο τρόπους ο ένας είναι η ελαστική καθολική ανάλυση και ο άλλος η πλαστική καθολική ανάλυση. Εν αντιθέσει, στη πρώτη περίπτωση υπολογίζονται με τη βοήθεια των εξισώσεων ισορροπίας. Όσον αφορά τους τρόπους υπολογισμού για το στατικά αόριστο φορέα η ελαστική καθολική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των εσωτερικών δυνάμεων και ροπών μιας κατασκευής σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ η πλαστική καθολική ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εφόσον οι διατομές και ο δομικός χάλυβας ικανοποιούν τις απαιτήσεις τις οποίες θέτει ο Ευρωκώδικας 3.

Τα φορτία διατομής υπολογίζονται πρώτα βάσει της γεωμετρίας του φορέα και στα πλαίσια της θεωρίας α' τάξης. Εάν υπάρχει η υποψία ή ο κίνδυνος αστάθειας της κατασκευής τότε οι απλές μέθοδοι δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στον υπολογισμό, σε αυτές τις περιπτώσεις οι αρμόδιοι ανατρέχουν στη θεωρία β' τάξης όπου μελετώνται διεξοδικά οι επιδράσεις των παραμορφώσεων στην κατάσταση που βρίσκεται συνήθως η κατασκευή.

Ακόμα μία διαφορά της ελαστικής από τη πλαστική ανάλυση είναι ότι η πρώτη η βασίζεται στην υπόθεση ότι η σχέση τάσεων και ανοιγμένων παραμορφώσεων του υλικού είναι γραμμική. Αυτή η υπόθεση μπορεί να διατηρείται και για τις δύο θεωρίες, α' τάξης και β' τάξης ελαστική ανάλυση, ακόμα και όταν η αντίσταση της διατομής του δομικού στοιχείου σύμφωνα με τις μετρήσεις βασίζεται σε πλαστικό υπολογισμό.

Από την άλλη, η πλαστική ελαστική ανάλυση λειτουργεί υποθέτοντας ότι ο φορέας βρίσκεται στην κατάσταση τελικής αστοχίας και υπολογίζεται το φορτίο αστοχίας με προσεγγιστικούς τρόπους. Η πλαστική καθολική ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί είτε μέσω μιας στερεοπλαστικής είτε μέσω μιας ελαστοπλαστικής μεθόδου.

### **7.5 Σχεδιασμός-Ανάλυση της κατασκευής.**

#### **7.5.1. Στοιχεία μεταλλικού στεγάστρου.**

##### **1.1. Κύριοι Φορείς.**

Οι κύριοι φορείς στην τελική ανάλυση του μεταλλικού υπόστεγου είναι τα πλαίσια που τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους και δέχονται τα οριζόντια και κατακόρυφα φορτία της κατασκευής. Όμως μέσω της θεμελίωσης τους, τα φορτία αυτά μεταβιβάζονται στο έδαφος.

Τα μέλη που αποτελούν τους κύριους φορείς είναι :

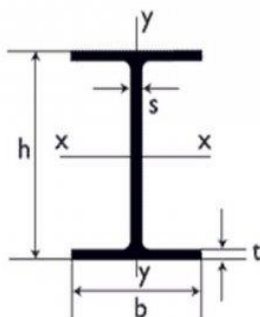
- Ολόσωμα σταθερής ή μεταβλητής διατομής.
- Δικτυωτά.

Τα κύρια μέλη των πλαισιωτών φορέων αποτελούν τα υποστυλώματα και τα ζυγώματα. Αναλυτικότερα τα υποστυλώματα είναι ολόσωμα ή πολυμελή. Ενώ τα ζυγώματα είναι ολόσωμα, δικτυωτά και συνήθως είναι δίριχτα με κλίση περίπου  $10^\circ$  έτσι ώστε να δέχονται τα κατακόρυφα φορτία με αξονική δράση.

Οι διατομές των δοκών που χρησιμοποιούνται προσαρμόζονται κατά μήκος των μελών. Ειδικότερα για το λόγο ότι τα κύρια μέλη καταπονούνται σε μεγάλο ποσοστό σε κάμψη, όταν αυτά είναι ολόσωμα η διατομή που επιλέγεται είναι αυτού του διπλού ταυ. Αυτό εφαρμόζεται διότι όσο πιο απομακρυσμένο είναι το υλικό μιας διατομής από το κέντρο βάρους, ( από τον ουδέτερο άξονα) της, τόσο καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζει στη καμπτική δράση. Επιπλέον λόγω της συγκέντρωσης του υλικού στις θέσεις αυξανόμενων τάσεων αυξάνεται η ροπή αδράνειας και η ροπή αντίστασης που είναι μέτρο καμπτικής δυσκαμψίας μια μέτρο καμπτικής αντοχής αντίστοιχα.

Υπάρχουν τυποποιημένες διατομές για το κάθε ζύγωμα και υποστύλωμα. Πιο συγκεκριμένα, τα υποστυλώματα κατασκευάζονται από πλατύπελμες διατομές όπως HEA ή HEB ( Πίνακας 2 και Πίνακας 3) ενώ τα ζυγώματα από υψίκορμες διατομές IPE (Πίνακας 1).

1) **Υψίκορμα** **δοκάρια** **ήτα** **IPE**

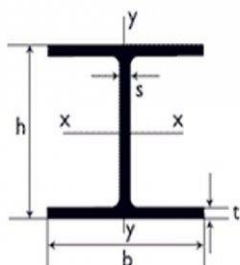


IPE	ΒΑΡΟΣ (kg/m)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)				ΔΙΑΤΟΜΗ (cm <sup>2</sup> )	ΕΛ. ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ (cm <sup>3</sup> )		ΠΛ.ΡΟΠΗ (cm <sup>3</sup> )	
		h	b	s	t		F	W <sub>x</sub>		W <sub>y</sub>
80	6,00	80	46	3,8	5,2	7,64	20,0	3,69	23.2	
100	8,10	100	55	4,1	5,7	10,30	34,2	5,79	39.4	
120	10,40	120	64	4,4	6,3	13,20	53,0	8,65	60.7	
140	12,90	140	73	4,7	6,9	16,40	77,3	12,30	88.3	
160	15,80	160	82	5,0	7,4	20,10	109,0	16,70	124.0	
180	18,80	180	91	5,3	8,0	23,90	146,0	22,20	166.0	

200	22,40	200	100	5,6	8,5	28,50	194,0	28,50	221.0
220	26,20	220	110	5,9	9,2	33,40	252,0	37,30	285.0
240	30,70	240	120	6,2	9,8	39,10	324,0	47,30	367.0
270	36,10	270	135	6,6	10,2	45,90	429,0	62,20	484.0
300	42,20	300	150	7,1	10,7	53,80	557,0	80,50	628.0
330	49,10	330	160	7,5	11,5	62,60	713,0	98,50	804.0
360	57,10	360	170	8,0	12,7	72,70	904,0	123,00	1019.0
400	66,33	400	180	8,6	13,5	84,50	1160,0	146,00	1307.0
450	77,60	450	190	9,4	14,6	98,90	1500,0	176,00	1702.0
500	90,70	500	200	10,2	16,2	116,00	1930,0	214,00	2194.0

**Πίνακας 17:** Τυποποιημένες διαστάσεις δοκών IPE

2) Πλατύπελμοι δοκοί, πλατύπελμα δοκάρια HEA

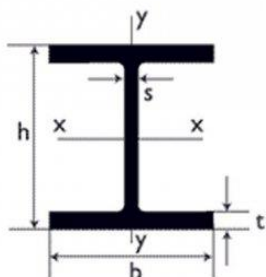


HEA	ΒΑΡΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ				ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛ. ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ		ΠΛ.ΡΟΠΗ
	G	(mm)				F	(cm <sup>3</sup> )		(cm <sup>3</sup> )
	(kg/m)	h	b	s	t	(cm <sup>2</sup> )	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	W <sub>plx</sub>
100	16,7	96	100	5,0	8,0	21,2	72,8	26,8	83.0
120	19,9	114	120	5,0	8,0	25,3	106,0	38,5	119.0
140	24,7	133	140	5,5	8,5	31,4	155,0	55,6	173.0
160	30,4	152	160	6,0	9,0	38,8	220,0	76,9	245.0
180	35,5	171	180	6,0	9,5	45,3	294,0	103,9	325.0
200	42,3	190	200	6,5	10,0	53,8	389,0	134,0	429.0
220	50,5	210	220	7,0	11,0	64,3	515,0	178,0	568.0
240	60,3	230	240	7,5	12,0	76,8	675,0	231,0	745.0
260	68,2	250	260	7,5	12,5	86,8	836,0	282,0	920.0
280	76,4	270	280	8,0	13,0	97,3	1010,0	340,0	1,112.0
300	88,3	290	300	8,5	14,0	112,0	1260,0	421,0	1,383.0
320	97,6	310	300	9,0	15,5	124,0	1480,0	466,0	1,628.0
340	105,0	330	300	9,5	16,5	133,0	1680,0	496,0	1,850.0
360	112,0	350	300	10,0	17,5	143,0	1890,0	526,0	2,088.0
400	125,0	390	300	11,0	19,0	159,0	2310,0	571,0	2,562.0
450	140,0	440	300	11,5	21,0	178,0	2900,0	631,0	3,216.0

500	155,0	490	300	12,0	23,0	198,0	3550,0	691,0	3,949.0
-----	-------	-----	-----	------	------	-------	--------	-------	---------

**Πίνακας 18:** Τυποποιημένες διαστάσεις δοκών ΗΕΑ

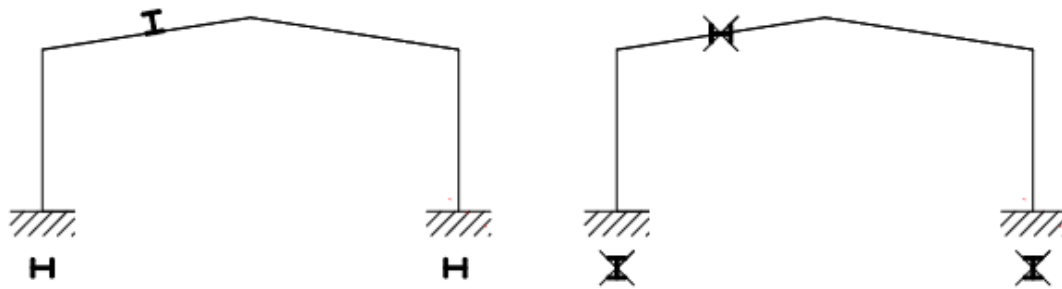
3) Πλατύπελμοι δοκοί, πλατύπελμα δοκάρια ΗΕΒ



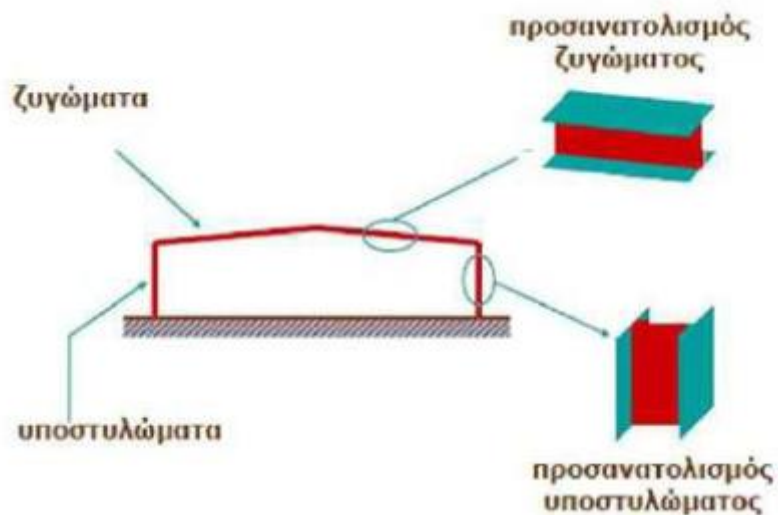
HEB	ΒΑΡΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ				ΔΙΑΤΟΜΗ	ΕΛ. ΡΟΠΗ		ΠΛ.ΡΟΠΗ
	G	(mm)				F	(cm <sup>3</sup> )		(cm <sup>3</sup> )
	(kg/m)	h	b	s	t	(cm <sup>2</sup> )	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	W <sub>pl,x</sub>
100	20,4	100	100	6,0	10,0	26,0	89,9	33,5	104.2
120	26,7	120	120	6,5	11,0	34,0	144,0	52,9	165.2
140	33,7	140	140	7,0	12,0	43,0	216,0	78,5	245.4
160	42,6	160	160	8,0	13,0	54,3	311,0	111,0	354.0
180	51,2	180	180	8,5	14,0	65,3	426,0	151,0	481.4
200	61,3	200	200	9,0	15,0	78,1	570,0	200,0	642.5
220	71,5	220	220	9,5	16,0	91,0	736,0	258,0	827.0
240	83,2	240	240	10,0	17,0	106,0	938,0	327,0	1,053.0
260	93,0	260	260	10,0	17,5	118,0	1150,0	395,0	1,283.0
280	103,0	280	280	10,5	18,0	131,0	1380,0	471,0	1,534.0
300	117,0	300	300	11,0	19,0	149,0	1680,0	616,0	1,869.0
320	127,0	320	300	11,5	20,5	161,0	1930,0	616,0	2,149.0
340	134,0	340	300	12,0	21,5	171,0	2160,0	646,0	2,408.0
360	142,0	360	300	12,5	22,5	181,0	2400,0	676,0	2,683.0
400	155,0	400	300	13,5	24,0	198,0	2880,0	721,0	3,232.0
450	171,0	450	300	14,0	26,0	218,0	3550,0	781,0	3,982.0
500	187,0	500	300	14,5	28,0	239,0	4290,0	842,0	4,815.0

**Πίνακας 19:** Τυποποιημένες διαστάσεις δοκών ΗΕΒ

Ο προσανατολισμός των μελών των κύριων φορέων ( Σχήμα 1.1 και Σχήμα 1.2) επιλέγεται με τρόπο έτσι ώστε κατά την δράση μεγάλων και ισχυρών φορτίων οι άξονες να αντιστέκονται.

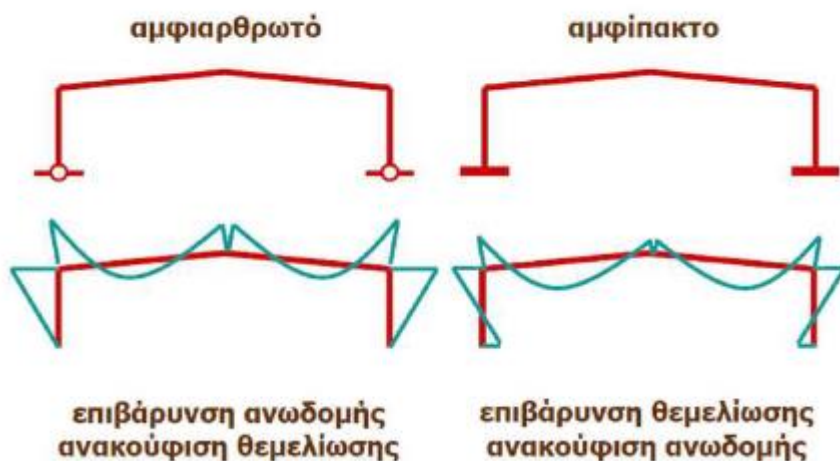


**Σχήμα 7.1 :** Σωστός και λάθος προσανατολισμός διατομών διπλού ταυ.



**Σχήμα 7.2 :** Προσανατολισμός κύριων μελών.

Τα υποστυλώματα των πλαισίων μπορούν να μορφωθούν ως αμφίπακτα ή αμφίθρωτα.



**Σχήμα 7.3 :** Παράδειγμα αμφίπακτων και αμφίθρωτων φορέων αντίστοιχα.

▪ **Κατάταξη πλαισίων.**

Καθοριστικό ρόλο στην συμπεριφορά των πλαισίων έχει η διαμόρφωση των ζυγματικών και των υποστυλωμάτων. Τα πλαίσια σύμφωνα με την αντοχή των συνδέσεων τους χωρίζονται σε δύο είδη:

A. Μεταθετά πλαίσια : Είναι τα πλαίσια που οι κόμβοι τους έχουν την δυνατότητα παραλαβής ισχυρών ροπών και παραμένουν πλευρικά ευσταθή.

Β. Αμετάθετα πλαίσια : Είναι τα πλαίσια που οι κόμβοι τους είναι οιονεί αρθρώσεις και δεν παραλαμβάνουν ισχυρές ροπές. Για αυτό τον λόγο τοποθετούνται έξτρα κατακόρυφοι σύνδεσμοι ή τοιχώματα.

### 1.2. Κεφαλοδοκοί.

Η κεφαλοδοκός είναι η οριζόντια δοκός που συνδέει τις κεφαλές των υποστυλωμάτων κατά μήκος του κτηρίου και κάθετα προς τα επίπεδα των κύριων φορέων. Μέσω των δοκών αυτών οι σεισμικές και άλλες δυνάμεις που ασκούνται στο επίπεδο της επικάλυψης παραλαμβάνονται από τους συνδέσμους, μεταφέρονται ισόποσα στα κατακόρυφα συστήματα δυσκαμψίας και έπειτα καταλήγουν στις θέσεις στήριξης που εκεί οι θέσεις απορρόφησης των δυνάμεων είναι περισσότερες. Επιπλέον οι κεφαλοδοκοί αποτελούν σημαντικό στοιχείο συναρμολόγησης της κατασκευής αφού συνδέουν εγκάρσια τους επίπεδους φορείς.

### 1.3. Τεγίδες.

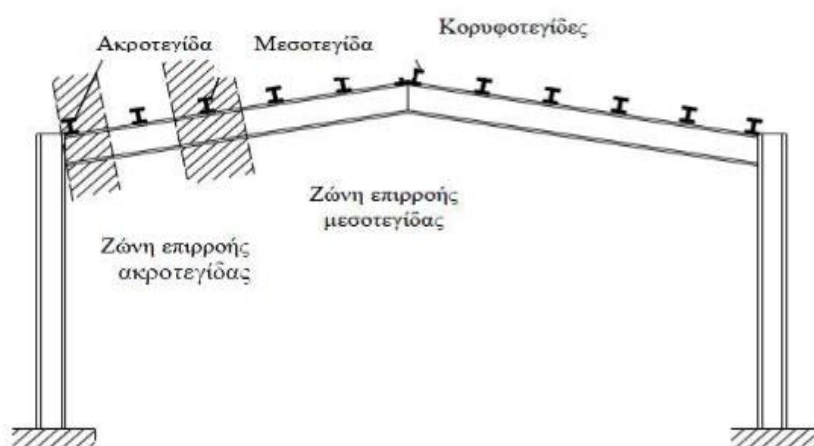
Οι τεγίδες είναι δευτερεύουσες δοκοί που συνδέουν τους κύριους φορείς μεταξύ τους και μεταφέρουν σε αυτούς τα φορτία που ασκούνται στην επιστέγαση. Πιο συγκεκριμένα, τα φορτία αυτά είναι το βάρος των φύλλων επικάλυψης, το φορτίο χιονιού, η ανεμοπίεση και το ωφέλιμο φορτίο. Στις σιδηρές στέγες οι τεγίδες είναι συνήθως χάλυβας. Οι δοκοί αυτοί τοποθετούνται ανά ίσα τμήματα μεταξύ τους και η σύνηθες απόσταση κυμαίνεται από 1,30m έως 4,00m. Επιπλέον σε συγκεκριμένες περιπτώσεις από τις τεγίδες πηγάζουν πληροφορίες που αφορούν τον μηχανολογικό εξοπλισμό ή το σκελετό ψευδοροφής.

Ο ρόλος των τεγίδων στο κτίριο είναι να μεταφέρουν τις δράσεις –φορτία από τα φύλλα επικάλυψης στους κύριους φορείς ενώ παράλληλα συμμετέχουν στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας και βοηθούν στην πλευρική στήριξη στα ζυγώματα. Η τοποθέτηση των τεγίδων είναι συγκεκριμένη κάθε φορά, αφού το κάτω μέρος εδράζεται πάντα στο πάνω μέρος των δοκών του ζυγώματος. Με αυτόν τον τρόπο ενεργοποιείται ο άξονας τους έναντι στα κατακόρυφα φορτία του χιονιού, του ίδιου του βάρους της αλλά και του ανέμου.

#### ▪ Διάταξη τεγίδων.

Οι τεγίδες ανάλογα με τη θέση τους στο πάνω μέρος του ζυγώματος χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

- I. Ακροτεγίδες.
- II. Μεσοτεγίδες
- III. Κορυφοτεγίδες.



**Σχήμα 7.4** : Τυπική διάταξη των ακροτεγίδων, μεσοτεγίδων και κορυφοτεγίδων.



Οι δοκοί αυτοί καταπονούνται συνήθως σε κάμψη και σχεδιάζονται με ελατές διατομές ή διαμορφωμένες εν ψυχρώ διατομές. Συνηθέστερες επιλογές είναι διατομές Ι και συγκεκριμένα από την σειρά ΙΡΕ. Δευτερευόντως επιλογές είναι οι διατομές U. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν μεγάλες κλίσεις και η κάμψη που δημιουργείται και στους δύο άξονες είναι αυξημένη επιλέγονται διατομές πλατύπελμες διπλού ταυ.

Όταν οι τεγίδες επιλέγονται να χρησιμοποιούν ως θλιβόμενα στοιχεία οριζόντιων αντιανεμίων συνδέσμων οι διατομές τους καθορίζονται από την σειρά ΗΕΒ.

Τα στατικά συστήματα ως προς τις δοκούς που εφαρμόζονται στην πράξη είναι τριών ειδών:

- 1) **Αμφίεριστα στοιχεία-δοκοί:** Οι δοκοί αυτοί στηρίζονται στους κύριους φορείς και παρουσιάζουν απλότητα στις συνδέσεις τους. Καταπονούνται από μεγάλες καμπτικές ροπές και παρουσιάζουν παραμορφώσεις για συγκεκριμένα φορτία. Για αυτόν τον λόγο επιλέγονται και απαιτούνται μεγάλες διατομές.
- 2) **Συνεχείς δοκοί δύο ανοιγμάτων :** Οι δοκοί αυτοί έχουν τις ίδιες καμπτικές ροπές στην ενδιάμεση στήριξη με τα αμφίεριστα στοιχεία αλλά διαφέρουν στις παραμορφώσεις. Οι συνεχείς δοκοί έχουν μικρότερες παραμορφώσεις.
- 3) **Δοκοί Gerber:** Οι δοκοί αυτοί χρησιμοποιούνται όταν υπάρχουν ελατές διατομές.

#### 1.4. Τεγίδες τύπου Z.

Οι τεγίδες τύπου Z είναι κατασκευασμένες από έλασμα γαλβανισμένο υψηλής αντοχής. Αυτό γίνεται, για πιο ελαφρύ, οικονομικό αλλά και αποτελεσματικό σύστημα επικάλυψης και πλαγιοκάλυψης κτιρίων με μεταλλικό σκελετό. Οι δοκοί αυτοί δίνουν την δυνατότητα αλληλοεπικάλυψης της μία δοκού με την άλλη. Αυτό το σύστημα ονομάζεται συνεχές και δίνει την δυνατότητα με τον διπλασιασμό του πάχους των δοκών να υπάρχει αυξημένη αντοχή στα σημεία όπου τεγίδες έχουν υψηλές ροπές. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 4) αναφέρονται τα στοιχεία των συγκεκριμένων τεγίδων, τα οποία χρησιμοποιούνται τυποποιημένα.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΓΙΔΩΝ ΤΥΠΟΥ Z ( Διαστάσεις σε 1,50 – 3,00mm )						
ΠΡΟΦΙΛ	t	H	A	B	C	ΒΑΡΟΣ kg/m
Z 140-2.0	2.0	140	65	60	20	± 4.47
Z 140-2.5	2.5	140	65	60	20	± 5.59
Z 180-2.0	2.0	180	65	60	20	± 5.10
Z 180-2.5	2.5	180	65	60	20	± 6.38
Z 180-3.0	3.0	180	65	60	20	± 7.65
Z 210-2.0	2.0	210	65	60	20	± 5.57
Z 210-2.5	2.5	210	65	60	20	± 6.97
Z 210-3.0	3.0	210	65	60	20	± 8.36

**Πίνακας 20:** Στοιχεία τεγίδων τύπου Z

#### 1.5. Τεγίδες τύπου C.

Οι τεγίδες τύπου C είναι κατασκευασμένα από έλασμα γαλβανισμένο υψηλής αντοχής. Είναι κι αυτές όπως και οι παραπάνω, δηλαδή οι τύπου Z κατασκευασμένες από έλασμα γαλβανισμένο υψηλής αντοχής και σε αυτή τη περίπτωση ο συγκεκριμένος τρόπος κατασκευής γίνεται για πιο ελαφρύ, οικονομικό αλλά και αποτελεσματικό σύστημα επικάλυψης και πλαγιοκάλυψης των κτιρίων που φτιάχνονται με μεταλλικό σκελετό. Η διαφορά στα δύο αυτά ήδη τεγίδας είναι ότι οι συγκεκριμένες που είναι τύπου C χρησιμοποιούνται και ως μηκίδες πλαίσια παραθύρων και παράθυρα Όταν συνδυαστούν με τις τεγίδες τύπου Z δίνουν την επιθυμητή στήριξη σε μεγάλη σειρά

μεταλλικών στοιχείων. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 5) αναφέρονται τα στοιχεία των συγκεκριμένων τεγίδων, τα οποία χρησιμοποιούνται τυποποιημένα.

<b>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΓΙΔΩΝ ΤΥΠΟΥ C ( Διαστάσεις σε 2,00 – 3,00 mm )</b>					
<b>ΠΡΟΦΙΛ</b>	<b>T</b>	<b>H</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>ΒΑΡΟΣ kg/m</b>
<b>C 120-2.0</b>	2.0	120	50	15	± 3.61
<b>C 120-2.5</b>	2.5	120	50	15	± 4.51
<b>C 140-2.0</b>	2.0	140	50	15	± 3.93
<b>C 140-2.5</b>	2.5	140	50	15	± 4.91
<b>C 180-2.0</b>	2.0	180	60	15	± 5.02
<b>C 180-2.5</b>	2.5	180	60	15	± 6.28
<b>C 210-2.0</b>	2.0	210	60	15	± 5.50
<b>C 210-2.5</b>	2.5	210	60	15	± 6.87

**Πίνακας 21:** Στοιχεία τεγίδων τύπου C

### 1.6. Μετωπικοί Στύλοι.

Τα μεταλλικά υποστυλώματα τοποθετούνται ανά συγκεκριμένες αποστάσεις για να καλυφθεί το μέτωπο του κτιρίου. Τα στυλώματα αυτά στο κάτω μέρος στηρίζονται στα θεμέλια και στο πάνω στα ζυγωματικά και στις κεφαλοδοκούς. Οι θέσεις και οι αποστάσεις που τοποθετούνται οι στύλοι εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες.

- Αρχικά για το λόγο ότι προσφέρουν στήριξη στις μηκίδες οι αποστάσεις μεταξύ αυτών καθορίζονται από τις διατομές που μπορούν οι μηκίδες να γεφυρώσουν.
- Καθορίζονται από την διάταξη των τεγίδων και των οριζόντιων συστημάτων δυσκαμψίας.
- Τοποθετούνται συνήθως σε θέσεις όπου υπάρχουν σύνδεσμοι οριζόντιου επιπέδου. Τέλος η θέση και τα ανοίγματα στην όψη καθορίζονται και από τις λειτουργικές ανάγκες του κτιρίου. Η συγκεκριμένοι στύλοι έχουν σαν κύρια φόρτιση την πίεση του ανέμου.

### 1.7. Μηκίδες.

Οι μηκίδες είναι δοκοί που συνδέουν τα υποστυλώματα μεταξύ τους και δέχονται τα φύλλα πλευρικής επένδυσης της κατασκευής. Οι δοκοί αυτοί τοποθετούνται ανά ίσα τμήματα μεταξύ τους και η συνήθης απόσταση κυμαίνεται από 1,50m έως 2,50m. Ο σχεδιασμός των μηκίδων έχει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά με τη σχεδίαση των τεγίδων. Πιο συγκεκριμένα, έχουν ίδιες κατηγορίες στα μεγέθη των διατομών και τους ίδιους τύπους στα στηρίγματα. Κύρια φόρτιση τους είναι η ανεμοπίεση και κατασκευάζονται ως αμφιέριστα στοιχεία ή αρθρωτές δοκοί.

#### ▪ Χαρακτηριστικά μηκίδων:

- Αποτελούν συνδετικά μέσα των δύο ακραίων κύριων φορέων και των παράλληλων ζευκτών.
- Αποτελούν την βάση για την στήριξη του συστήματος επικάλυψης.
- Λόγω ότι συνδέουν τα υποστυλώματα μεταξύ τους παραλαμβάνουν παράλληλα και όλα τα φορτία των πλευρικών επικαλύψεων και έπειτα τα μεταβιβάζουν στους κύριους φορείς.
- Λόγω του μεγάλου αριθμού τους μαζί με τις τεγίδες αποτελούν σημαντικά στοιχεία οικονομίας του έργου. Πιο συγκεκριμένα, είναι το 30%-40% της μελέτης. Για αυτό, σημαντικό ρόλο έχει η ορθή επιλογή των διατομών, ποσοτήτων και η μεταξύ τους απόσταση για την καλύτερη μορφοποίηση του στατικού συστήματος της κατασκευής.

#### ▪ Φόρτιση μηκίδων.

Όπως προαναφέρθηκε η κύρια φόρτιση των μηκίδων είναι η ανεμοπίεση. Οι λοιπές φορτίσεις όπως το ίδιο το βάρος ή το βάρος της επένδυσης αναιρούνται λόγω των

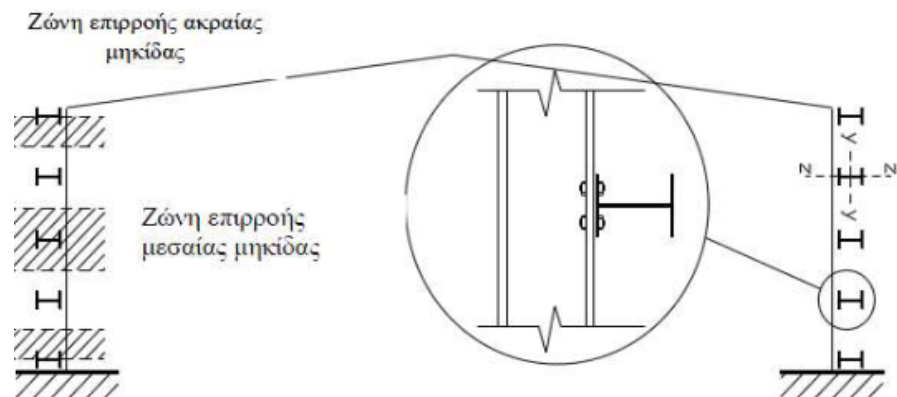
ντιζών (ελκυστήρων) οι οποίοι ανάλογα με την θέση τους (είτε πάνω είτε σε ενδιάμεσες θέσεις) μεταφέρουν τα φορτία στα υποστυλώματα μέσω των λοξών ράβδων.

#### ▪ Διάταξη των μηκίδων.

Οι μηκίδες ανάλογα με την θέση τους πάνω στους στύλους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Ακραίες μηκίδες : Είναι οι μηκίδες που τοποθετούνται στο ύψος της ένωσης των στύλων και χαμηλά συνδέοντά τον πόδα του στύλου.
- ii. Ενδιάμεσες μηκίδες : Είναι οι δοκοί που τοποθετούνται σε όλα τα ενδιάμεσα ύψη.

Ο προσανατολισμός των μηκίδων(Σχήμα 1.5) επιλέγεται με τρόπο έτσι ώστε κατά την δράση μεγάλων κατακόρυφων και οριζόντιων ισχυρών φορτίων( κυρίως του ανέμου ) οι δύο άξονες να αντιστέκονται.



**Σχήμα 7.5** : Τυπική διάταξη των μηκίδων.

Οι μηκίδες τοποθετούνται συνήθως στις στάθμες των ποδιών και πρεκιών των παραθύρων. Οι διατομές που επιλέγονται για τις δοκούς είναι ελατή διατομή U και η διεύθυνση του κορμού προς την πλευρά του κουφώματος. Μέσω ελκυστήρων οι μηκίδες ρυθμίζονται ώστε να είναι οριζόντιες. Με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται φάτνωμα σταθερού πλάτους.

#### 1.8. Σύνδεσμοι Δυσκαμψίας.

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας εξυπηρετούν στην παραλαβή και μεταφορά στη θεμελίωση των οριζόντιων δυνάμεων που ασκούνται κάθετα στις επιφάνειες της κατασκευής. Επιπροσθέτως, βοηθούν στην πλευρική ευστάθεια των μελών των κύριων φορέων και απαρτίζουν κεντρικά στοιχεία της διαδικασίας ανέγερσης.

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

1. Οριζόντιοι σύνδεσμοι : Βρίσκονται στο επίπεδο των ζυγωματικών των πλαισίων.
2. Κατακόρυφοι σύνδεσμοι : Βρίσκονται μεταξύ των υποστυλωμάτων.

##### 1) Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.

Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι δικτυωτοί φορείς που διατάσσονται στο επίπεδο των ζυγωματικών και συνδέουν το διάστημα μεταξύ των διαδοχικών κύριων φορέων. Επίσης, το σύστημα στέγης διαμορφώνεται από το άνω μέρος των δύο γειτονικών ζευκτών, από τις τεγίδες και τις διαγώνιες ράβδους. Αν και είναι οριζόντιοι σύνδεσμοι , παρακολουθούν την κλίση των ζυγωματικών και διαμορφώνουν φαντώματα δυσκαμψίας μεταξύ των κύριων φορέων και δεν είναι επίπεδοι.Επειδή, η κλίση θεωρείται μικρή στους υπολογισμούς και στις μελέτες οι σύνδεσμοι θεωρούνται επίπεδοι, παράλληλοι δηλαδή προς το δάπεδο της κατασκευής.

- Σκοπός των οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας της στέγης :

- A. Η μεταφορά των ανεμοπιέσεων δηλαδή των οριζόντιων δυνάμεων που ασκούνται στο επίπεδο της στέγασης , κάθετα στα επίπεδα των κύριων φορέων και στα συστήματα δυσκαμψίας ,μεταξύ δηλαδή των υποστυλωμάτων.
- B. Η μεταφορά στα κατακόρυφα συστήματα δυσκαμψίας που ασκούνται στα ζυγωματικά .
- C. Η εξασφάλιση στρεπτικούλυγισμού μεταξύ των στοιχείων δυσκαμψίας και τεγίδων (εκείνες που προσφέρουν πλευρική στήριξη στα ζυγώματα ).
- D. Συμβολή ευστάθεια ανέγερση της κατασκευής κατά τη διάρκεια ανέγερσής της.

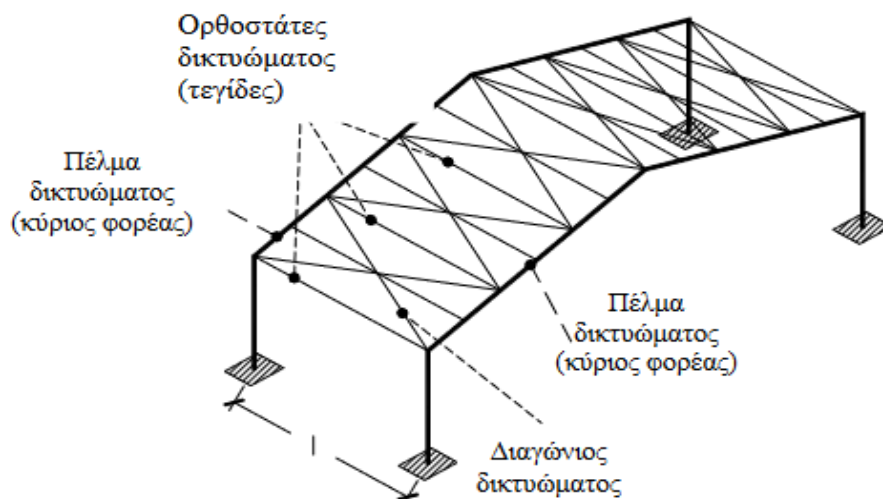
▪ **Φορτία καταπόνησης των οριζόντιων συνδέσμων.**

- i. Μόνιμα φορτία: Στους συνδέσμους δυσκαμψίας δεν υπάρχουν μόνιμα φορτία αφού τα μέλη των δικτυωμάτων θεωρούνται αβαρή και μπορούν να δέχονται μόνο αξονικά φορτία.
- ii. Κινητά φορτία: Καταπονούν τους συνδέσμους. Κύριο κινητό φορτίο είναι ο άνεμος που ασκεί κάθετα δυνάμεις στο επίπεδο των πλαισίων.
- iii. Τυχηματικά φορτία: Τα φορτία αυτά είναι «φορτία» σεισμού που ασκούν κάθετα δυνάμεις στο επίπεδο των πλαισίων.

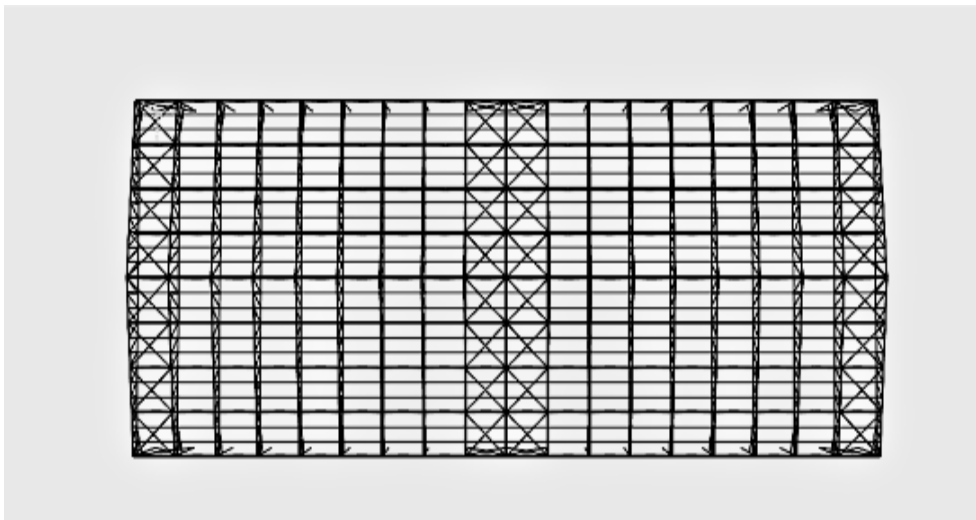
▪ **Γενική διάταξη οριζόντιων συνδέσμων.**

Τα μέλη ενός φαντώματος, μέσα στο οποίο δημιουργείται ο οριζόντιος σύνδεσμος δυσκαμψίας είναι :

- a) Πέλματα : Τα ζυγώματα των κύριων φορέων.
- b) Ορθοστάτες : Διαδοκίδες στέγης (τεγίδες)
- c) Διαγώνιοι : Ισοσκελή ή ανισοσκελή γωνιακής διατομής τύπου (L).



**Σχήμα 7.6** : Τυπική διάταξη μελών δικτυώματος οριζόντιου συνδέσμου δυσκαμψίας.



**Σχήμα 7.7 :** Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας στη στέγη.

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας όπως έχει αναφερθεί είναι δικτυωτοί φορείς και έχει ως αποτέλεσμα όλα τα μέλη τους θεωρούνται ότι καταπονούνται μόνο αξονικά. Συνάμα και οι τεγίδες αλλά και οι κύριοι φορείς που συμμετέχουν στους συνδέσμους αυτούς καταπονούνται μόνο αξονικά.

Όσον αφορά τους διαγώνιους των δικτυωμάτων λόγω ότι δεν έρχονται σε επαφή με την επικάλυψη δεν παραλαμβάνουν φορτία και εφελκούνται ή θλίβονται ανάλογα. Η επικάλυψη της στέγης βρίσκεται πάνω στις τεγίδες οι οποίες είναι πάνω στους κύριους φορείς. Η μελέτη των δικτυωμάτων γίνεται με τρόπο ώστε να μην υπολογίζονται οι θλιβόμενες διαγώνιοι. Αυτό γίνεται, γιατί στην περίπτωση που ληφθούν υπόψη, ο έλεγχος έναντι λυγισμού θα καθιστούσε αναγκαίο την χρήση μεγάλων διατομών.

#### ▪ Κατανομή έντασης στους οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας.

Οι ανεμοπιέσεις κατανέμονται στα αντιανεμικά συστήματα. Αυτό γίνεται διότι οι τεγίδες και ο δίσκος επικάλυψης πετυχαίνουν την ενιαία παραμόρφωση των φατνωμάτων που έχουν συνδέσμους. Όμως, διότι δεν υπάρχουν αυστηροί κανόνες σύνδεσης και ανοχής των τεγίδων και των δίσκων επικαλύψεων ακολουθείτε μία συντηρητική συνήθως παραδοχή. Αναλυτικότερα :

- Μέσω των μετωπικών στύλων, ο πρώτος μετωπικός σύνδεσμος παραλαμβάνει το σύνολο της ανεμοπίεσης που φτάνει στον σύνδεσμο που βρίσκεται στην προσήνεμη πλευρά της κατασκευής.
- Ο τελευταίος μετωπικός σύνδεσμος παραλαμβάνει το σύνολο της υποπίεσης που αντιστοιχεί στην υπήνεμη πλευρά της κατασκευής.

#### ▪ Διαστασιολόγηση οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας.

Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι ανεξαρτήτως της θέσης του κατασκευάζονται με τις ίδιες διαστάσεις για θέμα ευκολίας και ομοιομορφίας του τρόπου κατασκευής. Παλιά δεν ήταν απαραίτητος ο στατικός έλεγχος και υπολογισμός όταν υπήρχε μετωπικός σταθερός τοίχος που παραλάμβανε όλα τα φορτία του ανέμου. Πλέον όμως γίνεται στατικός υπολογισμός και έλεγχος κατά διαστασιολόγησή τους. Αυτό γίνεται για να ληφθούν υπόψη οι δυνάμεις που πετυχαίνουν την πλευρική ευστάθεια των ζυγωμάτων.

#### 7.5.2. Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας.

Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας είναι δικτυωτοί σχηματισμοί ποικίλων μορφών που διατάσσονται στο επίπεδο των ζυγωματικών κα δίνουν στη θεμελίωση τα οριζόντια φορτία που ασκούνται κατά την εγκάρσια διεύθυνση και παραλαμβάνονται από τις κεφαλοδοκούς και του οριζόντιους συνδέσμους. Τα δικτυώματα αυτά τοποθετούνται με

το κάτω μέρος να αποτελείται από τα εκατέρωθεν υποστυλώματα και το πάνω μέρος από την κεφαλοδοκό, ορθοστάτες, μηκίδες και συμπληρωματικά από τα διαγώνια στοιχεία.

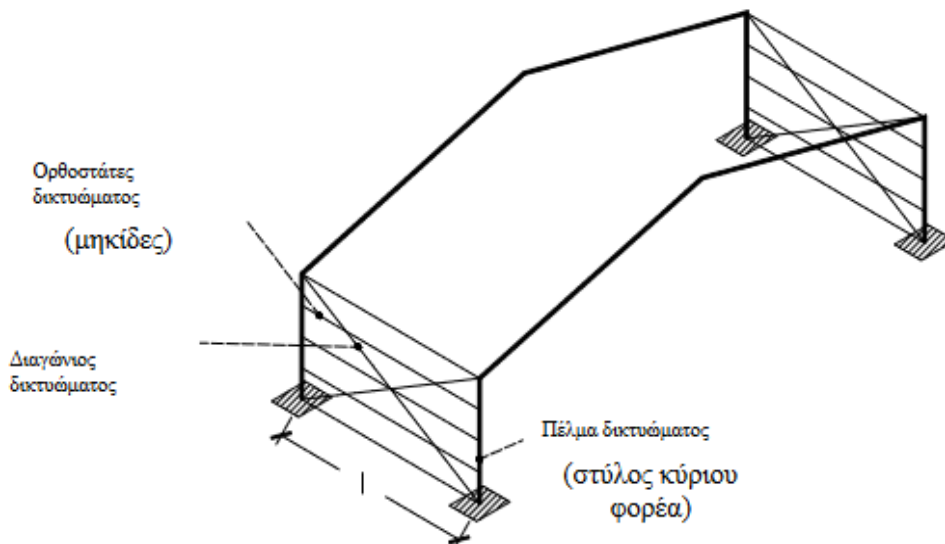
➤ **Κύριες λειτουργίες των συστημάτων εγκάρσιας δυσκαμψίας των υπόστεγων:**

- i. Παραλαβή οριζόντιων φορτίων από τα οριζόντια συστήματα δυσκαμψίας που ασκούνται κατά μήκος του υπόστεγου και μεταφέρονται στην θεμελίωση.
- ii. Παροχή δύσκαμπτου συστήματος που οι απολήξεις φτάνουν τις μηκίδες που δίνουν την πλευρική στήριξη στα υποστυλώματα.
- iii. Κατά την ανέγερση της κατασκευής δίνουν την δυνατότητα παροχής προσωρινής ευστάθειας.

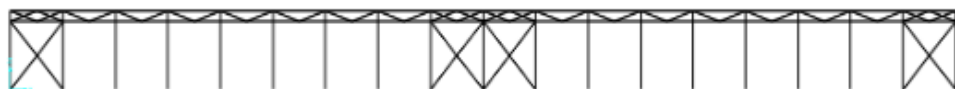
➤ **Γενική διάταξη κατακόρυφων συνδέσμων.**

Τα μέλη ενός φαντώματος, μέσα στο οποίο δημιουργείται ο πλευρικός σύνδεσμος δυσκαμψίας είναι :

- a) Πέλματα : Οι στύλοι των κύριων φορέων.
- b) Ορθοστάτες : Διαδοκίδες πλευρικών επικαλύψεων (μηκίδες).
- c) Διαγώνιοι : Διατομές κατασκευής διαγωνίων . Διπλά γωνιακά ή διπλά U.



**Σχήμα 7.8 :** Τυπική διάταξη μελών πλευρικών συνδέσμων δυσκαμψίας.



**Σχήμα 7.9 :** Κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας και κεφαλοδοκούς.

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας όπως έχει αναφερθεί είναι δικτυωτοί φορείς και για αυτό το λόγο όλα τα μέλη τους θεωρούνται ότι καταπονούνται μόνο αξονικά. Συνάμα και οι μηκίδες αλλά και οι στύλοι που συμμετέχουν στους συνδέσμους αυτούς καταπονούνται μόνο αξονικά.

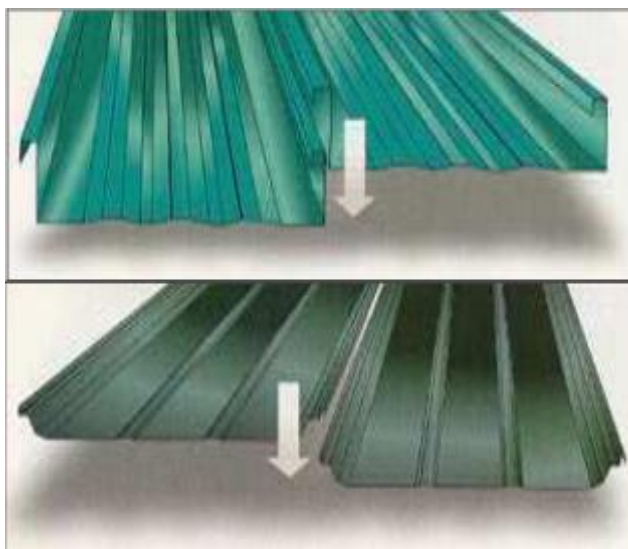
Όσον αφορά τους διαγώνιους των δικτυωμάτων λόγω ότι δεν έρχονται σε επαφή με την επικάλυψη δεν παραλαμβάνουν φορτία και εφελκύνονται ή θλίβονται ανάλογα. Η πλευρική επικάλυψη της στέγης βρίσκεται πάνω στις μηκίδες οι οποίες στηρίζονται στα έξω πέλματα των στηλών των κύριων φορέων. Η μελέτη των δικτυωμάτων γίνεται με

τρόπο ώστε να μην υπολογίζονται οι θλιβόμενες διαγώνιοι. Αυτό γίνεται, γιατί στην περίπτωση που ληφθούν υπόψη ο έλεγχος έναντι λυγισμού θα καθιστούσε αναγκαίο την χρήση μεγάλων διατομών. Τέλος, είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι το πλήθος των πλευρικών συνδέσμων δυσκαμψίας είναι όσο και των συνδέσμων δυσκαμψίας στέγης. Οι πλευρικοί σύνδεσμοι αποτελούν στηρίξεις των συνδέσμων δυσκαμψίας της στέγης και για αυτόν τον λόγο πρέπει να βρίσκονται στα ίδια φαντώματα.

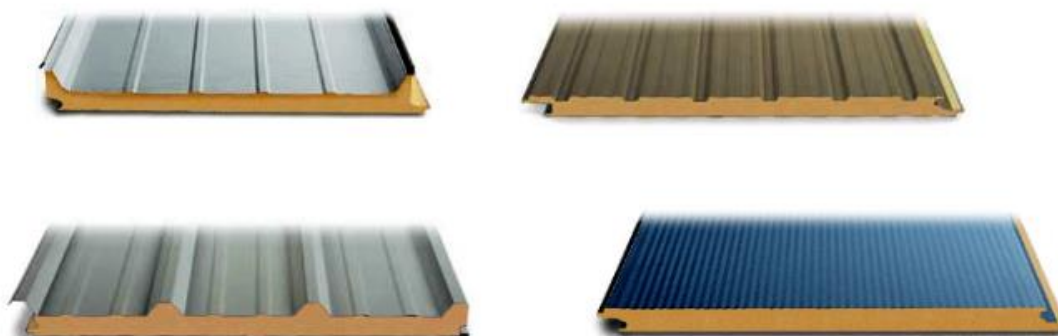
### 1.9. Μόρφωση επικάλυψης.

Με τον όρο επικάλυψη στέγης επικαλείται το εξωτερικό τμήμα της στέγης που είναι σε άμεση σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον και άρα παραλαμβάνει όλες τις επιδράσεις αυτού. Τα φύλλα επικάλυψης που επενδύουν την στέγη-κατασκευή πλευρικά διακρίνονται σε δύο μορφές :

- a) Απλή μορφή φύλλων επικάλυψης : Τα φύλλα αυτά αποτελούνται από ένα μόνο πτυχωτό χαλυβδόφυλλο. Το προφίλ αυτού είναι κυματοειδές ή τραπεζοειδές και συνήθως είναι γαλβανισμένο για καλύτερη προστασία έναντι στην σκωρίαση ( Σχήμα 1.10).
- b) Θερμο-ηχομονωτικά φύλλα επικάλυψης: Τα φύλλα αυτά είναι προκατασκευασμένα από σκληρό στρώμα πολυουρεθανίου που αποτελεί θερμο-ηχομονωτικό υλικό πάχους 30mm έως 80mm. Η εξωτερική επικάλυψη του φύλλου είναι από αλουμίνιο ενώ η εσωτερική από χάλυβα ( Σχήμα 1.11).



**Σχήμα 7.10:** Απλή μορφή φύλλων επικάλυψης από πτυχωτά χαλυβδόφυλλα.



**Σχήμα 7.11:** Θερμομονωτικά φύλλα επικάλυψης.

#### ▪ Πλεονεκτήματα μεταλλικών φύλλων:

- a) Το μεταλλικό επιστέγασμα είναι ελαφριά και αποτελούν οικονομική λύση για την επικάλυψη της κατασκευής.

- b) Δεν απαιτούν την ύπαρξη σανιδώματος για να εδραστούν.
- c) Παροχή ασφάλειας κατά τη φωτιά.
- d) Δυνατότητα λήψης κλίσεων με μεγάλες διαφορές(από 1:1,5 μέχρι 1:4).
- e) Απλότητα στη κατασκευή.

▪ **Μειονεκτήματα μεταλλικών φύλλων:**

- a) Κακή θερμομόνωση.
- b) Θόρυβος κατά την βροχή.
- c) Καταστροφή της στέγης λόγω σκουριάς.

Τα μεταλλικά φύλλα διακρίνονται σε:

- 1) Κουμπωτά.
- 2) Κυματοειδή.
- 3) Τραπεζοειδή.
- 4) Συρταρωτά.

Παράγονται είτε με έλαση και διαμόρφωση είτε με διέλαση από:

- Χάλυβα.
- Αλουμίνιο.
- Χαλκό.
- Τιτανίουχος ψευδάργυρος.

Ανάλογα με το υλικό χρησιμοποιούνται και τα αντίστοιχα υλικά στερέωσης

- Βίδες, μπουλόνια και παξιμάδια γενικής χρήσης.
- Βίδες και ήλοι στερέωσης χάλκινων στοιχείων.
- Εκτονούμενα βύσματα, ανθεκτικά στη διάβρωση.
- Ηλεκτρόδια και αναλώσιμα συγκολλήσεων .
- Τυποποιημένα αγκύρια.

Τα επιστεγάσματα πρέπει να παρουσιάζουν κάποιες ιδιότητες που πρέπει να τα καθιστούν ικανά να εκτελέσουν τον σκοπό τους και αξίζει να αναφερθούν. Αναλυτικότερα:

- ❖ Να αντέχουν στην προβλεπόμενη φόρτιση που έχει υπολογισθεί. Η φόρτιση αυτή είναι συνήθως τα κατακόρυφα φορτία (π.χ χιόνι) που πρέπει να μεταφέρονται στον φέροντα οργανισμό της κατασκευής.
- ❖ Να παρουσιάζουν ηχομονωτική ικανότητα.
- ❖ Εύκολη τοποθέτηση.
- ❖ Υγρομόνωση.
- ❖ Εύκολη απορροή όμβριων υδάτων από τις επιφάνειες.
- ❖ Ασφάλεια έναντι πιθανής φωτιάς.
- ❖ Θερμομόνωση.
- ❖ Μικρό βάρος κατασκευής.
- ❖ Σωστή και επαρκή αγκύρωση επι των στοιχείων που στηρίζονται.

Τα μονωτικά φύλλα ιδανικά δεν μεταφέρουν φορτία στην κατασκευή. Υπο ειδικές προϋποθέσεις μπορεί να θεωρηθεί ότι το υλικό των φύλλων επικάλυψης μεταφέρει κάποια οριζόντια φορτία μέσα στο επίπεδο του. Τα συνήθη υποστεγάσματα σε μία σιδερένια στέγη είναι :

- ❖ Θερμομονωτικά πανέλλα.
- ❖ Κεραμίδια.
- ❖ Μεταλλικά φύλλα.
- ❖ Ελαφρύ σκυρόδεμα.
- ❖ Οπλισμένο σκυρόδεμα.
- ❖ Γυάλινα πετάσματα.



Όσον αφορά τα θερμομονωτικά πάνελλα , υπάρχουν κάποιες απαιτήσεις. Ειδικότερα:

- ❖ Θερμομόνωση.
- ❖ Ηχομόνωση.
- ❖ Μεγάλη δυσκαμψία.
- ❖ Υψηλή αεροστεγανότητα με ακριβή γεωμετρία.
- ❖ Αντοχή σε κρούση.
- ❖ Ακαυστο υλικό.
- ❖ Διάθεση πιστοποιητικών καταλληλότητας.

#### **1.10. Πάνελ.**

Τα πάνελ αποτελούν μία εύκολη και οικονομική επιλογή. Συγκεκριμένα, τα πάνελ πολυουροεθάνης είναι από γαλβανισμένα ελασματόφυλλα και ανάμεσα τους υπάρχει σκληρός αφρός πολυουροεθάνης που τα κάνει θερμομονωτικά. Η βασική τους χρήση είναι η πλαγιοκαλύψεις και οι ψευδοροφές κτιρίων. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε κτίρια που απαιτούνται υλικά με μεγάλη μηχανική αντοχή και μικρό βάρος.

Τα πάνελ παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Αναλυτικότερα:

##### ➤ **Πλεονεκτήματα:**

- ❖ Θερμομόνωση.
- ❖ Στεγανότητα.
- ❖ Αντικαθιστούν στο έπακρον όλα τα υπόλοιπα ήδη στεγών.
- ❖ Χαμηλό κόστος υλικών στήριξης.
- ❖ Μικρός χρόνος τοποθέτησης.
- ❖ Εφαρμόζονται σε πολύ μικρές κλίσεις.
- ❖ Αντέχουν στο χρόνο.

## **8. Συγκολλήσεις.**

Ως συγκόλληση ορίζεται η ένωση δυο ή και περισσότερων κομματιών μετάλλου. Η συγκόλληση πραγματοποιείται με τη θέρμανση των μεταλλικών κομματιών, σε κατάλληλη θερμοκρασία ή με τη συμπίεσή τους ή ακόμα και με τους δύο παραπάνω τρόπους, με ή χωρίς τη προσθήκη υλικού. Με αυτούς τους τρόπους δημιουργείται ανάμεσα τους κρυσταλλική σύνδεση. Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μόνιμων συνδέσεων. Συνήθως αποτελεί την καλύτερη μέθοδο σύνδεσης των μετάλλων. Όπως προαναφέρθηκε η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της θερμότητας και θεωρείται κρυσταλλική σύνδεση. Επιπλέον έχει ως στόχο το τεμάχιο το οποίο θα διαμορφωθεί στο τέλος να έχει την ίδια αντοχή με τα αρχικά, ακατέργαστα κομμάτια.

Οι συγκολλήσεις χωρίζονται ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν σε δυο βασικές κατηγορίες , στις συγκολλήσεις πίεσεως και συγκολλήσεις τήξεως. Παράλληλα οι συγκολλήσεις τήξεως χωρίζονται ανάλογα με την φύση του συγκολλητικού υλικού σε αυτογενείς και ετερογενείς συγκολλήσεις. Στις αυτογενείς συγκολλήσεις απαιτείτε τοπικό λιώσιμο των προς συγκόλληση τεμαχίων και πιθανή τοποθέτηση ενός συγκολλητικού υλικού. Χαρακτηρίστηκα παραδείγματα αυτογενών συγκολλήσεων είναι η οξυγονοκόλληση η συγκόλληση με την βοήθεια αντίστασης η ηλεκτροσυγκόλληση και η συγκόλληση με Laser. Στις ετερογενείς συγκολλήσεις δεν απαιτείτε λιώσιμο των αντικειμένων που επρόκειτο να συγκολληθούν πάρα μόνο θέρμανση και εναπόθεση του λιωμένου συγκολλητικού υλικού. Χαρακτηριστικά παραδείγματά ετερογενών συγκολλήσεων είναι η κασσιτεροκόλληση και η μπρουτζοκόλληση.

### **8.1 Γενικές πληροφορίες**

#### **8.1.1. Χρησιμότητα των συγκολλήσεων.**

Οι συγκολλήσεις χρησιμεύουν στην ένωση δυο ή περισσότερων κομματιών μίας μεταλλικής κατασκευής. Οτιδήποτε είναι φτιαγμένο από χάλυβα, είτε είναι μεταλλικό κτίριο είτε κάποια άλλη κατασκευή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο συγκεκριμένος τρόπος

ένωσης. Επιπλέον καλό είναι να αναφερθεί ότι γίνεται χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου και σε άλλα υλικά όπως είναι το αλουμίνιο και το πλαστικό.

Η διαδικασία, όπως προαναφέρθηκε, εκτελείτε με υψηλές αλλά κατάλληλες θερμοκρασίες για να θερμάνει τα υλικά ή να τα συμπιέσει κι έτσι να γίνει η συγκόλλησή τους. Επίσης ανάλογα τη περίπτωση και τη κόλληση που θα επιλεγεί εξαρτάται εάν θα γίνει χρήση πρόσθετου υλικού ή όχι. Τέλος, η ένωση των υλικών με αυτό το τρόπο στοχεύει σε ένα μόνιμο αποτέλεσμα το οποίο να είναι αντάξιο των λεπτομερειών και της αντοχής με το αρχικό, ακατέργαστο κομμάτι.

## **8.2 Διαδικασίες συγκόλλησης.**

Υπάρχουν αρκετές διαδικασίες και μέθοδοι συγκόλλησης μετάλλων. Οι κύριες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τα μέταλλα που αφορούν τις κατασκευές είναι:

- **Συγκολλήσεις πίεσεως:**

Η διαδικασία συγκόλλησης μετάλλων με την βοήθεια της πίεσεως είναι απλή. Τα μεταλλικά κομμάτια που θα συγκολληθούν, θερμαίνονται στο σημείο συγκόλλησης τους σε θερμοκρασία κατώτερη από αυτή που αναλογεί στην θερμοκρασία τήξεως τους για να γίνουν πιο εύπλαστα, ενώ ακόλουθος πιέζονται δυνατά το ένα πάνω στο άλλο. Όπως προαναφέρθηκε η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της θερμότητας και θεωρείται κρυσταλλική σύνδεση. Επιπλέον έχει ως στόχο το τεμάχιο το οποίο θα διαμορφωθεί στο τέλος να έχει την ίδια αντοχή με τα αρχικά, ακατέργαστα κομμάτια.

Οι κυριότεροι μέθοδοι συγκόλλησης με πίεση είναι οι εξής:

1. Συγκολλήσεις με υπέρηχους
2. Συγκολλήσεις με τριβή
3. Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντιστάσεως
4. Συγκολλήσεις με εκρηκτική ύλη

- **Συγκολλήσεις με υπέρηχους.**

Η συγκόλληση αυτή χρησιμοποιείται για την σύνδεση μετάλλων, όπως είναι ο χαλκός, πλαστικών και ειδικά για την ένωση ανόμοιων υλικών. Η υπερηχητική συγκόλληση είναι μια τεχνική όπου οι υπερηχητικές δονήσεις υψηλής συχνότητας εφαρμόζονται τοπικά σε τεμάχια που συγκρατούνται μαζί υπό πίεση για να δημιουργήσουν συγκόλληση στέρεων σωμάτων. Στην υπερηχητική συγκόλληση, δεν υπάρχουν συνδετικά μπουλόνια, καρφιά, υλικά συγκόλλησης ή κόλλες που είναι απαραίτητες για τη δέσμευση των υλικών μεταξύ τους.



**Σχήμα 8.1:** Εξάρτημα συγκολλητή υπερήχων.

• **Συγκολλήσεις τριβής.**

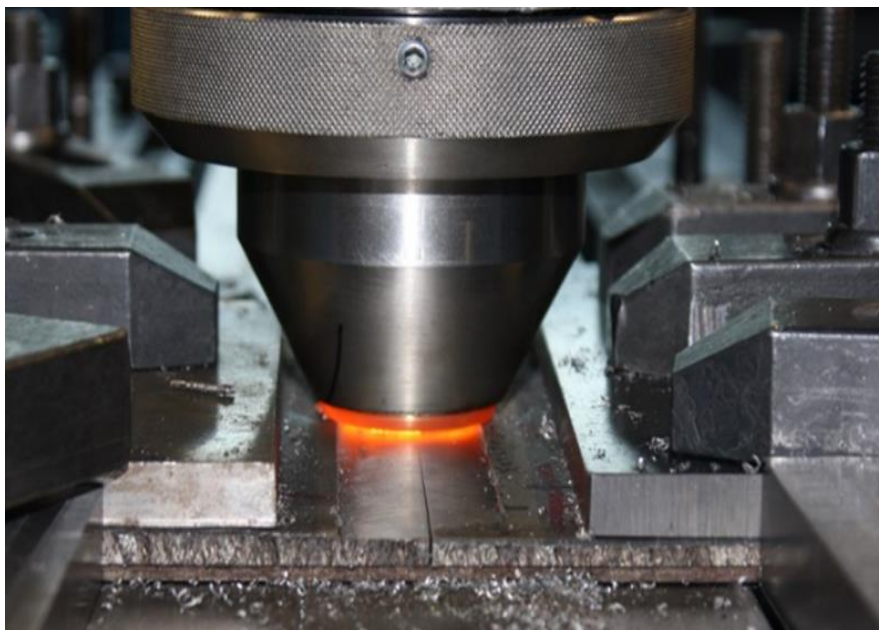
Στη συγκόλληση με τριβή δύο στερεά τεμάχια συγκολλώνται με τη βοήθεια της θερμότητας, που παράγεται από την τριβή του ενός πάνω στο άλλο. Στην πράξη, το ένα από τα δύο τεμάχια περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα με αποτέλεσμα την ώθηση του και την συμπίεση του πάνω στο τεμάχιο που θα συγκολληθεί. Οι μεταξύ τους επιφάνειες τρίβονται έντονα, θερμαίνονται μέχρι τη θερμοκρασία συγκόλλησης και τότε η περιστροφή σταματά. Με τη συνεχιζόμενη πίεση ανάμεσα στα δύο κομμάτια επιτυγχάνεται η συγκόλληση. Όμως, κάθε μέθοδος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα . Αυτά είναι:

**Πλεονεκτήματα :**

1. Η σχετικά χαμηλή θερμοκρασία στην οποία γίνεται η συγκόλληση σημαίνει ότι η διαδικασία μπορεί να προσαρμοστεί για εφαρμογές όπως η συγκόλληση σε ζωντανούς αγωγούς και σε εκρηκτικά περιβάλλοντα.
2. Η απουσία ηλεκτρικού τόξου στο μέταλλο αποφεύγει μερικά από τα πιθανά προβλήματα που αντιμετωπίζει η συγκόλληση τόξου, όπως η μόλυνση της συγκόλλησης με υδρογόνο, άζωτο και οξυγόνο.

**Μειονεκτήματα :**

1. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τη συγκόλληση σχετικά μικρών εξαρτημάτων (όπως καρφιά) τα οποία μπορούν να περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα σε ένα κομμάτι επιφάνειας. Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα περιορίζονται σε ράβδους μέχρι και διάμετρο 25 mm και βύσματα για την πλήρωση οπών μέχρι τυπικά 25 mm διάμετρο.
2. Το σύστημα απαιτεί έναν άκαμπτο σφιγκτήρα για να συγκρατεί το εργαλείο συγκόλλησης πάνω στο τεμάχιο εργασίας και να αντέχει τη δύναμη που ασκείται στο σκαλοπάτι κατά τη συγκόλληση. Αν και αυτοί οι σφιγκτήρες μπορούν να μετακινηθούν από μια θέση συγκόλλησης στο επόμενο αρκετά γρήγορα, είναι γενικά μεγαλύτεροι και δυσκολότεροι από ό, τι στην περίπτωση των συστημάτων συγκόλλησης με τόξο.



**Σχήμα 8.2:** Διαδικασία συγκόλλησης με τριβή με την βοήθεια μηχανής.

- **Ηλεκτροσυγκολλήσεις αντιστάσεως.**

Η συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση αναφέρεται σε μια ομάδα διαδικασιών συγκόλλησης, όπως: α) η συγκόλληση σημείων και β) η συγκόλληση ραφών που παράγουν συγκόλληση επιφανειών. Η θερμότητα που παράγεται για τον σχηματισμό της συγκόλλησης δημιουργείται από την ηλεκτρική αντίσταση του υλικού σε συνδυασμό με τον χρόνο και τη δύναμη που χρησιμοποιείται να συγκρατούν τα υλικά μαζί.

Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμότητα είναι οι αναλογίες των τεμαχίων, η επικάλυψη μετάλλων ή η έλλειψη επικάλυψης, η πίεση συμπίεσης ηλεκτροδίων, το ηλεκτρικό ρεύμα και το μήκος του χρόνου συγκόλλησης. Μικρές δεξαμενές λιωμένου μετάλλου σχηματίζονται στο σημείο της περισσότερης ηλεκτρικής αντίστασης καθώς ένα ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσω του μετάλλου. Γενικά, οι μέθοδοι συγκόλλησης αντιστάσεων είναι αποτελεσματικές και προκαλούν μικρή ρύπανση, αλλά οι εφαρμογές τους περιορίζονται σε σχετικά λεπτά υλικά.



**Σχήμα 8.3:** Διαδικασία συγκόλλησης με αντίσταση

- **Συγκολλήσεις με εκρηκτική ύλη.**

Η συγκόλληση με έκρηξη είναι μια διαδικασία στερεάς κατάστασης όπου η συγκόλληση επιτυγχάνεται επιταχύνοντας ένα από τα συστατικά με εξαιρετικά υψηλή ταχύτητα μέσω της χρήσης χημικών εκρηκτικών. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται συνήθως στην επένδυση από ανθρακούχο χάλυβα πλάκας με λεπτό στρώμα ανθεκτικού στη διάβρωση υλικού (π.χ. ανοξείδωτο χάλυβα). Λόγω της φύσης αυτής της διαδικασίας, οι παραγωγικές γεωμετρίες είναι πολύ περιορισμένες. Οι τυπικές γεωμετρίες που παράγονται περιλαμβάνουν πλάκες, φύλλα σωλήνων και σωλήνες. Όμως αυτή η διαδικασία δεν είναι πάντα ευνοϊκή και εύκολη στη υλοποίηση της υπάρχουν και μειονεκτήματα.

➤ **Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:**

Η συγκόλληση με έκρηξη μπορεί να παράγει δεσμό μεταξύ δύο μετάλλων που δεν είναι αναγκαίο να συγκολληθούν με συμβατικά μέσα. Η διαδικασία δεν τήκεται ούτε με μέταλλο, αλλά πλαστικοποιεί τις επιφάνειες και των δύο μετάλλων, προκαλώντας τους να έλθουν σε στενή επαφή έτσι ώστε να έχουν την κατάλληλη απόσταση για να δημιουργήσουν συγκόλληση. Πρόκειται για μια παρόμοια αρχή με άλλες τεχνικές συγκόλλησης χωρίς συγκόλληση, όπως η συγκόλληση με τριβή. Οι μεγάλες περιοχές μπορούν να συνδεθούν εξαιρετικά γρήγορα.

➤ **Παράλληλα τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:**

Η αναγκαία και απαραίτητη εκτεταμένη γνώση εκρηκτικών πριν από την ασφαλή απόπειρα της διαδικασίας. Οι κανονισμοί για τη χρήση υψηλών εκρηκτικών μπορεί να απαιτούν ειδική άδεια.

- **Σημειακή συγκόλληση.**

Η σημειακή συγκόλληση είναι μια μέθοδος συγκόλλησης με αντίσταση που χρησιμοποιείται για την ένωση δύο ή περισσότερων επικαλυπτόμενων μεταλλικών φύλλων, καρφιών, προεξοχών, καλωδίων και μερικών σωληνώσεων. Συχνά, οι πηγές τροφοδοσίας και ο εξοπλισμός συγκόλλησης έχουν το ειδικό πάχος και το υλικό που συγκολλούνται μεταξύ τους.

- **Συγκόλληση ραφών.**

Η συγκόλληση με ραφή είναι μια διαδικασία που παράγει τη συγκόλληση στις επιφάνειες δύο παρόμοιων μετάλλων. Η ραφή μπορεί να είναι μια αρθρωτή άρθρωση ή μια αλληλοεπικάλυψη και είναι συνήθως μια αυτοματοποιημένη διαδικασία. Διαφέρει από τη συγκόλληση με κόλλα στο ότι η διαδικασία αυτή συνήθως συγκολλάει ολόκληρη την ένωση σε αντίθεση με την συγκόλληση ραφών που σχηματίζει προοδευτικά την συγκόλληση, ξεκινώντας από το ένα άκρο. Όπως η συγκόλληση σημείων, έτσι και η ραφή βασίζεται σε δύο ηλεκτρόδια, συνήθως κατασκευασμένα από χαλκό, για την εφαρμογή πίεσης και ρεύματος.

Τα ηλεκτρόδια συχνά έχουν σχήμα δίσκου και περιστρέφονται καθώς το υλικό περνά μεταξύ τους. Αυτό επιτρέπει στα ηλεκτρόδια να παραμένουν σε συνεχή επαφή με το υλικό για να παράγουν μακρές συνεχείς συγκολλήσεις. Τα ηλεκτρόδια μπορούν επίσης να κινηθούν ή να βοηθήσουν την κίνηση του υλικού.

Ένας μετασχηματιστής παρέχει ενέργεια στην ένωση συγκόλλησης υπό μορφή χαμηλής τάσης, υψηλής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο σύνδεσμος του τεμαχίου εργασίας έχει υψηλή ηλεκτρική αντίσταση σε σχέση με το υπόλοιπο κύκλωμα και θερμαίνεται στο σημείο τήξης του από το ρεύμα. Οι μη λειωμένες επιφάνειες πιέζονται μαζί με την πίεση συγκόλλησης που δημιουργεί ένα δεσμό σύντηξης, με αποτέλεσμα μια ομοίμορφα συγκολλημένη δομή.

Η συγκόλληση με ραφή παράγει μια εξαιρετικά ανθεκτική συγκόλληση επειδή η άρθρωση διαμορφώνεται λόγω της θερμότητας και της πίεσης που εφαρμόζεται. Ένας σωστά συγκολλημένος σύνδεσμος που σχηματίζεται από τη συγκόλληση με αντίσταση μπορεί εύκολα να είναι ισχυρότερος από το υλικό από το οποίο σχηματίζεται. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της συγκόλλησης ραφών είναι κατά την κατασκευή στρογγυλών ή ορθογώνιων σωλήνων από χάλυβα.

#### • Συγκολλήσεις τήξεως.

Τα μεταλλικά κομμάτια που είναι προς συγκόλληση θερμαίνονται στο σημείο συγκόλλησης τους μέχρι την θερμοκρασία τήξεως. Κατά την τήξη τα μόρια του ενός κομματιού μετάλλου διεισδύουν στα μόρια του άλλου με αποτέλεσμα, όταν αποψυχθούν, να συμπεριφέρονται σαν ένα σώμα. Στις συγκολλήσεις τήξεως αρκετά συχνά χρησιμοποιείται επιπρόσθετο υλικό(υλικό συγκόλλησης) το οποίο συντήκεται συμπληρώνοντας τα κενά μεταξύ των δυο μεταλλικών κομματιών.

Οι κυριότερες κατηγορίες συγκολλήσεων με τήξη είναι οι εξής :

1. Οξυγονοκολλήσεις
2. Συγκολλήσεις με ηλεκτρικό τόξο.
3. Συγκολλήσεις με βυθισμένο τόξο (SAW)
4. Συγκολλήσεις με ακτίνες, οι οποίες διακρίνονται σε:
  - A. Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων
  - B. Συγκόλληση με ακτίνες Laser

#### 1. Οξυγονοκόλληση.

Η οξυγονοκόλληση ή αλλιώς συγκόλληση με οξυγονοασετυλίνη χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση μεταλλικών ελασμάτων ή δοκών, ράβδων, σωλήνων και άλλων υλικών. Αυτή η μορφή κόλλησης είναι μία διαδικασία αυτογενής συγκόλλησης, για το λόγο ότι πραγματοποιείται μέσω τήξης των άκρων των δύο τεμαχίων που είναι επιθυμητό να συγκολληθούν, με προσθήκη ή όχι βοηθητικού συγκολλητικού υλικού. Όπως γίνεται αντιληπτό από τη λέξη, η αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με τη βοήθεια οξυγόνου και ασετυλίνης.



**Σχήμα 8.4:** Απεικόνιση απλής οξυγονοκόλλησης.

Η απαραίτητη θερμότητα για το λιώσιμο των άκρων των δύο προς συγκόλληση τεμαχίων παράγεται με τη βοήθεια του οξυγόνου ( $O_2$ ) και της ασετιλίνης ( $C_2H_2$ ). Το οξυγόνο που είναι αέριο, διατηρεί την καύση, καίει την ασετιλίνη, που είναι επίσης αέριο άχρωμο, μη τοξικό και εύφλεκτο. Και τα δύο αυτά αέρια τοποθετούνται σε φιάλες, οι οποίες είναι σημαδεμένες με χαρακτηριστικά χρώματα για να αναγνωρίζεται το περιεχόμενό τους (μπλε για το οξυγόνο και κίτρινο για την ασετιλίνη). Άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο αναγνώρισης του περιεχομένου των φαύλων είναι ο διαφορετικός ήχος που κάνουν οι δύο φιάλες, όταν χτυπηθούν ελαφρά με κάποιο μεταλλικό αντικείμενο. Η φιάλη του

οξυγόνου κάνει ένα χαρακτηριστικό ήχο σαν καμπάνα (περιέχει οξυγόνο υπό πίεση), ενώ η φιάλη της ασετιλίνης κάνει υπόκωφο ήχο.

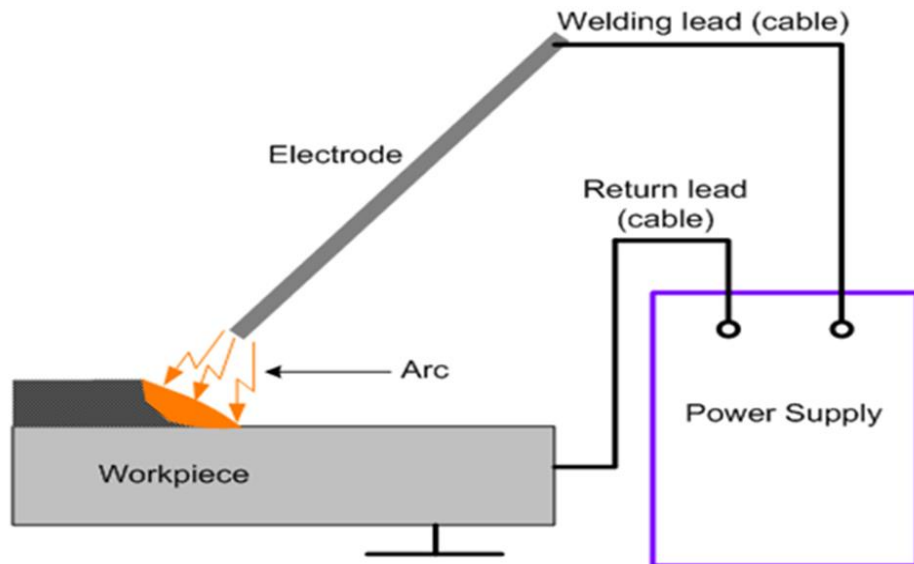
Προκειμένου το οξυγόνο και η ασετιλίνη να χρησιμοποιηθούν και επειδή βρίσκονται σε πίεση (15 ατμ. το οξυγόνο και 150 ατμ. η ασετιλίνη), μετά τις φιάλες χρησιμοποιούνται εκτόνωτες, δηλαδή όργανα που ρίχνουν την πίεση. Η πίεση που έχει κάθε αέριο στη φιάλη, αλλά και η πίεση της παροχής του, μετά τη μείωση από τον εκτονωτή, φαίνονται σε δύο μανόμετρα που έχει πάνω κάθε φιάλη, το μανόμετρο υψηλής πίεσης για τη φιάλη και το μανόμετρο χαμηλής πίεσης για την παροχή. Μετά την έξοδό τους από τους μανοεκτονωτές, τα αέρια οδηγούνται προς τη θέση καύσης μέσω εύκαμπτων ελαστικών σωλήνων

Σημαντικό ρολό έχει και η ένταση της φλόγας που χρησιμοποιείται κατά την διαδικασία οξυγονοκόλλησης. Το κύριο πλεονέκτημα που έχει η φλόγα οξυγόνου είναι η υψηλή θερμοκρασία. Είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με άλλα καύσιμα και αποτελεσματικότερη που η διαδικασία γίνεται πιο γρήγορα και το μέταλλο λιγώνει πιο ευκολά.

## **2. Συγκολλήσεις με ηλεκτρικό τόξο.**

Η συγκόλληση τόξου ή ηλεκτροσυγκόλληση στηρίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου ανάμεσα στο κομμάτι δηλαδή στο μεταλλικό μέρος , που πρέπει να κολληθεί, και σε ένα ηλεκτρόδιο, που είναι ταυτόχρονα και συγκολλητικό μέσο. Για να γίνει αυτό, το ηλεκτρόδιο και το κομμάτι συνδέονται με τους ακροδέκτες γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος. Στην πράξη, χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές που λέγονται μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, οι οποίες χρησιμοποιούν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα και παράγουν το ηλεκτρικό τόξο.

Λόγω του ηλεκτρικού τόξου, αναπτύσσεται μεγάλη θερμοκρασία στη θέση κόλλησης, (υπολογίζεται γύρω στους 4000 °C). Στη θερμοκρασία αυτή το μέταλλο που συγκολλάτε λιώνει, ενώ από πάνω του δημιουργείται ένα στρώμα αερίων, που προέρχονται από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Ταυτόχρονα με τη δημιουργία των αερίων, δημιουργείται πάνω από τη ραφή μία πάστα, επίσης από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Η πάστα αυτή βοηθά στην τήξη του μετάλλου και παρεμποδίζει τη ραγδαία απόψυξη, που θα είχε ως συνέπεια να βαφεί η ραφή. Η ραφή συγκόλλησης προκύπτει από το λιωμένο μέταλλο που συγκολλάτε και από το λιωμένο μέταλλο του πυρήνα του ηλεκτροδίου. Ο συγκολλητής, για να ξεκινήσει τη διαδικασία συγκόλλησης, χτυπά ή τρίβει το ηλεκτρόδιο πάνω στο προς συγκόλληση τεμάχιο και στη συνέχεια το σηκώνει, διατηρώντας από κει και πέρα μία σταθερή απόσταση.



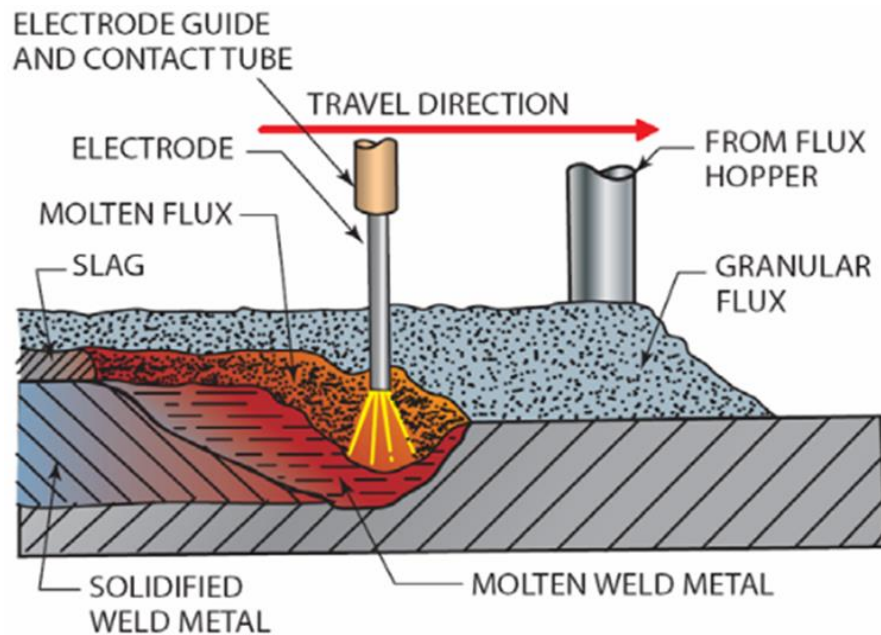
**Σχήμα 8.5:** Παράδειγμα χρήσης συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο.

### 3. Συγκολλήσεις με βυθισμένο τόξο ( SAW).

Η μέθοδος συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο λειτουργεί με το τόξο να βρίσκεται ανάμεσα σε αναλίσκόμενο ηλεκτρόδιο που έχει την μορφή σύρματος και στο προς συγκόλληση αντικείμενο-μέταλλο. Αναλυτικότερα το τόξο, το άκρο του ηλεκτροδίου αλλά και το λουτρό τήξης είναι βυθισμένα μέσα σε μία ειδική σκόνη. Όταν το τόξο έρχεται σε επαφή με το κοντινότερο μέρος σκόνης αυτή τήκεται μετατρέπεται σε σκωρία και με αυτόν τον τρόπο προστατεύει το τόξο, το ηλεκτρόδιο, το λουτρό τήξης αλλά και το μέταλλο που είναι προς κατεργασία από οποιαδήποτε επαφή με την ατμόσφαιρα. Το ειδικό σύρμα που χρησιμοποιείται στην μέθοδο αυτή τροφοδοτείται συνεχώς από μία ηλεκτροκίνητη μονάδα.

Η σκόνη το βασικό στοιχείο αυτή της μεθόδους τροφοδοτείται συνεχώς μέσω ενός χωνί που είναι στερεωμένο στην κεφαλή της συγκόλλησης και μεταφέρεται μέσω ενός αγωγού μπροστά από το τόξο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας κατάλληλος λοφίσκος που προστατεύει τελείως το τόξο. Το πιο ευνοϊκό με αυτή την μέθοδο είναι ότι η σκόνη που δεν έχει υποστεί τήξη μπορεί να ανακυκλωθεί. Η μέθοδος αυτή έχει ονομαστεί έτσι από τα αρχικά της SAW που σημαίνουν SumbergedArcWelding.



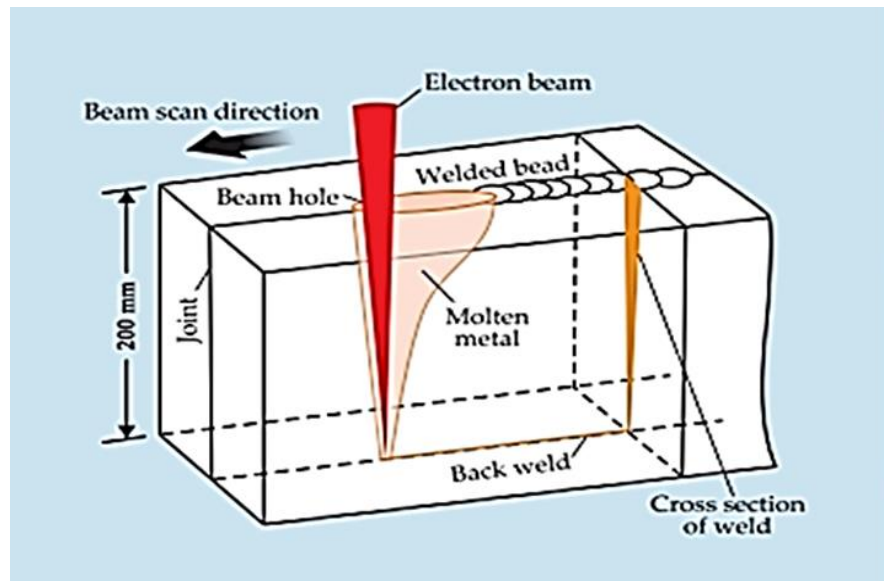


**Σχήμα 8.6:** Μέθοδος συγκόλλησης με βυθισμένου τόξου.

#### 4. Συγκολλήσεις με ακτίνες.

##### A. Συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων.

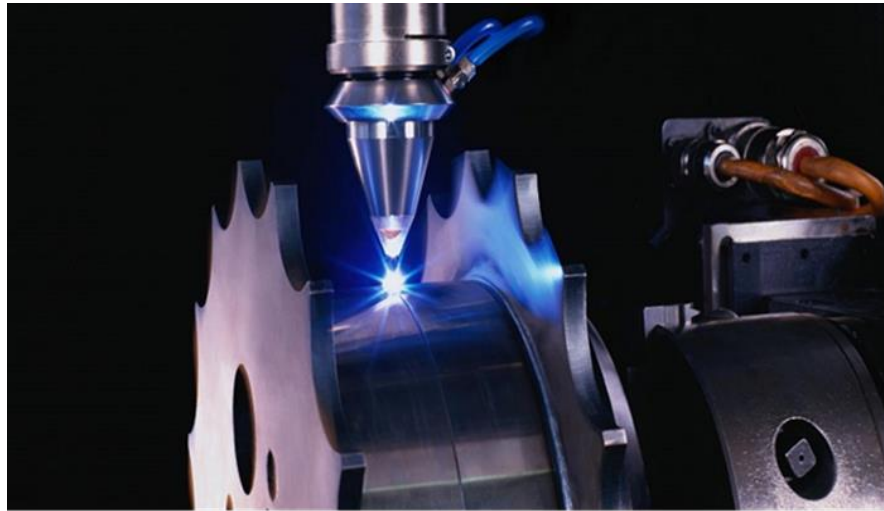
Η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων (EBW) είναι μια διαδικασία συγκόλλησης με σύντηξη. Η εφαρμογή της γίνεται με μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ταχύτητας σε δύο υλικά που πρόκειται να συνδεθούν. Τα τεμάχια εργασίας τήκονται και ρέουν μεταξύ τους καθώς η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων μετατρέπεται σε θερμότητα κατά την πρόσκρουση. Η διαδικασία αυτή συχνά εκτελείται υπό συνθήκες κενού για να αποφευχθεί η διάχυση της δέσμης ηλεκτρονίων.



**Σχήμα 8.7:** Μέθοδος συγκόλλησης με δέσμη ηλεκτρονίων.

##### B. Συγκόλληση με ακτίνες Laser.

Η συγκόλληση με δέσμη λέιζερ (LBW) είναι μια τεχνική συγκόλλησης που χρησιμοποιείται για την ένωση πολλαπλών τεμαχίων μετάλλου με τη χρήση ενός λέιζερ. Η δέσμη παρέχει μια συμπυκνωμένη πηγή θερμότητας, επιτρέποντας στενές και βαθιές συγκολλήσεις υψηλής ταχύτητας συγκόλλησης. Η διαδικασία χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές μεγάλου όγκου που χρησιμοποιούν αυτοματοποίηση, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία.



**Σχήμα 8.8:** Μέθοδος συγκόλλησης με laser.

### **8.2.1. Είδη συγκολλήσεων ανάλογα με την φύση του συγκολλητικού υλικού.**

Ανάλογα με το αν τα προς συγκόλληση μεταλλικά κομμάτια ή τεμάχια είναι από το ίδιο υλικό ή από διαφορετικό και με το αν η το συγκολλούμε υλικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι της ίδιας ή διαφορετικής χημικής σύνθεσης με τα προς κομμάτια συγκόλλησης, οι συγκολλήσεις (τήξεως) διακρίνονται σε δυο κατηγορίες στις αυτογενείς και στις ετερογενείς.

#### **Αυτογενείς Συγκολλήσεις.**

Οι αυτογενείς συγκολλήσεις είναι συγκολλήσεις κατά τις οποίες τα μεταλλικά κομμάτια που θα χρησιμοποιηθούν είναι από το ίδιο υλικό όπως επίσης από το ίδιο ή παρόμοιο υλικό είναι το συγκολλητικό υλικό. Στις αυτογενείς συγκολλήσεις η θερμοκρασία που παράγεται στην περιοχή συγκόλλησης είναι πιο υψηλή από το σημείο τήξεως των μεταλλικών κομματιών και του συγκολλητικού υλικού. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται η οξυγονοκόλληση, η συγκόλληση τόξου και η ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα με τις μεθόδους T.I.G, M.I.G και M.A.G.

#### **Ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα.**

Οι συγκολλήσεις με αδρανή ατμόσφαιρα εξασφαλίζουν τη μόνωση της περιοχής συγκόλλησης από τον αέρα, δηλαδή από το Οξυγόνο και το άζωτο που επηρεάζουν τη συγκόλληση. Για τη μόνωση αυτή χρησιμοποιούνται τα αέρια Αργό (Ar) και Ήλιο (He). Από τα δύο αυτά αέρια χρησιμοποιείται περισσότερο το αργό, γιατί η παραγωγή του έχει μικρότερο κόστος. Η διαδικασία αυτή έχει κάποια παραπάνω πλεονεκτήματα από την απλή ηλεκτροσυγκόλληση.

Αυτά είναι:

1. Σταθερό ηλεκτρικό τόξο και εύκολη συγκόλληση
2. Ραφές συγκόλλησης με υψηλή μηχανική αντοχή
3. Απουσία επιβλαβών αναθυμιάσεων

Η ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα γίνεται με τρεις μεθόδους, α) τη μέθοδο T.I.G, β) τη μέθοδο M.I.G. και γ) τη μέθοδο M.A.G.

#### **1. Μέθοδος T.I.G.**

Στην ηλεκτροσυγκόλληση T.I.G. (Tungsten Inert Gas) το ηλεκτρόδιο είναι από Βολφράμιο (W) και προκειμένου να αυξηθούν οι ηλεκτρικές του ιδιότητες προστίθενται Θόριο (Th) και Ζιρκόνιο (Zr). Το ηλεκτρόδιο δεν συμμετέχει στη συγκόλληση μόνο για να διατηρεί το ηλεκτρικό τόξο. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως αδρανές αέριο το Αργό ή το Ήλιο ή μείγμα των δύο αερίων.

Προκειμένου η συγκόλληση με τη μέθοδο T.I.G. να είναι επιτυχής, πρέπει τα κομμάτια που θα συγκολληθούν να είναι καθαρά. Σε πολλές περιπτώσεις η συγκόλληση πραγματοποιείται χωρίς κόλληση και μόνο με την τήξη των υλικών που πρόκειται να συγκολληθούν. Η μέθοδος T.I.G. χρησιμοποιείται για συγκόλληση των περισσότερων μετάλλων. Ιδιαίτερη πρακτική εφαρμογή είναι η συγκόλληση λεπτών αντικειμένων λόγω της εξαιρετικής ποιότητας και ακρίβειας συγκόλλησης στην τελική επιφάνεια εργασίας.



**Σχήμα 8.9:** Μέθοδος συγκόλλησης με T.I.G.

## **2. Μέθοδος M.I.G.**

Στην ηλεκτροσυγκόλληση M.I.G. (Metal Inert Gas) το ηλεκτρόδιο αποτελεί και το συγκολλητικό υλικό. Το ηλεκτρόδιο δηλαδή τροφοδοτείται στη συγκόλληση από μία κουλούρα σύρματος. Το αέριο που χρησιμοποιείται είναι αργό (Ar) ή μείγμα αργού με άλλα αδρανή αέρια. Το ηλεκτρόδιο στη συγκόλληση M.I.G. συνδέεται στο θετικό πόλο, σε αντίθεση με το ηλεκτρόδιο στη μέθοδο T.I.G., που συνδέεται στον αρνητικό πόλο και έτσι λιώνει ευκολότερα.

## **3. Μέθοδος M.A.G.**

Στην ηλεκτροσυγκόλληση M.A.G. (Metal Actif Gas) χρησιμοποιούνται ανθρακικά αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακος (CO<sub>2</sub>) ή μείγμα ανθρακικών αερίων και αργού. Το συγκολλητικό υλικό είναι σύρμα κυρίως από μαγγάνιο και πυρίτιο, ενώ περιέχει και πρόσθετα άλλων μετάλλων.

## **Ετερογενείς Συγκολλήσεις.**

Στις ετερογενείς συγκολλήσεις τα μεταλλικά κομμάτια που θα πρέπει να ενωθούν και το συγκολλητικό βοήθημα που θα χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά. Το συγκολλητικό βοήθημα κομμάτια που θα συγκολληθούν και το συγκολλητικό βοήθημα που θα χρησιμοποιηθεί είναι κατασκευασμένα από διαφορετικό υλικό. Το συγκολλητικό υλικό έχει πάντοτε κατώτερο σημείο τήξεως από τα προς συγκόλληση κομμάτια. Στις συγκολλήσεις αυτές η θερμοκρασία που παράγεται στην θέση συγκόλλησης είναι κατώτερη από το σημείο τήξεως των μετάλλων που θα συγκολληθούν και υψηλότερη από το σημείο τήξεως του συγκολλητικού υλικού. Έτσι στην θερμοκρασία αυτή η κόλληση λιώνει και εισδύει στο κενό μεταξύ των μεταλλικών κομματιών. Οι συγκολλήσεις αυτές χωρίζονται σε μαλακές συγκολλήσεις όπως ( π.χ. κασσίτεροκόλληση,) και σκληρές συγκολλήσεις όπως( π.χ. μπρουτζοκόλληση).

## **Μαλακές Συγκολλήσεις.**

Οι μαλακές συγκολλήσεις διακρίνονται για τη χαμηλή θερμοκρασία συγκόλλησης. Για να πραγματοποιηθεί μία τέτοια συγκόλληση, χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό υλικό κράμα κασσίτερου και μόλυβδου. Η θερμότητα, που χρειάζεται για να λιώσει το συγκολλητικό

υλικό, παρέχεται από καμινέτο ή κολλητήρι. Μαλακές συγκολλήσεις είναι η κασσιτεροκόλληση, η μολυβδοκόλληση, αλλά σημαντικότερη είναι η κασσιτεροκόλληση.



**Σχήμα 8.10:** Μέθοδος κασσιτεροκόλλησης.

### **Σκληρές Συγκολλήσεις.**

Οι σκληρές συγκολλήσεις, σε αντίθεση με τις μαλακές, πραγματοποιούνται σε μεγάλες θερμοκρασίες (600 έως 900 °C). Χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση όλων των συνηθισμένων μετάλλων πλην του αλουμινίου. Μεγάλη πρακτική εφαρμογή έχουν σε συγκολλήσεις χάλκινων εξαρτημάτων. Οι σημαντικότερες σκληρές συγκολλήσεις είναι η μπρουντζοκόλληση και η ασημοκόλληση.



**Σχήμα 8.11:** Μέθοδος μπρουντζοκόλλησης.

### **8.3 Έλεγχος συγκολλήσεων.**

Βασικό κριτήριο για μία διαδικασία συγκόλλησης είναι ο αποτελεσματικός έλεγχος της. Πιο συγκεκριμένα ο έλεγχος που ακολουθεί μετά από μία συγκόλληση κυρίως στις μεταλλικές κατασκευές, επειδή οι συγκολλήσεις σε αυτού τους είδους τις εργασίες επικεντρώνονται στην αντοχή, είναι πιο χρονοβόρος και απαιτεί περισσότερες εγκαταστάσεις και εργασίες από ότι η εκτέλεση της συγκόλλησης όταν υλοποιούνται οι κατασκευές.

Παρακάτω θα αναφερθούν και θα αναλυθούν οι τρεις βασικές κατηγορίες που αφορούν τους ελέγχους στις συγκολλήσεις. Όμως όπως θα γίνει αντιληπτό και στις επόμενες παραγράφους μία είναι η κατηγορία που παρουσιάζει τα περισσότερα πλεονεκτήματα και χρησιμοποιείται περισσότερο.

#### **1. Καταστροφικές δοκιμές.**

Οι καταστροφικές δοκιμές σε σύγκριση με τις άλλες δύο δοκιμές που θα αναλυθούν και σε σύγκριση με τις συμβατές μεθόδους υπερτερούν. Πιο συγκεκριμένα δίνουν την δυνατότητα άμεσης εξέτασης και διατήρηση της δομής του εξεταζόμενου μετάλλου. Επίσης δίνουν ποιοτική και αποτελεσματική καταγραφή. Όμως για να υλοποιηθούν οι έλεγχοι και οι απαιτούμενες δοκιμές υπάρχουν δύο τρόποι. Αρχικά γίνεται η δοκιμή με τυχαία μεταλλικά τεμάχια. Σε αυτή την περίπτωση τα εξεταζόμενα μέταλλα υπόκεινται καταπονήσεις ανάλογες των ιδιοτήτων τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή τους και αυτό γιατί για να είναι σωστή η συγκόλληση τους θα πρέπει τα εξεταζόμενα μεταλλικά τεμάχια να σπάσουν με εξαίρεση τη ραφή συγκόλλησης τους.

Στην δεύτερη περίπτωση εξεταζόμενα δοκίμια είναι τα δοκίμια από την ραφή συγκόλλησης. Εδώ τα τεμάχια αυτά υποβάλλονται κυρίως σε δοκιμές μηχανικών ιδιοτήτων. Πιο συγκεκριμένα υπόκεινται σε δοκιμές εφελκυσμού, λυγισμού, σκληρότητας, κρούσης. Με αυτούς τους τρόπους προσδιορίζονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης που πραγματοποιήθηκε.

#### **2. Ημικαταστροφικές δοκιμές.**

Οι δοκιμές αυτές εκτελούνται πάλι είτε σε δοκίμια από την ραφή συγκόλλησης μόνο που σε αυτή την περίπτωση τα εξεταζόμενα μέταλλα είναι μικρού μεγέθους είτε στις ραφές συγκόλλησης αφού πρώτα υποστούν μία μικρή εγκοπή. Ο λόγος που τα δοκίμια αλλά και οι εγκοπές είναι μικρού μεγέθους είναι ότι σε περίπτωση που τα αποτελέσματα των δοκιμών φέρουν τα απαιτούμενα αποτελέσματα να είναι εφικτή η αντικατάστασή τους ή η αποκατάστασή τους.

Οι δοκιμές αυτές υλοποιούνται με τρεις τρόπους. Αναλυτικότερα:

- i. Με κατάλληλη παρατήρηση της εγκοπής και της επάλειψής της από το απαιτούμενο υγρό. Πιο συγκεκριμένα όταν πραγματοποιείται η εγκοπή αυτή καλύπτεται με ένα διαβρωτικό υγρό που βοηθά στον εντοπισμό των τυχών ελαττωμάτων όπως π.χ. σκουριές, φυσαλίδες, έλλειψη διείσδυσης.
- ii. Μηχανικές καταπονήσεις σε εργαστήρια για τον κατάλληλο προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων μεταλλικών δοκιμίων.
- iii. Σύγκριση ειδικού βάρους των δοκιμίων από τις διάφορες θέσεις της ραφής.

#### **4. Μη καταστροφικές δοκιμές.**

Οι δοκιμές αυτές είναι οι συμβατικοί μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περισσότερο παρόλο που όλοι οι έλεγχοι οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω δίνουν συγκεκριμένα αλλά και αξιόπιστα αποτελέσματα για ορισμένα ελαττώματα που μπορούν να υπάρχουν στις συγκολλήσεις των μεταλλικών δοκιμίων. Οι μη καταστροφικές δοκιμές διακρίνονται σε αρκετές κατηγορίες όσον αφορά όμως τις μεταλλικές κατασκευές βασικές είναι :

- I. Οπτικός έλεγχος.
- II. Έλεγχος με φθορισμό.
- III. Μηχανικός έλεγχος.

##### **I. Οπτικός έλεγχος.**

Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνει είτε με την χρήση κάποιας συσκευής είτε και χωρίς αυτήν. Επιτρέπει τον έλεγχο ρωγμών, φαγωμάτων και την απαιτούμενη διείσδυση της συγκόλλησης. Όμως στις περιπτώσεις όπου οι συγκολλήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί είναι σε δυσπρόσιτα σημεία στα οποία δεν μπορεί να γίνει ο έλεγχος μόνο οπτικά χρησιμοποιείται ειδική οπτική συσκευή που προβάλλει ένα καθορισμένο

σημείο βοηθώντας στην παρατήρηση της συγκόλλησης. Η συσκευή αυτή αλλά και ο υπόλοιπος εξοπλισμός αποτελείται από καθρέπτες, όργανα διαστασιολόγησης συγκολλητικών συνδέσεων.



**Σχήμα 8.12:** Παράδειγμα μεθόδου οπτικού ελέγχου.

### **I. Έλεγχος με φθορισμό.**

Ο έλεγχος με φθορισμό πραγματοποιείται για τον εντοπισμό κυρίως επιφανειακών σφαλμάτων που δεν είναι εύκολο να εντοπιστούν με γυμνό μάτι ή με άλλες μεθόδους. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για ρωγμές μικρού μεγέθους που υπόκεινται καταπονήσεις κόπωσης και συχνούς κραδασμούς. Ο έλεγχος αυτός βασίζεται στην ιδιότητα που έχει ο ψευδάργυρος να φθορίζει. Αναλυτικότερα ακολουθείται μία διαδικασία για τον εντοπισμό των ρωγμών σε μία επιφάνεια ή ακόμη και σε ένα βάθος. Αρχικά επαλείφεται η ραφή συγκόλλησης με το φθορίζον υλικό και έπειτα αυτό πρέπει να σκουπιστεί από την επιφάνεια με προσοχή. Ακολούθως φωτίζεται το κομμάτι που έχει αλειφθεί με το φθορίζον υλικό και έπειτα γίνεται η παρατήρηση του δοκιμίου. Όλα τα σημεία του κομματιού φαίνονται σκοτεινά όταν φωτισθούν εκτός από τις ρωγμές που φαίνονται φωτεινές με την βοήθεια του υγρού αυτού.

### **II. Μηχανικός έλεγχος.**

Ο μηχανικός έλεγχος που πραγματοποιείται στα εξεταζόμενα μεταλλικά δοκίμια είναι οι μεγάλες καταπονήσεις. Πιο συγκεκριμένα τα δοκίμια δέχονται μεγαλύτερες φορτίσεις από ότι δέχονται στην χρησιμοποίησή τους. Οι μηχανικές καταπονήσεις είναι συνήθως εφελκυσμού, λυγισμού, σκληρότητας, κρούσης.

## **8.4 Ασυνέχειες των συγκολλήσεων.**

Στις κατεργασίες συγκολλήσεων μεταξύ διάφορων δοκιμίων είναι εύκολο να παρουσιαστούν ποικίλες ασυνέχειες όπως σκουριά, πόροι, αποκοπή, ρωγμές, κλπ. Οι βασικότερες ασυνέχειες που εμφανίζονται στις συγκολλήσεις μεταξύ μετάλλων είναι οι παρακάτω:

- **Πορώδες:** Οι πόροι κατά την συγκόλληση μπορούν να δημιουργηθούν από διάφορους τρόπους. Πιο συγκεκριμένα δημιουργούνται όταν κατά την διάρκεια στερεοποίησης του μετάλλου έχει παγιδευτεί αέρας. Επίσης ο μη προσεκτικός καθαρισμός των μετάλλων πριν την συγκόλληση είναι μια ακόμη αιτία πόρων. Επιπροσθέτως η ύπαρξη υγρασίας στα μέταλλα συμβάλλει στην δημιουργία αυτών. Συνήθως οι πόροι που δημιουργούνται είναι κατανεμημένοι ομοιόμορφα στο μέταλλο που θα υποστεί συγκόλληση. Ως επί τον πλείστον έχουν σχήμα σφαιρικό ή οβάλ και συγκεντρώνονται στην ρίζα ή στον πόδα της συγκόλλησης.
- **Εγκλείσματα σκουριάς:** Η σκουριά αφορά κυρίως δύο ειδών συγκολλήσεων. Αρχικά την συγκόλληση με επικαλυμμένα ηλεκτρόδια και την συγκόλληση με βυθισμένο τόξο. Σε αυτές τις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται η σκουριά ως μέσο προστασίας

της συγκόλλησης. Τα εγκλείσματα αυτά δημιουργούνται κυρίως στην ρίζα της συγκόλλησης ή και μεταξύ των ραφών συγκόλλησης.

- **Ατελής τήξη:** Η ατελής τήξη παρουσιάζεται κυρίως στις πλευρικές επιφάνειες ενός μετάλλου συγκόλλησης και αναφέρεται στην ατελή τήξη αυτού του μετάλλου. Η ατελής τήξης προκύπτει από την κακή διαχείριση ηλεκτροδίου, από μεγάλες ταχύτητες συγκόλλησης και από ανεπαρκής ένταση ρεύματος.
- **Ατελής διείσδυση:** Ατελής διείσδυση παρουσιάζεται όταν γίνεται ανεπαρκής σχεδιασμός του μετάλλου συγκόλλησης σε όλο το υπάρχον πάχος ελάσματος. Πιο αναλυτικά η ατελής διείσδυση προκύπτει από κακή διαχείριση ηλεκτροδίου, από ακατάλληλες συνθήκες συγκόλλησης αλλά και από παρουσία επιφανειακών οξειδίων που δυσκολεύουν την τήξη του μετάλλου.
- **Υποκοπή:** Η υποκοπή αναφέρεται στην γεωμετρική ασυνέχεια . Αναλυτικότερα η γεωμετρική ασυνέχεια που δημιουργείται με σχήμα εγκοπής κατά την τήξη του μετάλλου και δεν γεμίζει με το μέταλλο συγκόλλησης.
- **Ρωγμές:** Οι ρωγμές παρουσιάζονται κυρίως όταν υπάρχουν υψηλές παραμένουσες τάσεις αλλά και στην συγκέντρωση διαφόρων τάσεων λόγω της εγκοπής που μπορεί να εμφανίζεται στα πόδα ή στην ρίζα της συγκόλλησης.

## 9. Παράδειγμα

### 9.1 Γενικά

Στην διπλωματική εργασία που θα αναλυθεί παρουσιάζετε η κατασκευή ενός μεταλλικού υπόστεγου. Για τη μελέτη της εργασίας αυτής έγινε χρήση του προγράμματος SOFISTIK, το οποίο αποτέλεσε και το βασικό βοήθημα για την ανάλυση, το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση. Όλα αυτά υπολογίζονται μέσω της εφαρμογής SOFISTIK με στατική ή δυναμική ανάλυση, μη γραμμικότητα υλικού και γεωμετρίας όπως και με μη γραμμική δυναμική ανάλυση.

Στη διαστασιολόγηση του μεταλλικού υπόστεγου έχει χρησιμοποιηθεί οπλισμένο αλλά και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Επιπλέον έχουν γίνει εκτεταμένοι έλεγχοι στα σίδερα της κατασκευής βάση τους Ευρωκώδικες που αναφέρθηκαν παραπάνω αλλά και με τη χρήση άλλων προτύπων όπως τους γερμανικούς και διεθνείς κανονισμούς .

Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν και άλλα υποπρογράμματα της SOFTIK όπως το DYNA, το STAR2.

#### 9.2.1. Επιλογή υλικών και διατομών.

Για τη κατασκευή του υπόστεγου επιλέχθηκαν από τους μελετητές τα παρακάτω υλικά. Για όλο το υπόστεγο κύριο δομικό υλικό είναι ο χάλυβας ποιότητας S235( $f_y=235\text{N/mm}^2$ )

Ο συγκεκριμένος χάλυβας, όπως αναγράφεται και στην εργασία, επιλέχθηκε για να προσδώσει στη κατασκευή μεγαλύτερη ευκαμψία, ενώ για μεγαλύτερη ακαμψία, στα σημεία που χρειάζεται, τοποθετήθηκαν διαγώνιοι σύνδεσμοι στο χαλύβδινο σκελετό. Για την θεμελίωση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C20/25( $f_{ck}=30\text{N/mm}^2$ ) με ποιότητα χάλυβα S500.

Με τη χρήση υπορουτίνας Aqua η οποία αποτελεί έναν κώδικα στον οποίο εισάγονται διατομές οποιονδήποτε διαστάσεων και υλικών και μέσω αυτού υπολογίζονται ελαστικά και πλαστικά μεγέθη καθώς επίσης και τάσεις των διατομών. Στη συγκεκριμένη εργασία με τον κώδικα αυτόν βρέθηκε η ποιότητα και οι τυποποιημένες διαστάσεις που απαιτούνται.

Ο παρακάτω πίνακας έχει ληφθεί από την εργασία που σχολιάζετε και παρουσιάζει τις διατομές που απαιτούνται και την αντίστοιχη αρίθμηση τους στο πρόγραμμα.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΤΟΜΗ	ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
Υποστυλώματα	HEB 320	No1
Κύριοι δοκοί	IPE 500	No2
Δοκοί κορφιά	IPE 300	No3
Δευτερεύουσες δοκοί	IPE 300	No3
Κατακόρυφα χιαστή	SH 100x100x5	No4
Οριζόντια χιαστή	L 60x60x6	No5
Πεδιλοδοκοί ισογείου Β/Η	Οπλισμένοσκυρόδεμα 25x60	No6
Πεδιλοδοκοί ισογείου Β/Η/ΒΟ/ΗΟ	Οπλισμένοσκυρόδεμα 50x100x150x65	No7

**Πίνακας 22:** Συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

### 9.2.2. Γεωμετρία φορέα.

Για να υπολογιστεί η γεωμετρία του φορέα χρησιμοποιήθηκε η υπορουτίνα GENF. Με τη χρήση αυτού του κώδικα κατασκευάζεται ο φορέας είτε με την εισαγωγή δεδομένων είτε γραφικά. Αρχικά γίνεται εισαγωγή των συντεταγμένων των κόμβων και στην συνέχεια καθορίζονται οι δοκοί και οι στύλοι του φορέα.

Τα δεδομένα για την κατασκευή έχουν ως εξής :

Μονώροφο κτήριο

30m \* 20m και ύψος 9,5m

Το ύψος του ισογείου είναι 8m.

Έγινε ομαδοποίηση και επεξήγηση της αρίθμησης κόμβων, δοκών και στυλών του φορέα και τα δεδομένα τοποθετήθηκαν σε πίνακες οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω όπως ακριβώς είναι στην εργασία. Η αρίθμηση των κόμβων, των δοκών, των στύλων και των κάθετων χιαστί συνδέσμων ξεκινάει από το επίπεδο του δαπέδου του ισογείου.

ΕΠΙΠΕΔΟ	ΑΡΙΘΜΗΣΗ
Δάπεδο ισογείου	Από 1 έως 12
Οροφή ισογείου	Από 101 έως 112
Κορφιάς	Από 201 έως 206

**Πίνακας23:**Κόμβοι.

ΕΠΙΠΕΔΟ	ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΟΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ	ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΟΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ψ
Δάπεδο ισογείου	Από 1 έως 10	Από 11 έως 16
Οροφή ισογείου	Από 101 έως 110	Από 2001 έως 2012
Κορφιάς	Από 201 έως 205	

**Πίνακας 24:**Δοκοί.

ΕΠΙΠΕΔΟ	ΑΡΙΘΜΗΣΗ
Στύλοι ισογείου	Από 1001 έως 1012

**Πίνακας 25:** Στύλοι.



ΕΠΙΠΕΔΟ	ΑΡΙΘΜΗΣΗ
Χιαστί σύνδεσμοί ισογείου	Από 10001 έως 10008

**Πίνακας 26:**Κάθετα χιαστί συνδέσμων.

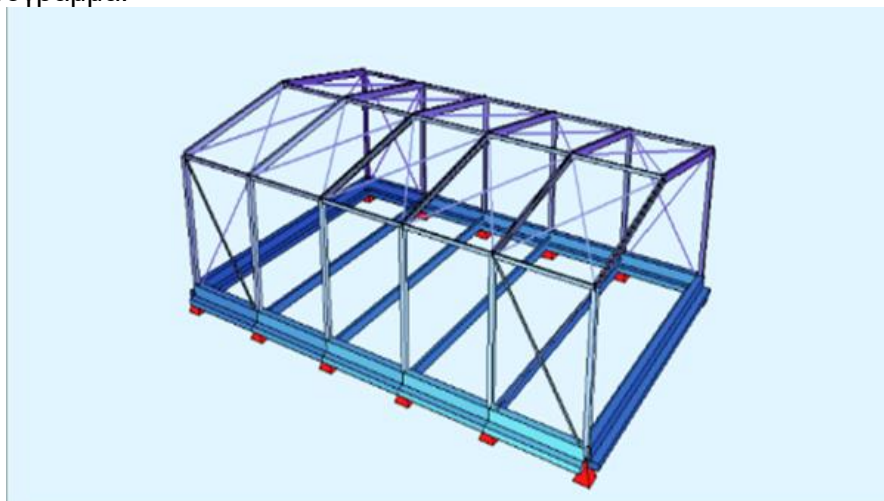
Ενώ η αρίθμηση των οριζόντιων χιαστί συνδέσεων, που εξασφαλίζουν την διαφραγματική λειτουργία ορόφων, ξεκινάει από το επίπεδο οροφής ισογείου.

ΕΠΙΠΕΔΟ	ΑΡΙΘΜΗΣΗ
Χιαστί σύνδεσμοί οροφής ισογείου	Από 20001 έως 20020

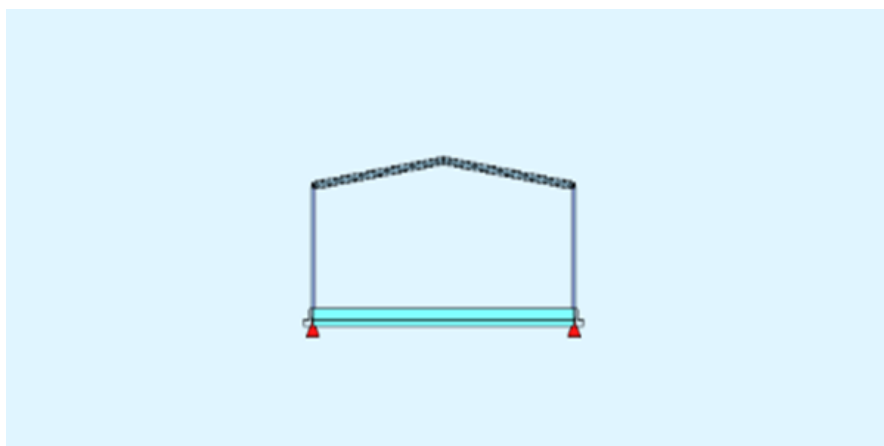
**Πίνακας 27:**Οριζόντια χιαστί συνδέσμων.

Αφού προηγήθηκαν οι παραπάνω υπολογισμοί στις υπορουτίνες έπειτα διαμορφώθηκε και ο φορέας. Αναφέρεται ότι βασικό χαρακτηριστικό της κατασκευής είναι οι κάθετοι χιαστί σύνδεσμοι στις γωνίες, σκοπός των οποίων είναι να παραλαμβάνουν και να μεταφέρουν στο έδαφος τα οριζόντια φορτία της κατασκευής. Αναφέρεται επίσης ότι στην οροφή της κατασκευής έχουν τοποθετηθεί οριζόντιοι χιαστοί σύνδεσμοι για να εξασφαλίσουν όπως αναφέρθηκε και παραπάνω την διαφραγματική λειτουργία της κατασκευής.

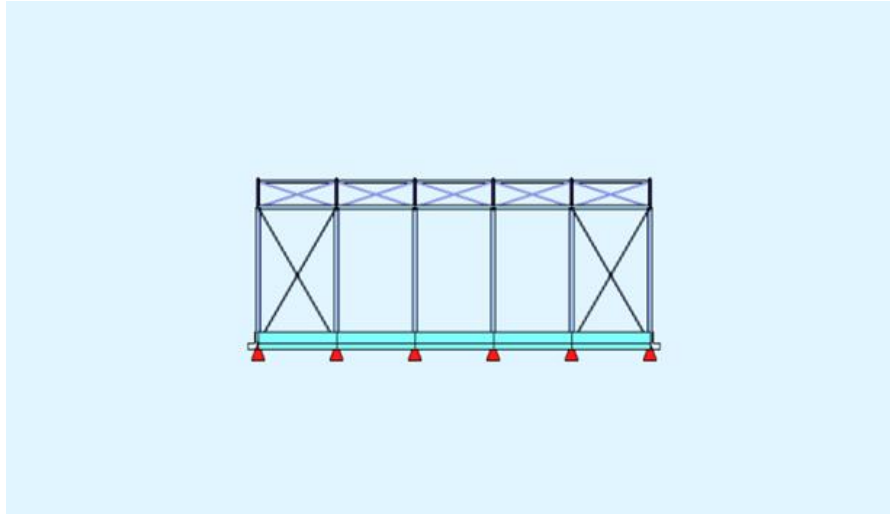
Ακολουθούν οι βασικές όψεις του κτηρίου που είναι σχεδιασμένες από τους μελετητές σύμφωνα με το πρόγραμμα.



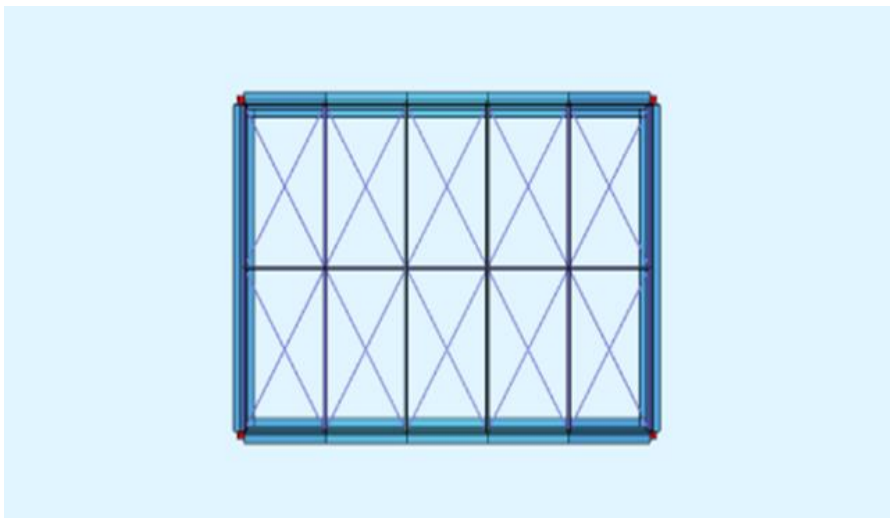
**Σχήμα 9.1:** Προοπτική απεικόνιση του μεταλλικού κτηρίου



**Σχήμα 9.2:** Όψη πλαισίου κατά τον άξονα Χ.



**Σχήμα 9.3:** Όψη πλαισίου κατά τον άξονα Ψ.



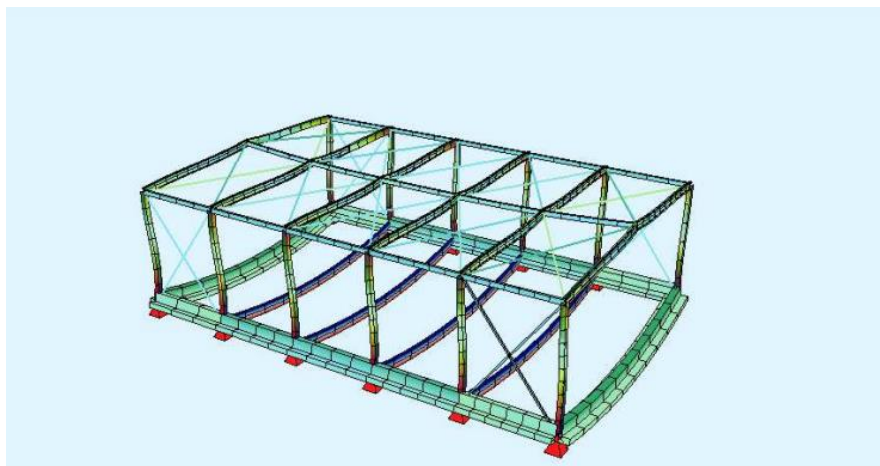
**Σχήμα 9.4:** Κάτοψη πλαισίου.

## 9.2 Φορτία στην κατασκευή

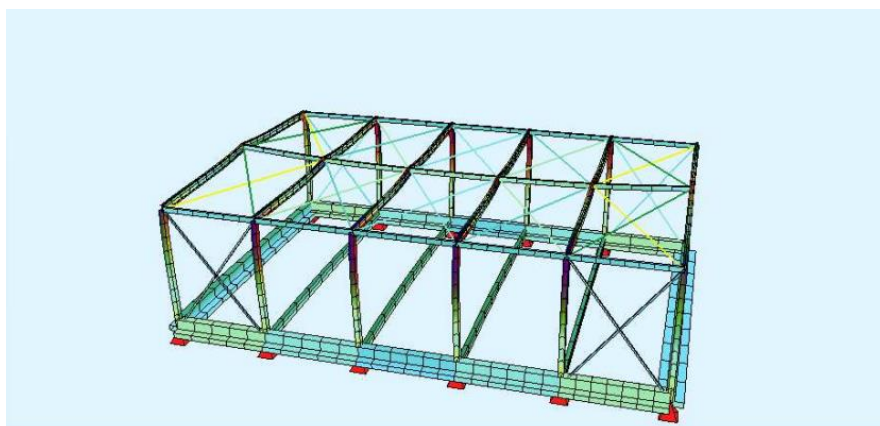
Στο κεφάλαιο τρία (3) της εργασίας που σχολιάζετε γίνεται ανάλυση στα φορτία που ασκούνται στη κατασκευή, παρόμοιο κεφάλαιο με αναφορά αλλά και ανάλυση υπάρχει και στη παρούσα πτυχιακή εργασία. Στο παρακάτω κομμάτι, θα ερευνηθεί και θα παρουσιαστεί η χρήση των φορτίων και η πρακτικότητά τους με την εισαγωγή δεδομένων και πράξεων.

Η εισαγωγή των δεδομένων για τα κινητά και τα ακίνητα φορτία που υπάρχουν στη παρούσα μεταλλική κατασκευή, έγινε με χρήση της υπορουτίνας STAR2. Πιο συγκεκριμένα εισάχθηκαν, τα είδη, οι τιμές των φορτίσεων και τα στοιχεία, όπου ασκούνται και έπειτα έγινε ανάλυση. Σε αυτή την υπορουτίνα χρησιμοποιείται η θεωρία ανάλυσης 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης και εφαρμόζονται όλα τα στατικά φορτία στην κατασκευή.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, εκτιμήθηκε σύμφωνα με τις διατομές και τις διαστάσεις πως μόνιμο φορτίο κατασκευής είναι  $0,35 \text{ kN/m}^2$ . Αντιθέτως, με βάση το σκοπό λειτουργίας της κατασκευής τα κινητά φορτία ορόφων υπολογίστηκαν και είναι  $0,50 \text{ kN/m}^2$ .



**Σχήμα 9.5:** Απεικόνιση σχήματος με παραμόρφωση από μόνιμα φορτία όπως αυτή υλοποιήθηκε στο πρόγραμμα SOFISTIK.



**Σχήμα 9.6:** Απεικόνιση σχήματος με παραμόρφωση από κινητά φορτία όπως αυτή υλοποιήθηκε στο πρόγραμμα SOFISTIK.

Τα υπόλοιπα φορτία που ασκούνται στη κατασκευή και ορίζονται ως εξωτερικές δυνάμεις είναι το χιόνι, η ανεμοπίεση και οι σεισμικές δυνάμεις. Τα φορτία χιονιού που ασκούνται στη κατασκευή υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό. Το βάρος του χιονιού υπολογίζεται ανάλογα τις τοπικές συνθήκες σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί.

$\alpha=$	$0^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$60^\circ$
$P_s=$	125h	125h	90h	60h	60h

**Πίνακας 28:** Βάρος χιονιού συναρτήσει της γωνίας  $\alpha$  και του  $h$ .

$\alpha=$  Γωνία της στέγης ως προς τον ορίζοντα.

$P_s=$  Βάρος χιονιού σε kg. Ανά  $m^2$  οριζόντιας προβολής της στέγης.

$h=$  Συμβολίζει το μέγιστο πάχος σε μέτρα του στρώματος τους χιονιού που ορίζονται σε ελεύθερη επιφάνεια. Ενδιάμεσες τιμές παρεμβάλλονται γραμμικώς. Σε περιπτώσεις που το  $h$  δεν είναι γνωστό παίρνεται η τιμή 0,50m. Σε διαφορετική περίπτωση όπου οι κατασκευές γίνονται σε μέρη που επικρατούν δυσμενείς καιρικές συνθήκες η τιμή αυξάνεται αναλογικά. Εάν η στέγη του εκάστοτε κτιρίου προκαλεί αυξημένη συσσώρευση χιονιού, τοπικά τότε πάλι η τιμή αυξάνεται. Στις πράξεις για τον υπολογισμό του χιονιού είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψιν αν η φόρτιση της στέγης λόγω χιονιού είναι κανονική ή μονόπλευρη.

Στην συγκεκριμένη εργασία το πάχος του χιονιού είναι 0,5m και η κλίση της στέγης τους  $8,53^\circ$

Άρα:  $S_{i,a_i} = \mu_i * C_e * C_t * S_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,80 = 0,65 \text{ kN/m}^2$

$\mu_1, \alpha_1 = \mu_1, \alpha_2 = \mu_2, \alpha_1 = \mu_2, \alpha_2 = 0,8$

Το  $S = 1,0 \text{ kN/m}^2$  με βάση τα δεδομένα της κατασκευής.

Η επόμενη εξωτερική δύναμη που αναλύεται διεξοδικά στη εργασία είναι ο άνεμος, πιο συγκεκριμένα τα φορτία του ανέμου. Ο υπολογισμός τους γίνεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα πράγμα που αναφέρεται αναλυτικά μέσα στην εργασία. Επιπροσθέτως αναγράφονται γενικές πληροφορίες και γίνεται αναφορά στις πιέσεις και στις δυνάμεις που ασκούνται λόγω της συγκεκριμένης εξωτερικής δύναμης καθώς και στους συντελεστές. Στο κεφάλαιο 5 παράγραφος 5.4 αυτής της πτυχιακής υπάρχουν εμπειριστατωμένες πληροφορίες για τους συντελεστές.

Τα φορτία και οι πιέσεις του ανέμου υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον Ελληνικό κανονισμό. Η πίεση  $W_s$  δηλαδή η πίεση του ανέμου λαμβάνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

	$W_{0\chi\gamma}/\mu^2$
Για τμήματα κατασκευών, πλην στεγών μέχρι ύψους $h \leq 15\text{m}$ από το έδαφος	100
Για τμήματα κατασκευών σε ύψος $15h \leq 25\text{m}$ και για στέγες σε ύψος $h \leq 25\text{m}$	125
Για τμήματα κατασκευών και στεγών σε ύψος $25\text{m} \leq h$	150
Για κατασκευές με μικρή προσβαλλόμενη επιφάνεια (δικτυώματα, ικριώματα κτλ)	150

**Πίνακας 29:** Πίεση ανέμου σε  $\text{kg/m}^2$

Το επόμενο βήμα που έχει ακολουθηθεί για την εκπόνηση της εργασίας είναι ο υπολογισμός των πιέσεων που ασκούνται στη κατασκευή. Ειδικότερα, αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1.

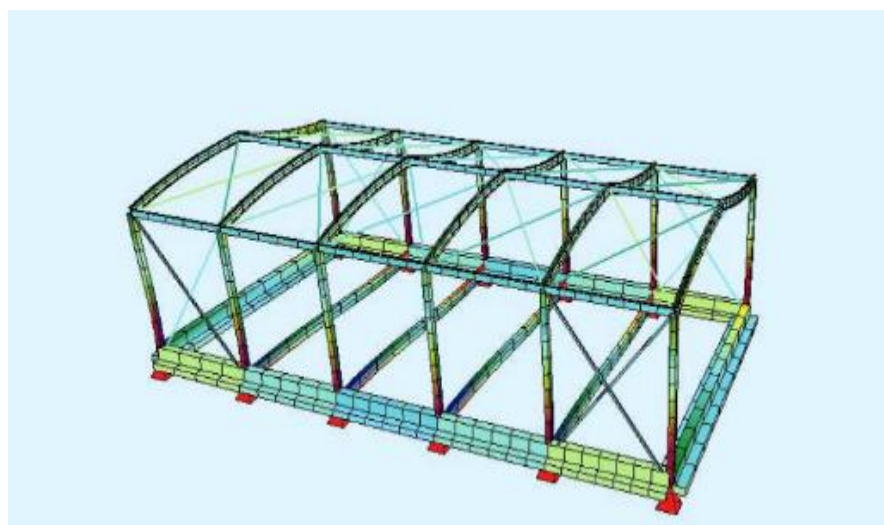
Για την συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή ισχύουν τα παρακάτω δεδομένα:

α. Ταχύτητα αναφοράς ανέμου:  $V_{ref} = 33 \text{ m/s}$

β. Κατηγορία εδάφους: B

γ. Συντελεστής ανάγλυφου:  $c_t = 1,0$

ελήφθη ως  $S = 1,25 \text{ kN/m}^2$



**Σχήμα 9.7:**

Απεικόνιση σχήματος με παραμόρφωση από φορτία ανέμου όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στο SOFISTIK.

Στην πτυχιακή που σχολιάζεται γίνεται ανάλυση για τα φορτία που μπορούν να υπάρξουν λόγω κάποιου πιθανού σεισμού, σύμφωνα με στατιστικές μελέτες. Επειδή η ειδικότητα των μελετητών αυτής της εργασίας είναι μηχανολόγοι μηχανικοί, υπάρχει απουσία γνώσεων πάνω σε αυτό το κομμάτι, όπως αιτιολογείται και σε άλλο κεφάλαιο. Για το λόγο αυτό δεν γίνεται περεταίρω αναφορά στο κεφάλαιο 5 που αναλύονται τα συγκεκριμένα φορτία. Ως εκ τούτου θα γίνει μία περιληπτική αναφορά καθώς χαρακτηρίζεται ως ένα σημαντικό κομμάτι για τη μελέτη οποιουδήποτε μεταλλικού κτηρίου και τα δεδομένα θα παρθούν από την ίδια πτυχιακή.

### 9.2.1. Φορτία σεισμού.

Αρχικά ο σεισμός αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο δημιουργείται από ξαφνική απελευθέρωση μηχανικής ενέργειας από το εσωτερικό της γης και έχει ως αποτέλεσμα τα σεισμικά κύματα, τα οποία μεταφέρουν την ενέργεια του σεισμού και προκαλούν ταλαντώσεις και αναταράξεις του εδάφους.

Καθώς ασκείται αυτό το φορτίο, ο φορέας υποβάλλεται σε ανακυκλιζόμενες μετακινήσεις, προερχόμενες από τη μετακίνηση του εδάφους. Με αυτό τον τρόπο κινητοποιεί την ακαμψία και την αντοχή σε κάμψη, σε θλίψη, σε διάτμηση και τα και τα υπόλοιπα φορτία που πλαισιώνουν μια κατασκευή. Από αυτά απορρέει το συμπέρασμα πως ο σεισμός δεν επιβάλλει δυνάμεις πάνω στην κατασκευή αλλά μετακινήσεις εναλλασσόμενης φοράς.

Τα φορτία του σεισμού δεν κατατάσσονται στις άμεσες, αλλά στις έμμεσες δράσεις μίας κατασκευής. Αυτό συμβαίνει διότι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι εσωτερικές αντιδράσεις στις αδρανειακές δυνάμεις που γεννιούνται λόγω των εξωτερικών επιβαλλόμενων παραμορφώσεων.

#### ➤ Μέθοδοι υπολογισμού φορτίου

Με βάση τον ΕΑΚ προβλέπονται δύο μέθοδοι γραμμικού υπολογισμού της σεισμικής απόκρισης:

α. Η Δυναμική Φασματική Μέθοδος.

β. Η Ισοδύναμη Στατική Μέθοδος (Απλοποιημένη Φασματική Μέθοδος).

Η Δυναμική Φασματική Μέθοδος είναι γενικής εφαρμογής και μεγαλύτερης ακρίβειας από την Ισοδύναμη Στατική. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία προτιμήθηκε η Δυναμική Φασματική Μέθοδος διότι η κατασκευή εξετάστηκε ως χωρικό και όχι ως επίπεδο μοντέλο.

Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε και καταγράφηκε από τους μελετητές, προτιμήθηκε η δυναμική φασματική μέθοδος διότι υπάρχει δυνατότητα να εφαρμόζεται χωρίς περιορισμούς σε όλες τις περιπτώσεις κατασκευών που καλύπτει ο ΕΑΚ200.

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι πιθανές ακραίες τιμές τυχόντος μεγέθους απόκρισης με τετραγωνική επαλληλία των ιδιομορφικών τιμών του υπόψη μεγέθους. Κατά την εφαρμογή της αρκεί η θεώρηση ενός μόνο προσανατολισμού των δύο οριζόντιων (και κάθετων μεταξύ τους) συνιστωσών του σεισμού.

Στην εργασία γίνεται ο προσδιορισμός σεισμού σχεδιασμού με βάση ΕΑΚ2000 το οποίο όπως προαναφέρθηκε δεν αφορά το κομμάτι του Μηχανολόγου Μηχανικού επομένως θα γίνει αναφορά παρακάτω των τιμών που λήφθηκαν με βάση τους υπολογισμούς τους.

Τα δεδομένα που θα βρεθούν θα αντικατασταθούν στις παρακάτω σχέσεις:

$$0 \leq T < T_1 \Rightarrow d(T) = A \cdot \gamma_1 \left[ 1 + \frac{T}{T_1} * \left( \frac{\theta}{q} * \beta_0 - 1 \right) \right]$$

$$T_1 \leq T \leq T_2 \rightarrow \Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\theta}{q} \cdot \beta_0$$

$$T_2 < T \rightarrow \Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\theta}{q} \cdot \beta_0 \cdot (T_2/T)^{2/3}$$

Όπου:

A: μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους.

Ισχύει  $A = a \cdot g$ , όπου  $a$  είναι η εδαφική επιτάχυνση (πίνακα 24) ανοιγμένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας.

$\gamma_1$ : είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας του δομήματος. (πίνακα 25)

$q$ : συντελεστής συμπεριφοράς ή πλαστικότητα.

$\theta$ : συντελεστής επιρροής θεμελίωσης και εξαρτάται από το βάθος και τη δυσκαμψία της θεμελίωσης.

Ο συντελεστής  $\theta$  σε εδάφη κατηγορίας A και B παίρνει τιμή 1.0, ενώ σε εδάφη κατηγορίας Γ και Δ μπορεί να λάβει τις τιμές που δίνονται στον (πίνακα 26), πρέπει όμως να ισχύει τουλάχιστον μια από τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν σε αυτόν κι εφόσον η προκύπτουσα φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού δεν είναι μικρότερη από εκείνη που θα προκύπτει για έδαφος κατηγορίας B.

$T_1$  και  $T_2$ : χαρακτηριστικές περίοδοι του φάσματος σχεδιασμού και ορίζονται ανάλογα με τη σεισμική επικινδυνότητα του εδάφους θεμελίωσης. (πίνακα 22)

- Εάν  $T < T_1$  τότε η κατασκευή θεωρείται δύσκαμπτη, διότι  $T \sim 1/K$
- Ενώ εάν  $T > T_2$  τότε η κατασκευή θεωρείται εύκαμπτη.

$\beta_0$ : συντελεστής φασματικής επιτάχυνσης και είναι ίσο με 2.5 (σύμφωνα με τα δεδομένα της πτυχιακής).

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες οι οποίοι χρειάζονται για την εύρεση κάποιων δεδομένων.

Κατηγορία εδάφους	A	B	Γ	Δ
$T_1$	0,1	0,15	0,20	0,20
$T_2$	0,4	0,6	0,8	1,20

**Πίνακας 30:** Τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων  $T_1, T_2$  (sec).

Κατηγορία εδάφους	Περιγραφή
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργυλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους έως 70m
B	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανικής άποψης μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστικότητας ( $I_p > 50$ ) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10m.

**Πίνακας 31:** Κατηγορίες εδάφους.

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας	I	II	III
α	0,16	0,24	0,36

**Πίνακας 32:** Εδαφική επιτάχυνση ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας.

Κατηγορία σπουδαιότητας		Υ <sub>1</sub>
Σ <sub>1</sub>	Κτήρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα (υπόστεγα, στάβλοι, κ.λ.π.).	<b>0,85</b>
Σ <sub>2</sub>	Συνήθη κτήρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτήρια, ξενοδοχεία, κ.λ.π.	<b>1,00</b>
Σ <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Εκπαιδευτικά κτήρια, κτήρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτήρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά τη διάρκεια του 24ώρου.</li> <li>Κτήρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής αξίας (π.χ. κτήρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες, κ.λ.π.).</li> </ul>	<b>1,15</b>
Σ <sub>4</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Κτήρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτήρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτήρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών.</li> <li>Κτήρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία, κ.λ.π.).</li> </ul>	<b>1,30</b>

**Πίνακας 33:** Συντελεστές σπουδαιότητας κτηρίων.

Προϋποθέσεις		θ
1.1	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο.	0,90
1.2	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση.	
1.3	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς συνδέσεως στην κεφαλής	
2.1	Το κτίριο διαθέτει τουλάχιστον δύο υπόγεια.	0,80
2.2	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση.	
2.3	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους).	
Παρατήρηση:	Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά στοιχεία έτσι ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.	

**Πίνακας 34:** Συντελεστής θεμελίωσης θ.

Οπλισμένο σκυρόδεμα		
Δομικό σύστημα		q
α.	Πλαίσια ή μικτά συστήματα.	3,5
β.	Φορείς αποτελούμενοι μόνο από τοιχώματα που λειτουργούν σαν πρόβολοι.	3,0
γ.	Φορείς οι οποίοι συνίστανται ουσιαστικώς από ένα πρόβολο και άνω του 50% της συνολικής μάζας του δομήματος είναι συγκεντρωμένο στο ανώτερο 1/3 του ύψους του δομήματος.	2,0
Οι παρακάτω τιμές των αφορούν κυρίως μονολιθικές κατασκευές		
Τοιχοποιίες		
Δομικό σύστημα		q
α.	Τοιχοποιία με οριζόντια διαζώματα.	1,5
β.	Τοιχοποιία με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα.	2,0
γ.	Τοιχοποιία οπλισμένη (κατακόρυφως και οριζοντίως).	2,5
Χάλυβας		
Δομικό σύστημα		q
α.	Πλαίσια.	4,0
β.	Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα.	
β.1	Δικτυωτοί σύνδεσμοι.	3,0
β.2	Σύνδεσμοι τύπου V ή Λ.	1,5
β.3	Σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπονται).	1,0

γ.	Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα.	4,0
----	--------------------------------------	-----

**Πίνακας 35:** Μέγιστες τιμές συντελεστών σεισμικής συμπεριφοράς q.

Είδος κατασκευής	ζ%
Μεταλλική: με συγκολλήσεις	2
με κοχλιώσεις	4
Σκυρόδεμα: άοπλο	3
οπλισμένο	5
προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία: οπλισμένη	6
Διαζωματική	5
Ξύλινη: κολλητή	4
κοχλιωτή	4
ηλωτή	5

**Πίνακας 36:** Τιμές ποσοστού απόσβεσης.

- Στο κτήριο επιλέχθηκε συντελεστής συμπεριφοράς  $q=1,50$ , πραγματοποιήθηκε δηλαδή ελαστικός σχεδιασμός.
- Το υπό μελέτη κτίριο βρίσκεται στην Ζώνη II επομένως προκύπτει σεισμική επιτάχυνση εδάφους  $A= a \cdot g=0.24g$ .
- Το έδαφος στο οποίο θεμελιώθηκε είναι κατηγορίας B και με βάση το πίνακα 25 προκύπτει:  $T1=0,15 \text{ sec}$  και  $T2=0,60 \text{ sec}$ .
- Η κατηγορία σπουδαιότητας επιλέχθηκε  $\Sigma 2$  άρα συντελεστής (από πίνακα 28):  $\gamma_1=1,00$ .
- Ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης  $\beta_0=2,5$  και ο συντελεστής θεμελίωσης  $\theta=1$  αφού έχουμε κατηγορία εδάφους B.
- Τέλος από τον πίνακα 31 για μεταλλική κατασκευή με συγκολλήσεις προκύπτει  $\zeta=2\%$ , άρα ο διορθωτικός συντελεστής είναι:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{\zeta}} + 2 = \sqrt{\frac{7}{2}} + 2 = 1,32 \geq 0,7$$

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα θα προκύψουν οι ακόλουθες τιμές:

$$0 \leq T < 0,15 \text{ sec} \Rightarrow \Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \left[ 1 + \frac{T}{T_1} \cdot \left( \frac{\theta}{q} \cdot \beta_0 - 1 \right) \right] = 2,4 + 36,72 \cdot T$$

$$0,15 \text{ sec} \leq T \leq 0,60 \text{ sec} \Rightarrow \Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\theta}{q} \cdot \beta_0 = 7,92$$

$$0,60 \text{ sec} < T \Rightarrow \Phi_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \frac{\theta}{q} \cdot \beta_0 \cdot (T_2/T)^{2/3} = 5,634/T^{2/3}$$

### 9.2.2. Δυναμική ανάλυση

Η δυναμική ανάλυση του κτηρίου έγινε με την χρήση του υποπρογράμματος DYNA του SOFISTIK το οποίο προσφέρει δυνατότητες παραμετροποίησης και διεκπεραίωσης δυναμικής ανάλυσης με φάσμα ή χρονοιστορίες .

Ο τρόπος λειτουργίας του DYNA έχει ως εξής:

1. Μετατρέπει αυτόματα τα ίδια βάρη του φορέα σε επικόμβιες μάζες
2. Ενώ οι κατακόρυφες δράσεις εισάγονται ως επικόμβιες μάζες.

Για να επιτευχθεί αυτό πραγματοποιήθηκε αρχικά μια ξεχωριστή ανάλυση στην υπορουτίνα STAR2 μόνο με τα μόνιμα και κινητά φορτία του συγκεκριμένου κτηρίου σε σεισμικό συνδυασμό  $G+0,3 \cdot S+0,5 \cdot C$ .

Στην παρούσα εργασία που σχολιάζεται μετατράπηκαν τα κατακόρυφα φορτία σε επικόμβιες δράσεις PZ και διαιρέθηκαν με την επιτάχυνση της βαρύτητας  $g=9,81 \text{ m/sec}^2$ . Σκοπός αυτού είναι να ομογενοποιηθούν και να εισαχθούν ως επικόμβιες μεταφορικές



μάζες κατά τις τρεις διευθύνσεις τους MX, MY, MZ του χωρικού μοντέλου στο DYNA για κάθε κόμβο που δεν στηρίζεται. Οι παράμετροι του φάσματος σχεδιασμού του EAK μπορούν να καθοριστούν μέσω της υπορουτίνας DYNA του SOFISTIK.

### 9.2.3. Ιδιομορφές κτηρίου και ιδιομορφικές μάζες

Μέσω της δυναμικής ανάλυσης λήφθηκαν οι ιδιομορφές του κτηρίου υπό αύξουσα σειρά σύμφωνα με την τιμή της ιδιοσυχνότητας. Οι ιδιομορφές εξαρτώνται από το μητρώο μάζας(m) και το μητρώο ακαμψίας(K) ενώ δεν εξαρτώνται από τις φορτίσεις.

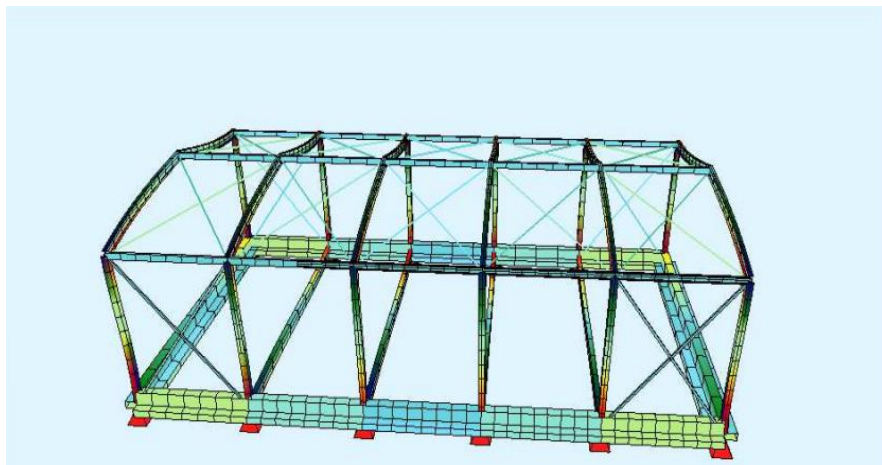
Ένας αριθμός ιδιομορφών, κατά τη σεισμική διέγερση κάθε συνιστώσας, λαμβάνεται υπόψη μέχρι το άθροισμά των δρώσων ιδιομορφικών μαζών ΣΜ φθάσει στο 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας M του συστήματος (EAK2000).

Συνολική ταλαντούμενη μάζα ορίζεται η μάζα άνωθεν της διεπιφάνειας κατασκευής εδάφους, ενώ σε κτήρια με υπόγειο η διεπιφάνεια αυτή λαμβάνεται από την οροφή του υπογείου. Επιπλέον να αναφερθεί πώς ελεύθερη μετατόπιση υφίσταται κατά την θεωρούμενη διεύθυνση υπολογισμού.

Δρώσα ιδιομορφική μάζα ορίζεται το μέρος της συνολικής ταλαντούμενης μάζας που ενεργοποιείται για κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης. Οι ιδιομορφες με  $T \geq 20,0\text{sec}$  λαμβάνονται πάντα υπόψη.

Στην παρούσα εργασία οι ιδιομορφικές μάζες προσδιορίστηκαν με επάλληλες δοκιμές, αυξάνοντας τον αριθμό των απαιτούμενων ιδιομορφών με ταυτόχρονη χρήση της υπορουτίνας DYNA. Συμπερασματικά το ποσοστό των ιδιομορφικών μαζών ξεπερνάει τον 90% για τον απαιτούμενο αριθμό ιδιομορφών.

Η πρώτη ιδιομορφή έχει και την μικρότερη ιδιοσυχνότητα  $\omega=12,64\text{ rad/sec}$ .



**Σχήμα 9.8:** Απεικόνιση σχήματος με την μικρότερη ιδιοσυχνότητα.

Υπολογισμός δρώσων μαζών:

- Επίλυση στο SOFISTIK.
- Λήψη των συντελεστών  $R*V*Factor$ .
- Υπολογισμών των τετραγώνων τους.
- Υπολογισμός της συνολικής δρώσας μεταφορικής μάζας η οποία λήφθηκε και αυτή από το SOFISTIK.
- Έπειτα έγινε εύρεση του ποσοστού συμμετοχής κάθε ιδιομορφής επί της συνολικής δρώσας μάζας και υπολογίστηκε το ποσοστό επί της συνολικής δρώσας μάζας.
- Τέλος υπολογίστηκε το συνολικό ποσοστό.

Χρειάστηκαν 16 ιδιομορφες για λήψη ποσοστού άνω του 90% της δρώσας ιδιομορφικής μάζας, με την μεγαλύτερη να έχει συχνότητα 1,342 Hertz.



**Σχήμα 9.9:** Απεικόνιση σχήματος με την μεγαλύτερη συχνότητα.

#### 9.2.4. Συνδυασμοί φορτίσεων

Ο συνδυασμός των φορτίσεων που καταπονούν την κατασκευή έγινε με την χρήση της υπορουτίνας MAXIMA, μέσω της οποίας κατασκευάστηκε και η περιβάλλουσα για τον συνδυασμό στατικών και σεισμικών φορτίσεων. Με τον τρόπο αυτόν προσδιορίστηκαν τα δυσμενέστερα εντατικά και παραμορφωτικά μεγέθη.

Για να κατασκευαστεί το κτήριο πρέπει να πληροί τα παρακάτω:

- α. Ακόμα και με το πέρασμα του χρόνου να συνεχίζει να είναι κατάλληλο για την αρχική του χρήση.
- β. Να μπορεί να αντέξει και να διαχειριστεί τις δράσεις από εξωτερικούς παράγοντες ή τις επιδράσεις από το περιβάλλον που ίσως κληθεί να αντιμετωπίσει καθ' όλη τη διάρκεια της ανέγερσης και της χρήσης του.
- γ. Να αποφευχθεί ο κίνδυνος μεγάλων και ανεπανόρθωτων βλαβών που υπάρχει περίπτωση να συμβούν από γεγονότα όπως εκρήξεις, προσκρούσεις, ή ακόμα και ανθρώπινα λάθη. Για να αποφευχθούν τέτοιου είδους λάθη καλό θα ήταν να παρθούν οι κατάλληλες προδιαγραφές όπως προφυλακτικά μέτρα και επιλογή κατάλληλο δομικού συστήματος. Καλό είναι να σημειωθεί ότι με τα παραπάνω δεν αποφεύγεται εντελώς ο κίνδυνος απλά μειώνονται οι πιθανότητες κάποιου ατυχήματος.

#### 9.2.5. Οριακές καταστάσεις.

Οι οριακές καταστάσεις αναλύονται εκτενέστερα στην παράγραφο 6.2, παρακάτω ακολουθούν οι συνδυασμοί φορτίσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση:

1) ΟΚΑ – Δυσμενής συνδυασμός

Κινητά βασικός:  $1,35G + 1,50Q \pm 0,90W_x \pm 0,90W_y + 0,90S$

Άνεμος κατά x βασικός:  $1,35G \pm 1,50W_x + 0,90Q \pm 0,90W_y + 0,90S$

Άνεμος κατά y βασικός:  $1,35G \pm 1,50W_y + 0,90Q \pm 0,90W_x + 0,90S$

2) ΟΚΑ – Ευμενής συνδυασμός ( κατασκευή υπό ανέγερση)

Η επίλυση έγινε μόνο με μόνιμα φορτία,  $1,00G$

3) Σεισμικοί συνδυασμοί

Σεισμός κατά x βασικός:  $1,00G + 0,50 Q \pm E_x \pm 0,30E_y \pm 0,30E_z$

Σεισμός κατά y βασικός:  $1,00G + 0,50 Q \pm E_y \pm 0,30 E_x \pm 0,30E_z$

Σεισμός κατά z βασικός:  $1,00G + 0,50 Q \pm 0,70 E_z \pm 0,30E_y \pm 0,30E_z$

### 9.2.6. Περιβάλλουσα εντατικών μεγεθών

Μέσω της υπορουτίνας MAXIMA βρέθηκαν τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη των συνδυασμών και αυτών που προέκυψαν από την επαλληλία τους(περιβάλλουσα στατικών και σεισμικών φορτίσεων) και έχουν ως εξής:

Περιβάλλουσα των εντατικών μεγεθών:

- Των μελών λόγω στατικών φορτίων βρίσκονται στα Load Cases από 51 έως 62.
- Των συνδέσμων στα Load Cases από 63 έως 64.
- Των μελών λόγω σεισμικών φορτίων βρίσκονται στα Load cases από 51 έως 62.
- Των συνδέσμων στα Load Cases από 63 έως 64.

Τα αποτελέσματα της επαλληλίας των στατικών και σεισμικών φορτίων

- Των μελών βρίσκονται στα Load Cases από 51 έως 62.
- Των συνδέσμων στα Load Cases από 63 έως 64.

### 9.2.7. Υποπρόγραμμα DBview

Με το υποπρόγραμμα DBview βρέθηκαν οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές της επαλληλίας των στατικών και σεισμικών φορτίων παρακάτω παρατίθεται το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α στο οποίο παρουσιάζονται αναλυτικότερα. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο στοιχείων του φορέα.

### 9.2.8. Υποπρόγραμμα AQB

Με το παρών υποπρόγραμμα βρέθηκαν οι διατομές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρακάτω παρατίθεται το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β στο οποίο παρουσιάζονται αναλυτικά όλοι οι δοκοί με δομικό υλικό το οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ παρατίθενται και οι απαιτήσεις οπλισμού αυτών.

## 9.3 Συνδυασμοί φορτίσεων

Όπως έγινε γνωστό κι από τα παραπάνω κεφάλαια, το πρόγραμμα με το οποίο υπολογίστηκαν τα περισσότερα κομμάτια της πτυχιακής που αναλύεται είναι το SOFISTIK 2003 και ορίζεται ως το κύριο πρόγραμμα για τα στοιχεία του φορέα αλλά και των άλλων μελών του μεταλλικού στεγαστρου. Αναφέρεται ως κύριο διότι όπως επίσης αναγράφεται υπάρχουν κι άλλα υποπρογράμματα που βοηθούν να επιλύονται άλλα μέρη της κατασκευής.

### 9.3.1. Έλεγχοι σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

Στον ακόλουθο πίνακα ύστερα από ανάλυση πάρθηκαν σύμφωνα με τους μελετητές της εργασίας οι ονομαστικές τιμές πάχους, αντοχής διαρροής και οριακής εφελκυστικής αντοχής. Αυτές επιλέχθηκαν μόνο για εν θερμώ ελατούς χάλυβες.

Πρότυπο και ποιότητα χάλυβα.	Ονομαστικό πάχος του στοιχείου t(mm)			
	t≤40mm		40mm≤t≤80mm	
	F <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>y</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	F <sub>u</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360

**Πίνακας 37:** F<sub>y</sub>=Ονομαστική τιμή αντοχής διαρροής και F<sub>u</sub>=Ονομαστική τιμή οριακής εφελκυστικής αντοχής.

#### 9.3.1.1 Τιμές σχεδιασμού για τους συντελεστές του υλικού.

Για τους δομικούς χάλυβες σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα οι συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς της εργασίας είναι οι εξής:

- Μέτρο ελαστικότητας E=210.000 N/mm<sup>2</sup>

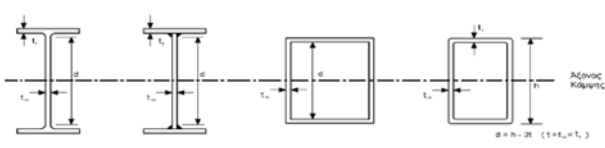
- Μέτρο διάτμησης  $G = \frac{E}{2*(1+\nu)} \approx 81.000 \text{ N/mm}^2$
- Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή  $\nu = 0,3$
- Συντελεστής (N/mm<sup>2</sup>)  $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

### 9.3.1.2 Κατάταξη διατομών

Η κατάταξη των διατομών είναι ένα σημαντικό κομμάτι στις κατασκευές. Πιο αναλυτικά, είναι βασικό να υπάρχει επίγνωση ως προς το εύρος όπου περιορίζεται η αντοχή και η ικανότητα στροφής των διατομών βάση της αντοχής τους σε τοπικό λυγισμό. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες διατομών που αναλύονται παρακάτω.

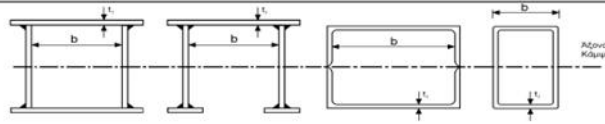
1. **Διατομές 1<sup>ης</sup> κατηγορίας:** Οι διατομές αυτής της κατηγορίας έχουν την δυνατότητα βάση της πλαστικής ανάλυσής τους να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση χωρίς να μειωθεί η αντοχή τους.
2. **Διατομές 2<sup>ης</sup> κατηγορίας:** Αυτές λόγω του τοπικού λυγισμού δεν έχουν απεριόριστη δυνατότητα στροφής, παρόλα αυτά μπορούν να σχηματίσουν την πλαστική ροπή αντοχής τους.
3. **Διατομές 3<sup>ης</sup> κατηγορίας:** Σε αυτές τις διατομές θεωρώντας ότι υπάρχει ελαστική κατανομή των τάσεων, η τάση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χαλύβδινου κομματιού μπορεί να γίνει ίση με την αντοχή διαρροής του. Όμως, ο τοπικός λυγισμός μπορεί να περιορίσει την δημιουργία της πλαστικής ροπής αντοχής.
4. **Διατομές 4<sup>ης</sup> κατηγορίας:** Ο τοπικός λυγισμός έχει την δυνατότητα να παραχθεί πριν τη δημιουργία της τάσης διαρροής σε ένα ή περισσότερα κομμάτια της διατομής.

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες κατάταξης πέλματος και κορμού που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή και αποτέλεσαν βασικά στοιχεία για την επίλυση των ελέγχων και των γενικών πράξεων που έχουν πραγματοποιηθεί παρακάτω.



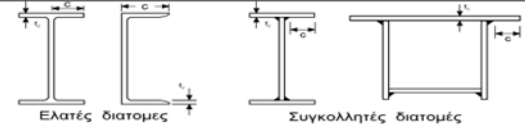
Κατηγορία	Κορμός καμπτόμενος	Κορμός θλιβόμενος	Κορμός υπό θλίψη και κάμψη
Κατανομή τάσεων (+θλίψη)			
1	$\frac{d}{t_w} \leq 72\epsilon$	$\frac{d}{t_w} \leq 33\epsilon$	όταν $\alpha > 0.5$ : $\frac{d}{t_w} \leq \frac{396\epsilon}{(13\alpha - 1)}$ όταν $\alpha \leq 0.5$ : $\frac{d}{t_w} \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$
2	$\frac{d}{t_w} \leq 83\epsilon$	$\frac{d}{t_w} \leq 38\epsilon$	όταν $\alpha > 0.5$ : $\frac{d}{t_w} \leq \frac{456\epsilon}{(13\alpha - 1)}$ όταν $\alpha \leq 0.5$ : $\frac{d}{t_w} \leq \frac{41.5\epsilon}{\alpha}$
Κατανομή τάσεων			
3	$\frac{d}{t_w} \leq 124\epsilon$	$\frac{d}{t_w} \leq 42\epsilon$	όταν $\psi > -1.0$ : $\frac{d}{t_w} \leq \frac{42\epsilon}{(0.67 + 0.33\psi)}$ όταν $\psi \leq -1.0$ : $\frac{d}{t_w} \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$f_y \rightarrow \text{N/mm}^2$	Fe 360 235	Fe 430 275
	$\epsilon$	1	0.92
		Fe 510 355	0.81

**Πίνακας 38:** Κορμοί δοκών (εσωτερικά μέλη διατομών κάθετα ως προς τον άξονα κάμψης).



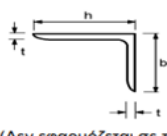
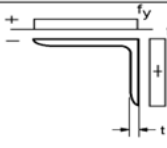
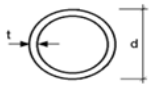
Κατηγορία	Τύπος διατομής	Καμπτόμενη διατομή	Θλιβόμενη διατομή	
Κατανομή τάσεων στο εξεταζόμενο μέλος και καθ' ύψος της διατομής				
1	Ελατές και κοίλες διατομές	$\left(\frac{b-3t_f}{t_f}\right) \leq 33\epsilon$	$\left(\frac{b-3t_f}{t_f}\right) \leq 42\epsilon$	
	Λοιπές διατομές	$\frac{b}{t_f} \leq 33\epsilon$	$\frac{b}{t_f} \leq 42\epsilon$	
2	Ελατές και κοίλες διατομές	$\left(\frac{b-3t_f}{t_f}\right) \leq 38\epsilon$	$\left(\frac{b-3t_f}{t_f}\right) \leq 42\epsilon$	
	Λοιπές διατομές	$\frac{b}{t_f} \leq 38\epsilon$	$\frac{b}{t_f} \leq 42\epsilon$	
Κατανομή τάσεων στο εξεταζόμενο μέλος και καθ' ύψος της διατομής				
3	Ελατές και κοίλες διατομές	$\left(\frac{b-3t_f}{t_f}\right) \leq 42\epsilon$	$\left(\frac{b-3t_f}{t_f}\right) \leq 42\epsilon$	
	Λοιπές διατομές	$\frac{b}{t_f} \leq 42\epsilon$	$\frac{b}{t_f} \leq 42\epsilon$	
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$f_y \rightarrow \text{N/mm}^2$	Fe 360 235	Fe 430 275	Fe 510 355
	$\epsilon$	1	0.92	0.81

**Πίνακας 39:** Εσωτερικά τμήματα πελμάτων (παράλληλα ως προς τον άξονα κάμψης).



Κατηγορία	Τύπος διατομής	Θλιβόμενο μέλος	Μέλος υπό κάμψη και ταυτόχρονη αξονική δύναμη	
			Θλιβόμενο άκρο	Εφελκούμενο άκρο
Κατανομή τάσεων στο εξεταζόμενο μέλος και καθ' ύψος της διατομής				
1	Ελατές	$\frac{c}{t_f} \leq 10\epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Συγκολλητές	$\frac{c}{t_f} \leq 9\epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	Ελατές	$\frac{c}{t_f} \leq 11\epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{11\epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{11\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Συγκολλητές	$\frac{c}{t_f} \leq 10\epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Κατανομή τάσεων στο εξεταζόμενο μέλος και καθ' ύψος της διατομής				
3	Ελατές	$\frac{c}{t_f} \leq 15\epsilon$	$\frac{c}{t_f} \leq 23\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ $\frac{c}{t_f} \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ Για τον υπολογισμό του $k_\sigma$ βλέπε πίνακες (10.14) και (10.15)	
	Συγκολλητές	$\frac{c}{t_f} \leq 14\epsilon$		
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$f_y \rightarrow \text{N/mm}^2$	235	275	355
	$\epsilon$	1	0.92	0.81

**Πίνακας 40:** Τμήμα πελμάτων με ελεύθερο τμήμα.

Γωνιακά Βλέπε και φύλλο 3 'Εξωτερικά πέλματα'	 (Δεν εφαρμόζεται σε περιπτώσεις γωνιακών σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία της κατασκευής)			
Κατηγορία	Θλιβόμενη διατομή			
Κατανομή τάσεων στη διατομή (θετική η θλίψη)				
3	$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$ και $\frac{b+h}{2t} \leq 11.5\varepsilon$			
Κοίλες κυκλικές διατομές				
Κατηγορία	Διατομή καμπτόμενη και/ή θλιβόμενη			
1	$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$			
2	$\frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$			
3	$\frac{d}{t} \leq 90\varepsilon^2$			
$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$f_y \rightarrow \text{N/mm}^2$	Fe 360	Fe 430	Fe 510
	$\varepsilon$	1	0.92	0.81
	$\varepsilon^2$	1	0.85	0.66

**Πίνακας 40:** Τμήμα πελμάτων με ελεύθερο τμήμα.

### 9.3.1.3 Αντοχή διατομών.

#### 1. Αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό.

Σύμφωνα με την πτυχιακή που σχολιάζεται έχουν παρθεί οι παρακάτω τύποι για την εύρεση αντοχής σε εφελκυσμό.

Σε κάθε διατομή η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής δύναμης  $N_{sd}$  πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$\frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

Όπου  $N_{pl,Rd}$  για την πλαστική αντοχή σχεδιασμού της ολικής διατομής ισχύει ο τύπος :

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 ο συντελεστής  $\gamma_{M0} = 1,0$

#### 2. Αντοχή σε λυγισμό.

Για ένα θλιβόμενο μέλος θα πρέπει να ισχύει κατά τον έλεγχο του ο ακόλουθος τύπος:

$$\frac{N_{sd}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Όπου  $N_{sd}$  η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης.

$N_{b,Rd}$  η τιμή της αντοχής του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό.

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

Όπου, ο τύπος ισχύει για διατομές 1,2 και 3 και ο μειωτικός συντελεστής  $\chi$  ισχύει για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού.

#### 3. Αντοχή σε τέμνουσα.

Για κάθε διατομή η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής δύναμης  $V_{sd}$  θα πρέπει να ικανοποιεί τον τύπο:

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

Όμως για απουσία στρέψης, η τιμή της πλαστικής διατμητικής αντοχής  $V_{pl,Rd}$  ικανοποιεί τον τύπο :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου,  $A_v$  είναι η επιφάνεια διάτμησης.

Η επιφάνεια διάτμησης ανάλογα με το είδος της διατομής λαμβάνεται ως εξής :

A. Για ελατές διατομές I και H, με φορτίο παράλληλο στον κορμό χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2t_f)t_f$$

B. Για ελατές διατομές I και H, με φορτίο παράλληλο στα πέλματα είναι ο τύπος :

$$A_v = n \sum h_w t_w$$

C. Για κοίλες κυκλικές διατομές αλλά και σωληνές ομοιόμορφου πάχους ισχύει ότι :

$$\frac{2A}{\pi}$$

Όπου:

A: είναι η επιφάνεια διατομής.

b: το συνολικό πλάτος.

h: το συνολικό ύψος.

$h_w$ : το ύψος του κορμού.

$t_f$ : το πάχος του πέλματος.

#### 4. Έλεγχος σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη.

Για τον έλεγχο σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη δίδεται ο ακόλουθος τύπος :

$$\frac{N_{sd}}{x_{min} * A * \frac{f_y}{\gamma_m}} + \frac{k_y * M_{y,sd}}{W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_m}} + \frac{k_z * M_{z,sd}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_m}} \leq 1,0$$

Όπου:

❖  $N_{sd}, M_{y,sd}, M_{z,sd}$ : είναι οι τιμές των μέγιστων ροπών ως προς τους άξονες y-y και z-z κατά μήκος του μέλους και του σχεδιασμού τη θλιπτικής δύναμης.

❖  $\chi_{min} = \min\{\chi_y, \chi_z\}$

και  $\chi_y, \chi_z$ : είναι οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπτικού λυγισμού από την σχέση:

❖  $\chi_{y,z} = \frac{1}{\Phi_{y,z} + \sqrt{\Phi_{y,z}^2 - \bar{\lambda}_{y,z}^2}}$ , αλλά  $\chi_{y,z} \leq 1,0$

Όπου οι πληροφορίες συντελεστών αλλά και μη για τον τύπο του  $\chi_{y,z}$  δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\Phi_{y,z} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{y,z} (\bar{\lambda}_{y,z} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,z}^2 \right]$$

$\alpha_{y,z}$ : συντελεστής ατελειών

$\lambda_{y,z}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα

$$\lambda_{y,z} = \frac{l_{y,z} \sqrt{\beta_A}}{i_{y,z} \sqrt{93,9 \epsilon}} \quad (\beta_A = 1,0 \text{ για τις κατηγορίες } 1,2,3)$$

και  $k_y, k_z$ : συντελεστές αλληλεπίδρασης

$$\text{❖ } k_{y,z} = 1 - \frac{\mu_{y,z} * N_{sd}}{\chi_{y,z} * A * f_y} \leq 1,50$$

Όπου:

$$\mu_{y,z} = \bar{\lambda}_{y,z} * (2 * \beta_{Mb,z} - 4) + \left( \frac{W_{pl,y,z} - W_{el,y,z}}{W_{el,y,z}} \right) \leq 0,90$$

**5. Έλεγχος σε στρεπτικό λυγισμό υπό θλίψη και κάμψη.**

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{L_{LT}^2} * \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{LT}^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

Όπου:

$k_w$ : ο συντελεστής που αφορά τη στρέβλωση του άκρου και είναι ίσος με 1,0.

$k$ : ο συντελεστής που αφορά τη στροφή του άκρου στο οριζόντιο επίπεδο και υπάρχουν δύο περιπτώσεις τιμών:

- a) Για πλήρη πάκτωση λαμβάνεται ίσος με 0,5
- b) Για απλές στηρίξεις λαμβάνεται ίσος με 1,0

$$\frac{N_{sd}}{x_{min} * A * \frac{f_y}{\gamma_M}} + \frac{k_{LT} * M_{y, sd}}{x_{LT} * W_{pl, y} * \frac{f_y}{\gamma_M}} + \frac{k_z * M_{z, sd}}{W_{pl, z} * \frac{f_y}{\gamma_M}} \leq 1,0$$

Όπου:

$N_{sd}, M_{y, sd}, M_{z, sd}$ : είναι οι τιμές των μέγιστων ροπών ως προς τους άξονες y-y και z-z κατά μήκος του μέλους και του σχεδιασμού τη θλιπτικής δύναμης.

$x_{min} = \min\{x_y, x_z\}$

$x_y, x_z$ : είναι οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπτικού λυγισμού από την σχέση.

$k_z$ : είναι ο συντελεστής αλληλεπίδρασης.

$$k_{LT} k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} * N_{sd}}{x_z * A * f_y} \leq 1,50$$

όπου:

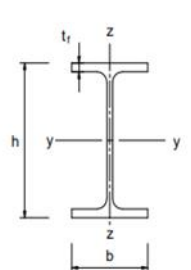
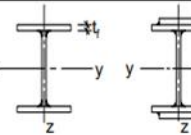

$$\mu_{LT} = 0,15 * \bar{\lambda}_z * \beta_{M, LT} - 0,15 \leq 0,90$$

$\beta_{M, LT}$ : δίνεται από τους παρακάτω πίνακες.

$\lambda_{LT}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα για τον πλευρικό λυγισμό

όπου:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl, y}}{M_{cr}}}$$

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού
 Ελατές διατομές	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z a b
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z b c
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z b c
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z d d
 Συγκολλητές I-διατομές	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z c d	
 Κοίλες Διατομές	Εν θερμώ έλαση	Κάθε	a
	Ψυχρή έλαση	Κάθε	c

**Πίνακας 41:** Επιλογή καμπύλης λυγισμού για δεδομένη διατομή.



Καμπύλη λυγισμού	A	B	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0,21	0,34	0,49	0,76

**Πίνακας 42:** Συντελεστές ατελειών για καμπύλες στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Ο συντελεστής α που φαίνεται στον πίνακα 42 αντιστοιχεί στην κατάλληλη καμπύλη λυγισμού και λαμβάνεται από το Εθνικό Προσάρτημα. Όμως στην εργασία αυτή πάρθηκε μία προτεινόμενη τιμή (πίνακας 42).


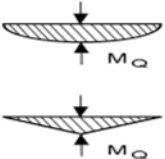
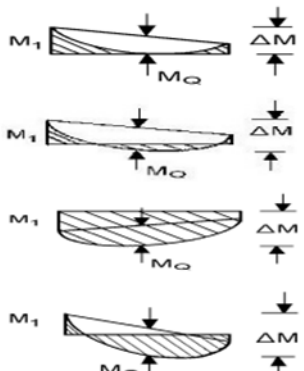
Επιπλέον για διάφορες διατομές υπάρχουν και συγκεκριμένες καμπύλες λυγισμού. Στην πτυχιακή που μελετάτε οι καμπύλες λυγισμού που πρέπει να χρησιμοποιούνται φαίνονται στο παρακάτω πίνακα (πίνακας 43).

Διατομή	Όρια	Καμπύλη λυγισμού
Ελατές διατομές I	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Συγκολλητές διατομές I	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Άλλες διατομές	-	D

**Πίνακας 43:** Καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού για διατομές.

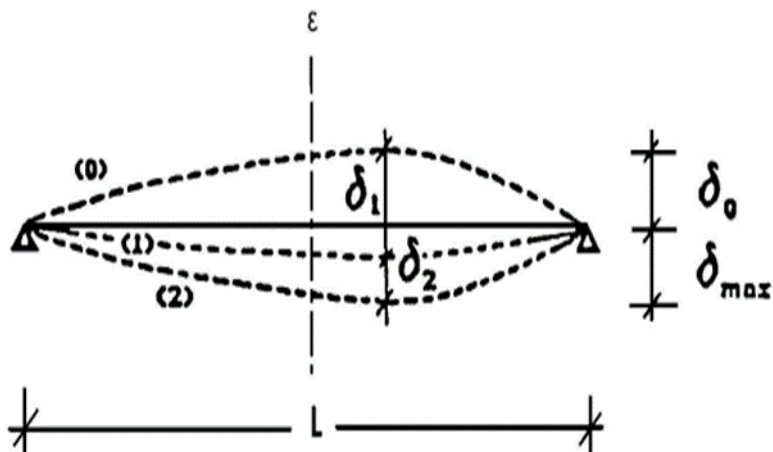
Φόρτιση και συνθήκες στήριξης	Διάγραμμα καμπτικών ροπών	Τιμές του συντελεστή k	Συντελεστές		
			$C_1$	$C_2$	$C_3$
		1.0	1.132	0.459	0.525
		0.5	0.972	0.304	0.980
		1.0	1.285	1.562	0.753
		0.5	0.712	0.652	1.070
		1.0	1.365	0.553	1.730
		0.5	1.070	0.432	3.050
		1.0	1.565	1.267	2.640
		0.5	0.938	0.715	4.800
		1.0	1.046	0.430	1.120
		0.5	1.010	0.410	1.890

**Πίνακας 44:** Συντελεστές  $C_1, C_2$  και  $C_3$  για διάφορες τιμές του K σε περίπτωση φόρτισης μόνο με εγκάρσια φορτία.

<p>Ροπές άκρων</p> <p><math>M_1</math>  <math>\psi M_1</math></p> <p><math>-1.0 \leq \psi \leq +1.0</math></p>	<p><math>\beta_{M,\psi} = 1.8 - 0.7\psi</math></p>
<p>Ροπές λόγω εγκάρσιας φόρτισης</p> 	<p><math>\beta_{M,Q} = 1.3</math></p> <p><math>\beta_{M,Q} = 1.4</math></p>
<p>Ροπές λόγω συνδυασμού των προηγούμενων περιπτώσεων</p> 	<p><math>\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} \cdot (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})</math></p> <p>Μόνο λόγω της εγκάρσιας φόρτισης  <math>M_Q =  \max M </math>  Για ομόσημο διάγραμμα ροπών  <math>\Delta M =  \max M </math>  Για διάγραμμα ροπών με αλλαγή προσήμου  <math>\Delta M =  \max M  +  \min M </math></p>

**Πίνακας 45:** Συντελεστής ομοιόμορφης ισοδύναμης ροπής  $\beta_M$ .

Παρακάτω ακολουθεί ένα σχέδιο που προστέθηκε από τους μελετητές για να γίνει πιο κατανοητό η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας της κατασκευής.



**Σχήμα 9.10:** Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Οι μέγιστες αποδεκτές τιμές βελών κάμψης για δάπεδα και για οροφές υποδεχόμενες πέραν του προσωπικού συντηρήσεως, διακρίνονται από το σχήμα 9.10 και είναι οι  $\delta, \delta_{max}, \delta_2$ .

Ο τύπος του  $\delta$  είναι :

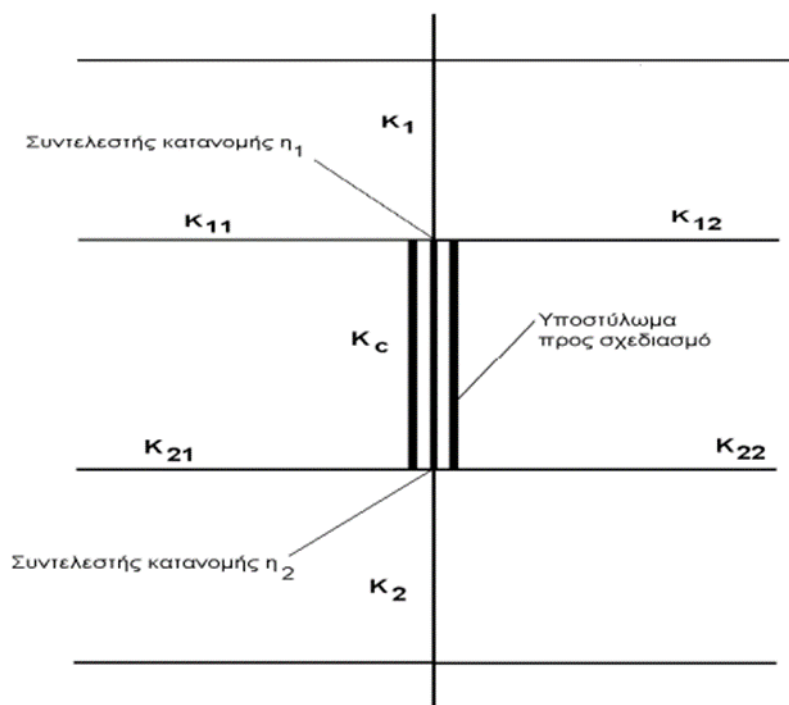
$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}$$

όπου για  $\delta_{\max}$  ισχύει:

$$\delta_{\max} < \frac{l}{250}$$

για  $\delta_2$  ισχύει:

$$\delta_2 < \frac{l}{300}$$



**Σχήμα 9.11:** Συντελεστές κατανομής για συνεχή υποστυλώματα.

Στο σχήμα φαίνονται οι συντελεστές κατανομής  $\eta_1$  και  $\eta_2$  αλλά και διάφοροι συντελεστές  $k$ . Για να κατανοηθεί καλύτερα το σχήμα ακολουθούν οι τύποι αλληλοσυσχέτισης τους.

$$\eta_1 = \frac{K_1 + K_c}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_2 + K_c}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}}$$

και ο τύπος του συντελεστή ισοδύναμου μήκους λυγισμού δίδεται:

$$k_y = 0,5 + 0,14 * (\eta_1 + \eta_2) + 0,055 * (\eta_1 + \eta_2)^2$$

### 9.3.2. Υποστυλώματα

Το πρόγραμμα που έχει χρησιμοποιηθεί στη εργασία που μελετιέται είναι το SOFISTIK. Εκεί προστέθηκαν δεδομένα που πάρθηκαν από κάθε μέλος του υποστυλώματος με όλα του τα χαρακτηριστικά. Για τις πράξεις που ακολούθησαν οι μελετητές πήραν ως δεδομένο στοιχείο την περίπτωση ότι σε όλα τα κύρια μέλη ο άξονας  $y-y'$  της διατομής είναι παράλληλος με τη διαμήκη έννοια του κτιρίου.

Από την άλλη ο άξονας  $z-z'$  είναι παράλληλος με τα πλαίσια. Το συμπέρασμα που απορρέει από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ότι για την κάμψη/λυγισμό εντός του επιπέδου του πλαισίου ενεργοποιείται ο ισχυρός άξονας, αντιθέτως για κάμψη/λυγισμό εκτός του επιπέδου του πλαισίου ενεργοποιείται ο ασθενής άξονας. Αυτή η λειτουργία είναι επιθυμητή και δεν δημιουργεί πρόβλημα σε αυτού του είδους τα υποστυλώματα.

Παρακάτω, ακολουθούν οι έλεγχοι των βασικών στοιχείων της κατασκευής σε τέμνουσες δυνάμεις, αξονικές, στρεπτοκαμπτικές, εφελκυστικές κ.α. Όμως ανάλογα με το είδος του

στοιχείου (δηλαδή, π.χ υποστύλωμα, κατακόρυφος σύνδεσμος κ.α.) γίνονται και οι ανάλογοι έλεγχοι που χρειάζονται.

#### 9.3.1.4 Έλεγχος υποστυλωμάτων

Αρχικά οι μελετητές συλλέγουν πληροφορίες από το πρόγραμμα που εκτελέστηκε, από τις πράξεις που ακολούθησαν, από τυποποιημένους πίνακες και μη, ακόμη και από συμπεράσματα για τον ορθό έλεγχο των στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, για τον έλεγχο των υποστυλωμάτων το πρώτο δεδομένο που διεξήχθη είναι το ύψος των υποστυλωμάτων, στην εργασία αυτή πάρθηκε 8 μέτρα. Έπειτα επιλέγουν την διατομή όπου τηρεί τις προϋποθέσεις για την εργασία και ακολούθως για τις πράξεις παίρνουν τμήματα ράβδων, όπως φαίνεται και παρακάτω. Επίσης ως δεδομένα διεξήχθησαν τα ακόλουθα.

**Ράβδοι:** Ο έλεγχος των υποστυλωμάτων, δοκών, ράβδων έγινε ανά τμήματα. Η αρίθμηση όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 2 ξεκίνησε από το επίπεδο του δαπέδου-ισογείου. Δηλαδή, για τους στύλους ισογείου όπου αναλύονται πρώτοι η αρίθμηση ξεκινά από το 1001 έως το 1012

**Επιλογή διατομής:** Η επιλογή διατομής έγινε σύμφωνα από υπολογισμούς μέσω της υπορουτίνας AQUA και από τους τυποποιημένους πίνακες διατομών πάρθηκαν και τα αντίστοιχα δεδομένα. Αναλυτικότερα όπως φαίνεται στην εργασία στον πίνακα 19, η διατομή που επιλέχθηκε από τους μελετητές είναι η HEB 320. Βάση της κατηγορίας αυτής παίρνονται ως δεδομένο από τους τυποποιημένους πίνακες που υπάρχουν, το πλάτος διατομής  $b$ , το ύψος  $h$  και το πάχος κορμού  $t_w$ .

Έπειτα, για την διευκόλυνση των πράξεων κατατάσσονται όλα τα δεδομένα που χρειαστήκαν για της πράξεις σε έναν πίνακα. Αυτά βρέθηκαν από το SOFISTIK.

Στοιχεία Διατομής		
Στοιχεία	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
$h=$	320	Mm
$b=$	300	Mm
$t_w=$	11,5	Mm
$t_f=$	20,5	Mm
$h-2c=d=$	225	Mm
$A=$	161,3	cm <sup>2</sup>
$I_y=$	30820	cm <sup>4</sup>
$I_z=$	9239	cm <sup>4</sup>
$W_{el,y}=$	1926	cm <sup>3</sup>
$W_{el,z}=$	615,9	cm <sup>3</sup>
$i_y=$	13,82	Cm
$i_z=$	7,57	Cm
$I_t=$	225,1	cm <sup>4</sup>
$I_w=$	$2069 \cdot 10^{-3}$	cm <sup>6</sup>
$W_{pl,y}=$	2149	cm <sup>3</sup>
$W_{pl,z}=$	939,1	cm <sup>3</sup>

**Πίνακας 46:** Δεδομένα στοιχεία διατομής.

#### ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

✚ Σύμφωνα από το πρόγραμμα πάρθηκαν και οι εξής πληροφορίες:

- ❖ Για τους παρακάτω ελέγχους πάρθηκαν ως δεδομένο οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί.
- ❖ Επίσης για την εγκυρότητα μεθόδου σχεδιασμού  $N_{Sd} < 0,1 \cdot N_{plRd}$

$N_{Sd}$ : αξονική δύναμη στη δοκό

$N_{plRd}$ : αντοχή σε αξονική διατομής της δοκού

- ❖ Η ακτίνα καμπυλότητας  $r$  ισούται με 21,00mm

✚ **Ως βασικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν και τα εξής:**

- ❖ Η ποιότητα υλικού που χρησιμοποιήθηκε είναι FeS235
- ❖ Το όριο διαρροής πέλματος που χρησιμοποιήθηκε  $f_y = 0,235\text{kN/mm}^2 = 235 \text{ N/mm}^2$
- ❖ Το όριο διαρροής κορμού που χρησιμοποιήθηκε  $f_y = 0,235\text{kN/mm}^2 = 235 \text{ N/mm}^2$
- ❖ Το όριο αστοχίας πέλματος που χρησιμοποιήθηκε  $0,360\text{kN/mm}^2$
- ❖ Το όριο αστοχίας κορμού που χρησιμοποιήθηκε  $0,360\text{kN/mm}^2$

• **Χαρακτηριστικά διατομής.**

Συγκεντρωτικά στοιχεία και χαρακτηριστική της διατομής HEB 320

HEB 320						
Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	A(cm <sup>2</sup> )	h (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)		
	161,3	320	11,5	20,5		
Αδρανειακά χαρακτηριστικά	W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>pl,z</sub> (cm <sup>3</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	i <sub>y</sub> (cm)	i <sub>z</sub> (cm)
	2149	939,1	30820	9239	13,82	7,57

**Πίνακας 47:** Συγκεντρωτικός πίνακας για την διατομή HEB 320.

Για τις ράβδους 1001-1012 με διατομή HEB 320 δημιουργήθηκε από τους μελετητές μία περιβάλλουσα των μεγεθών που προαναφέρθηκαν και έτσι βγήκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα που διακρίνονται στον πίνακα 48.

• **Δρώντα εντατικά μεγέθη.**

Δρώντα εντατικά μεγέθη						
	N[kN]	VY[kN]	VZ[kN]	MT[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]
<b>Max MY</b>	-81.8	-67.18	120.88	-0.01	-468.04	-99.06
<b>Max N</b>	-223.7	-0.72	-24.8	0.00	103.57	-2.70

**Πίνακας 48:** Αποτελέσματα για ράβδους 1001-1012 με διατομή HEB 320.

• **Κατάταξη Διατομής.**

Αρχικά πριν από κάθε έλεγχο πρώτα είχε βρεθεί η κατηγορία διατομής του κορμού και του πέλματος. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση κάποιων τύπων διαφορετικών για τον κορμό και διαφορετικών για το πέλμα.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

✚ **Για τον κορμό.**

Για να βρεθεί η κατηγορία του κορμού το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιείται είχε συγκριθεί με τις κατηγορίες κορμού από τον πίνακα 38. Όπως φαίνεται και στις παρακάτω πράξεις που έγιναν.

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2c}{t_w} = 19,57 \leq 33\varepsilon = 33$$

Έπειτα από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του κορμού (πίνακα 38) είναι τύπου 1. Αυτό σημαίνει ότι ο κορμός είναι θλιβόμενος.

✚ **Για το πέλμα.**

Για το πέλμα ακολουθείτε η ίδια διαδικασία όπως και του κορμού, αλλά με διαφορετικό τύπο. Για να βρεθεί η κατηγορία του πέλματος, το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιείται είχε συγκριθεί με τις κατηγορίες πέλματος από τον πίνακα 40.

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left[ \frac{b-t_w}{2-r} \right]}{t_f} = 5,72 \leq 9 \varepsilon = 9$$

Από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του πέλματος (πίνακα 40) είναι τύπου 1. Αυτό σημαίνει ότι το πέλμα είναι συγκολλητό και θλιβόμενο.

### Συμπέρασμα:

Σύμφωνα με τα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα που ακολούθησαν, ο κορμός και το πέλμα ανήκουν στην κατηγορία 1, οπότε συνεπάγεται ότι και η διατομή ανήκει στην κατηγορία αυτή.

#### • Απαιτούμενοι έλεγχοι

Απαιτούμενη έλεγχοι ράβδων	
1)	Έλεγχος σε λυγισμό.
2)	Αντοχή σε κάμψη και διάτμηση.
3)	Αντοχή διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.
4)	Αντοχή σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη.
5)	Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικόλυγισμό.
6)	Έλεγχος ελαστικής κρίσιμης ροπής στρεπτοκαμπτικούλυγισμού.

**Πίνακας 49:** Απαιτούμενη έλεγχοι ράβδων.

#### 1) Καμπύλες λυγισμού.

Αφού είχε βρεθεί η κατηγορία διατομής, το επόμενο βήμα είναι ήταν η εύρεση κατηγορίας λυγισμού με τον κατάλληλο τύπο, ως προς τους άξονες  $y-y'$  και  $z-z'$ .

✚ Αρχικά βρέθηκε η κατηγορία της καμπύλης λυγισμού περί τον άξονα  $y-y'$ .

$$\frac{h}{b} = 1 \leq 1,2$$

Έπειτα, συγκρίθηκε το αποτέλεσμα με τα όρια που έχει ο πίνακας 41 για τις καμπύλες λυγισμού  $\leq 1,2$  η καμπύλη ανήκει στην κατηγορία b. Επιπλέον έχοντας δεδομένο ότι το πάχος πέλματος  $t \leq 100\text{mm}$  διακρίνεται ότι περί τον άξονα  $z-z'$  η καμπύλη λυγισμού ανήκει στην κατηγορία c.

Εφόσον βρέθηκαν οι κατηγορίες που ανήκουν οι κορμοί, τα πέλματα, η διατομή, ακολούθησε ο έλεγχος κάθε ράβδους. Κάνοντας την αρχή με τους στύλους ισογείου.

#### A. Ράβδος 1011(Φόρτιση 55)

##### 2) Έλεγχος σε Διάτμηση.

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{z,Sd} = 141,64\text{kN}$$

Αρχικά η ράβδος ελέγχθηκε σε πλαστική οριακή τέμνουσα από τον τύπο :

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_z f_y}{\sqrt{3}} = \frac{51,77 * 23,5}{\sqrt{3} * 1} = 702,4\text{kN} > V_{z,Sd} = 141,64\text{kN}$$



Όπου ο συντελεστής ασφαλείας  $\gamma_M$  είναι ίσος με τον  $\gamma_{M0} = 1$

Και συντελεστής διαρροής  $f_y = 235\text{N/mm}^2$

$$V_{z,Sd} < 0,5 * V_{pl,z,Rd}$$

Εφόσον το  $V_{z,Sd}$  είναι μικρότερο από το  $V_{pl,z,Rd}$  δεν απαιτείται απομείωση της πλαστικής ροπής της διατομής.

#### B. Ράβδος 1007(Φόρτιση 55)

N[kN]	MY[kNm]	MZ[kNm]
-81.8	-468.04	-99.06

**Πίνακας 50**

#### 3) Έλεγχος διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.

Ο έλεγχος υπό κάμψη και αξονική δύναμη επιτεύχθηκε ύστερα από κάποιες διαδικασίες. Αρχικά έγιναν κάποιες δοκιμές με βάση την τιμή της αντοχής του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό ( $N_{pl,Rd}$ ), όπως φαίνεται και παρακάτω.

Αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση τύπου, και στο τέλος έγινε η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Πιο συγκεκριμένα:

Για τις διατομές κατηγορίας 1,2 και 3 ο τύπος για την αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό είναι  $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ .

Για το λόγω ότι, η διατομή που ελέγχεται έχει αποδειχθεί και παραπάνω ότι ανήκει στην κατηγορία 1, ο τύπος δεν θα αλλάξει.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \gamma_{M0} = 1, A = 16,13 \text{ mm}^2$$

Επίσης, ισχύει  $\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow$

$$N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$$

Αντικαθιστώντας τους συντελεστές και τα δεδομένα, το αποτέλεσμα της αντοχής σε λυγισμό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την τιμή σχεδιασμού της αξονικής δύναμης, όπως προκύπτει από τον τύπο  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ .

Οπότε:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 3790,55 \text{ kN} \geq N_{ed} = 81,8 \text{ kN}$$



Για διατομές διπλής συμμετρίας I ή άλλες διατομές με πέλματα αν ισχύουν τα ακόλουθα κριτήρια δε χρειάζεται να γίνεται απομείωση της πλαστικής ροπής αντοχής λόγω παρουσίας αξονικής δύναμης.

Πιο συγκεκριμένα:

I.  $N_{ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$

II.  $N_{ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$  (Κριτήριο για απομείωση ή μη της  $M_{pl,y,Rd}$ )

III.  $N_{ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$  (Κριτήριο για απομείωση ή μη της  $M_{pl,y,Rd}$ )

Όμως αναλυτικά:

$$N_{ed} = 81,8 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{0,25 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 947,638 \text{ kN}$$



$$N_{ed} = 81,8 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 377,00 \text{ kN}$$



$$N_{ed} = 81,8 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 754,00 \text{ kN}$$



Με βάση τα κριτήρια προκύπτει ότι σε κάθε περίπτωση από τις παραπάνω το  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ . Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής στην  $M_{pl,y,Rd}$  αλλά μόνο της καμπτικής ροπής  $M_{y,Ed}$  στον αξόνα y-y.

$$M_{y,Ed} = 46804 \text{ kN cm} \leq M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 50501,5 \text{ kN cm}$$



Όπου:  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \gamma_{M1} = 1, W_{pl,y} = 2149 \text{ cm}^3$

$$n = \frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

Όπου:  $n = 0,02 \leq 1$



Από αυτό προκύπτει ότι το θλιβόμενο μέλος αντέχει σε λυγισμό.

#### 4) Έλεγχος σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη.

Ο έλεγχος για διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη πραγματοποιήθηκε με τον ακόλουθο τύπο ο οποίος είναι αναγκαίο να είναι  $\leq 1$ .

Αναλυτικότερα:

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\beta \leq 1,0$$

Για διατομές I και H:  $\alpha=2$  και  $\beta=5n=0,11 < 1$

Από αντικατάσταση συντελεστών και δεδομένων προκύπτει ότι:

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\beta = 1 \leq 1,0$$



Όπου:  $f_y=235\text{N/mm}^2$ ,  $\gamma_M=1$

$W_{pl,y}=2149\text{ cm}^3$ ,  $W_{pl,z}=939,1\text{ cm}^3$

$M_{y,Ed}=46804\text{kN}\cdot\text{cm}$ ,  $M_{z,Ed}=9906\text{kN}\cdot\text{cm}$

### 5) Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Από τα δεδομένα που έχουν βρεθεί στο ερώτημα 2 ( έλεγχος σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη ) το ισοδύναμο μήκος λυγισμού y-y είναι:

$L_C=800\text{cm}$

$L_{12}=2000\text{cm}$

Έχοντας αυτά τα δεδομένα είναι εύκολο να βρεθεί ο συντελεστής ισοδύναμου μήκους  $\beta$ .

Ακολούθησαν οι τύποι και οι πράξεις που οδήγησαν στο απαιτούμενο αποτέλεσμα:

$$K_C = \frac{I_{y(HEB320)}}{L_C} = 38.525\text{ cm}^3$$

$$K_{12} = \frac{1,5 \cdot I_{y(IPE500)}}{L_{12}} = 36.15\text{ cm}^3$$

Όπου:

$I_{y(HEB320)}=30820\text{ cm}^4$ ,  $I_{y(IPE500)}=48200\text{ cm}^4$

$L_C=800\text{cm}$ ,  $L_{12}=2000\text{cm}$

**Αφού βρέθηκαν και τα  $K_C$ ,  $K_{12}$  στο επόμενο βήμα βρέθηκε η κατανομή  $n_1$ ,  $n_2$ .**

$$n_1 = \frac{k_C}{k_C + k_{12}} = 0.52$$

$$n_2 = 1$$

**Όποτε από αυτά τα δεδομένα προέκυψε ότι ο συντελεστής ισοδύναμου μήκους είναι :**

$$L_y = \beta \cdot L_C = 2240\text{cm}$$

Όπου:  $\beta=2.8$

**Λόγω ότι το υποστύλωμα είναι εξασφαλισμένο στα άκρα του, το ισοδύναμο μήκος λυγισμού z-z είναι :**

$$L_z = 800\text{cm}$$

### • Λυγηρότητα-Καμπύλες λυγισμού.

Στο προηγούμενο βήμα βρέθηκαν τα ισοδύναμα μήκη λυγισμού της ράβδου. Αυτά χρησίμευσαν στην εύρεση του συντελεστή της ανοιγμένης λυγηρότητας. Πιο αναλυτικά :

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000\text{MPa}}{235\text{MPa}}} = 93,9$$

Όπου:

Μέτρο ελαστικότητας  $E=210.000\text{ N/mm}^2$

$f_y=235\text{N/mm}^2$

**Εύρεση του συντελεστή ανοιγμένης λυγηρότητας  $\lambda_{y,z}$ .**

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = 162.08 \quad \text{με τον ίδιο τρόπο βρίσκεται και το} \quad \lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = 105.69$$



$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1.7268 \quad \text{με τον ίδιο τρόπο βρίσκεται και το} \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1.1259$$

Συγκεντρωτικά η λυγηρότητα και η ανοιγμένη λυγηρότητα ως προς τις διευθύνσεις y-y και z-z φαίνονται στον πίνακα 51 που ακολουθεί:

Τύπος	Λυγηρότητα $\lambda = \frac{L}{i}$	Ανοιγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$
Διεύθυνση y-y	$\lambda_y = 162.08$	$\bar{\lambda}_y = 1.7268$
Διεύθυνση z-z	$\lambda_z = 105.69$	$\bar{\lambda}_z = 1.1259$

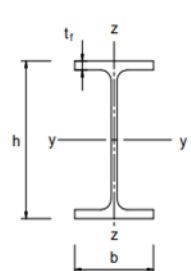
**Πίνακας 51:** Λυγηρότητες- Ανοιγμένες λυγηρότητες.

**Μειωτικοί συντελεστές  $\chi$ .**

Βρίσκεται ότι  $\frac{h}{b} = 1,066 \leq 1,2$

Και  $t_f = 2,05 \leq 10 \text{ cm}$

Προκύπτει ότι η διατομή της ράβδου, συγκρίνοντας το αποτέλεσμα με τα όρια που έχει ο πίνακας 52 για τις καμπύλες λυγισμού  $\leq 1,2$  η καμπύλη ανήκει στην κατηγορία b. Επιπλέον έχοντας δεδομένο ότι το πάχος πέλματος  $t_f \leq 100 \text{ mm}$  διακρίνεται ότι περί τον άξονα z-z' η καμπύλη λυγισμού ανήκει στην κατηγορία c.

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη
			λυγισμού
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y: a z-z: b
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y: b z-z: c
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y: b z-z: c
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y: d z-z: d

**Πίνακας 52:** Επιλογή καμπύλης λυγισμού για ελατές διατομές.

Έχοντας πλέον γνωστούς τους συντελεστές ανοιγμένης λυγηρότητας είναι εύκολο να βρεθούν οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπυλικού λυγισμού  $\chi_y, \chi_z$  από τον τύπο:

$$\chi_{y,z} = \frac{1}{\Phi_{y,z} + \sqrt{\Phi_{y,z}^2 - \bar{\lambda}_{y,z}^2}}, \quad \text{αλλά } \chi_{y,z} \leq 1,0$$

Όπου:

$$\Phi_{y,z} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{y,z} (\bar{\lambda}_{y,z} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,z}^2 \right]$$

$\alpha_{y,z}$ : συντελεστής ατελειών που εξαρτάται από τις καμπύλες λυγισμού δίνεται από τον πίνακα 42

$\lambda_{y,z}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα δίνεται από τον πίνακα 51.

Καμπύλη λυγισμού	A	B	C	D
Συντελεστής ατελειών $\alpha$	0,21	0,34	0,49	0,76

**Πίνακας 42**

Με αυτόν τον τρόπο και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{y,z}$  προκύπτει ότι για τον y-y.

$$\Phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 2.2504$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0.2707 \leq 1,0$$



Ακολούθως και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{y,z}$  προκύπτει ότι για τον z-z.

$$\Phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 1.3606$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0.4707 \leq 1,0$$



Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει συνοπτικά τα αποτελέσματα:

	Καμπύλη λυγισμού	Συντελεστής ατελειών α	Φ	Μειωτικός συντελεστής χ
Διεύθυνση y-y	B	0,34	2.2504	0.2707
Διεύθυνση z-z	C	0,49	1.3606	0.4707

**Πίνακας 53:** Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

### 6) Ελαστική κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{L_{LT}^2} * \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{LT}^2 * G * I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

Όπου:

$k_w=1$ : Ο συντελεστής που αφορά τη στρέβλωση του άκρου και σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 είναι ίσος με 1,0.

$K=1$ : Ο συντελεστής που αφορά τη στροφή του άκρου στο οριζόντιο επίπεδο και εδώ θεωρείται ότι υπάρχουν απλές στηρίξεις στα άκρα της δοκού άρα είναι ίσος με 1,0.

$L_{LT}=800\text{cm}$

$C_1=1,285$ : Από τον πίνακα 44 σύμφωνα με την τιμή του  $K=1$  και την συνθήκη στήριξης και φόρτισης.

Μέτρο ελαστικότητας  $E=210.000 \text{ N/mm}^2$

Μέτρο διάτμησης  $G = \frac{E}{2*(1+\nu)} = 8076.92$

Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή  $\nu=0,3$

Όποτε με βάση όλα τα παραπάνω δεδομένα το αποτέλεσμα είναι :

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{L_{LT}^2} * \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{LT}^2 * G * I_t}{\pi^2 E I_z}} = 110801 \text{ KN*cm}$$

### Λυγηρότητα στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}}$$

$\lambda_{LT}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα για τον πλευρικό λυγισμό.

Όπου:

$M_{pl,y} = W_{pl,y} * f_y = 50501.5 \text{ kNcm}$

Και ως γνωστό  $M_{y,Ed} = 46804 \text{ kNcm}$

Άρα αντικαθιστώντας  $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = 0.6751 > 0,2$  ή  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} = 0.4224 > 0,04$ .

Αυτό σημαίνει ότι η επιρροή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού δεν μπορεί να αγνοηθεί.

### Καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

$$\frac{h}{b}=1,066 \leq 2$$

### Συμπέρασμα

Από το αποτέλεσμα αυτό και για ελατές διατομές τύπου I επιλέγεται η καμπύλη a σύμφωνα με τον πίνακα 54.

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

### Πίνακας 54

Όποτε προκύπτει από τον πίνακα 42 ότι ο συντελεστής ατελειών  $\alpha_{LT}=0,21$ .

Καμπύλη λυγισμού	a	B	C	D
Συντελεστής ατελειών α	0,21	0,34	0,49	0,76

### Πίνακας 42

Έχοντας πλέον γνωστό τον συντελεστή ανοιγμένης λυγηρότητας είναι εύκολο να βρεθεί ο μειωτικός συντελεστής λόγω καμπτικού λυγισμού  $\chi_{LT}$  από τον τύπο:

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

Αλλά  $\chi_{y,z} \leq 1,0$

Όπου:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$\alpha_{LT}$ : συντελεστής ατελειών από πίνακα 42

$\lambda_{LT}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα από πίνακα 51

Με αυτόν τον τρόπο και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{LR}$  προκύπτει ότι:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,7778$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,8591 \leq 1,0$$



Επίσης βρίσκεται,

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_M} = 43386,62 \text{ KN cm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = 1,0788 \leq 1,0$$

### Συμπέρασμα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πράξεων η δοκός αντέχει σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

### Συντελεστές αλληλεπίδρασης.

Εφόσον ο μειωτικός συντελεστής στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι πολύ κοντά στη μονάδα όπως φαίνεται και από το αποτέλεσμα παραπάνω το εξεταζόμενο μέλος δεν είναι ευαίσθητο σε στρεπτικές παραμορφώσεις και οι συντελεστές αλληλεπίδρασης υπολογίζονται με βάση το πίνακα 55 που ακολουθεί.

Συντελεστής αλληλεπίδρασης	Τύπος διατομών	Παραδοχές σχεδιασμού	
		ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
$k_{yy}$	διατομές I διατομές RHS	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
$k_{yz}$	διατομές I διατομές RHS	$k_{zz}$	$0,6 k_{zz}$
$k_{zy}$	διατομές I διατομές RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
$k_{zz}$	διατομές I	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
	διατομές RHS		$C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$

Για διατομές I και H και ορθογωνικές κοίλες διατομές με αξονική θλίψη και μονοαξονική κάμψη  $M_{y,Ed}$  ο συντελεστής  $k_{zy}$  μπορεί να είναι  $k_{zy} = 0$ .

**Πίνακας 55:** Συντελεστής αλληλεπίδρασης για μέλη μη ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις.

Από τριγωνικό διάγραμμα ροπών που βρίσκεται μέσα στο SOFISTIK προκύπτουν τα :

$$\psi M_h = \frac{-32639}{-47882} \text{ και } \psi = \frac{-0.6974}{-1.023}$$

Από τον πίνακα 55 πάρθηκαν οι τύποι πλαστικών ιδιοτήτων διατομών κατηγορίας 1 , κατηγορία 2 και από αυτά προκύπτει ότι :

$$C_{my} = 0.4$$

$$C_{mz} = 0.9$$

Έχοντας τα στοιχεία αυτά η εύρεση των συντελεστών αλληλεπίδρασης γίνεται πιο εύκολη.

Πιο συγκεκριμένα:

$$\bar{\lambda}_y - 0,2 = 1.53 \geq 0.80 \implies k_{yy} = C_{my} * \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{X_y * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right] = 0.40191$$

$$2 * \bar{\lambda}_y - 0,6 = 2.85 \geq 1.40 \implies k_{zz} = C_{mz} * \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{X_z * W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right] = 0.90434$$

Από τον πίνακα 55 για διατομές I κατηγορίας 1 και 2 ισχύει:

$$K_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0.24115$$

$$K_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0.5426$$

### Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

$$\frac{N_{sd}}{x_y * A * \frac{f_y}{\gamma_m}} + \frac{k_{yy} * M_{y,Ed}}{x_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_m}} + \frac{k_{yz} * M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_m}} = 0.75684 \leq 1,0$$



$$\frac{N_{sd}}{x_z * A * \frac{f_y}{\gamma_m}} + \frac{k_{zy} * M_{y,Ed}}{x_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_m}} + \frac{k_{zz} * M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_m}} = 0.71192 \leq 1,0$$



### C. Ράβδος 1007(Φόρτιση 55)

N[kN]	MY[kNm]	MZ[kNm]
-223,7	-103,57	-2,70

**Πίνακας 56**

#### Έλεγχος σε λυγισμό

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \gamma_{M1} = 1,1, A = 16,13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Επίσης, ισχύει } \frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow$$

$$N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$$

Αντικαθιστώντας τους συντελεστές και τα δεδομένα το αποτέλεσμα της αντοχής σε λυγισμό είναι:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,471 \cdot 161,3 \cdot 23,5}{1,1} = 1623,6 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{223,7}{1623,6} = 0,14 \leq 1,0$$



#### **9.3.3. Έλεγχος κύριων δοκών ζυγώματος στέγης**

**Ράβδοι:** Ο έλεγχος των υποστυλωμάτων, δοκών, ράβδων έγινε ανά τμήματα. Η αρίθμηση όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 2 ξεκίνησε από το επίπεδο του δαπέδου-ισογείου. Πιο συγκεκριμένα, για τους στύλους οροφής που αναλύονται και βρίσκονται στο πρώτο δάπεδο, δηλαδή στο ισόγειο, η αρίθμηση ξεκινά από το 2001 έως το 2012.

**Επιλογή διατομής:** Η επιλογή διατομής έγινε σύμφωνα από υπολογισμούς μέσω της υπορουτίνας AQUA, επιπλέον, από τους τυποποιημένους πίνακες διατομών πάρθηκαν και τα αντίστοιχα δεδομένα. Αναλυτικότερα όπως φαίνεται στην εργασία στον πίνακα 17, η διατομή που επιλέχθηκε από τους μελετητές είναι η IPE 500. Βάση της κατηγορίας αυτής πάρθηκαν ως δεδομένο από τους τυποποιημένους πίνακες που υπάρχουν, το πλάτος διατομής b, το ύψος h και το πάχος κορμού t<sub>w</sub>.

Έπειτα, για την διευκόλυνση των πράξεων κατατάσσονται όλα τα δεδομένα που χρειαστήκαν για της πράξεις σε έναν πίνακα. Αυτά βρέθηκαν από το SOFISTIK.

Στοιχεία Διατομής		
Στοιχεία	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
h=	500	mm
b=	200	mm
t <sub>w</sub> =	10,2	mm
t <sub>f</sub> =	16,0	mm
h-2c=d=	426	mm
A=	115,5	cm <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	48200	cm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	2142	cm <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	1928	cm <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	214,2	cm <sup>3</sup>
i <sub>y</sub> =	20,43	cm
i <sub>z</sub> =	4,31	cm
I <sub>t</sub> =	89,29	cm <sup>4</sup>
I <sub>w</sub> =	1249*10 <sup>-3</sup>	cm <sup>6</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	2194	cm <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	335,9	cm <sup>3</sup>

**Πίνακας 57:** Δεδομένα στοιχεία διατομής.

- **Χαρακτηριστικά διατομής.**

Συγκεντρωτικά στοιχεία και χαρακτηριστικά της διατομής IPE 500

**IPE 500**

<b>Γεωμετρικά χαρακτηριστικά</b>	A(cm <sup>2</sup> )	h (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)		
	115,5	500	10,2	16,0		
<b>Αδρανειακά χαρακτηριστικά</b>	W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>pl,z</sub> (cm <sup>3</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	i <sub>y</sub> (cm)	i <sub>z</sub> (cm)
	2194	335,9	48200	2142	20,43	4,31

**Πίνακας 58:** Συγκεντρωτικός πίνακας για την διατομή IPE 500.

Για τις ράβδους 2001-2012 με διατομή IPE 500 δημιουργήθηκε από τους μελετητές μία περιβάλλουσα για τα μεγέθη που προαναφέρθηκαν και έτσι βγήκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα που διακρίνονται στον πίνακα 59.

- **Δρώντα εντατικά μεγέθη.**

Δρώντα εντατικά μεγέθη						
	N[kN]	VY[kN]	VZ[kN]	MT[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]
<b>Max MY</b>	-106.7	-0.03	131.79	0.00	-449.70	-0.16
<b>Max N</b>	-134.6	-0.14	179.90	0.03	-355.11	-0.58

**Πίνακας 59:** Αποτελέσματα για ράβδους 2001-2012 με διατομή IPE 500.

- **Κατάταξη Διατομής.**

Αρχικά βρέθηκε η κατηγορία διατομής του κορμού και του πέλματος. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση κάποιων τύπων διαφορετικοί για τον κορμό και διαφορετικοί για το πέλμα.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- ✚ **Για τον κορμό.**

Για να βρεθεί η κατηγορία του κορμού από τους μελετητές, το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιήθηκε έχει συγκριθεί με τις κατηγορίες κορμού από τον πίνακα 38. Όπως φαίνεται και στις παρακάτω πράξεις που έγιναν.

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2c}{t_w} = 41,76 \leq 72\varepsilon = 72$$

Έπειτα από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του κορμού (πίνακα 38) είναι τύπου 1. Αυτό σημαίνει ότι ο κορμός είναι θλιβόμενος.

- ✚ **Για το πέλμα.**

Για το πέλμα ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως και του κορμού, αλλά με διαφορετικό τύπο. Για να βρεθεί η κατηγορία του πέλματος το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιήθηκε ήταν αναγκαίο να συγκριθεί με τις κατηγορίες πέλματος από τον πίνακα 40.

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left[ \frac{b-t_w}{2-r} \right]}{t_f} = 4,62 \leq 9 \varepsilon = 9$$

Από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του πέλματος (πίνακα 40) είναι τύπου 1. Αυτό σημαίνει ότι το πέλμα είναι συγκολλητό και θλιβόμενο.

**Συμπέρασμα:**

Σύμφωνα με τα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα που ακολούθησαν, ο κορμός και το πέλμα ανήκουν στην κατηγορία 1, οπότε συνεπάγεται ότι και η διατομή ανήκει στην κατηγορία αυτή.

- **Απαιτούμενοι έλεγχοι**

Απαιτούμενοι έλεγχοι ράβδων

- |    |  |
|----|--|
| 1) | Έλεγχος σε λυγισμό.                                  |
| 2) | Αντοχή σε εφελκυσμό και διάτμηση.                    |
| 3) | Αντοχή διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη. |
| 4) | Αντοχή σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη.         |
| 5) | Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικόλυγισμό.            |

**Πίνακας 60:** Απαιτούμενοι έλεγχοι

1) **Καμπύλες λυγισμού.**

Αφού έχει βρεθεί η κατηγορία διατομής, το επόμενο βήμα είναι η εύρεση κατηγορίας λυγισμού με τον κατάλληλο τύπο, ως προς τους άξονες y-y' και z-z'.

✚ Αρχικά βρίσκεται η κατηγορία της καμπύλης λυγισμού περί τον άξονα y-y'.

$$\frac{h}{b}=2,5 \geq 1,2$$

Έπειτα, συγκρίνοντας το αποτέλεσμα με τα όρια που έχει ο πίνακας 41 για τις καμπύλες λυγισμού  $\geq 1,2$  η καμπύλη ανήκει στην κατηγορία α. Επιπλέον έχοντας δεδομένο ότι το πάχος πέλματος  $t_f \leq 40\text{mm}$  διακρίνεται ότι περί τον άξονα z-z' η καμπύλη λυγισμού ανήκει στην κατηγορία b.

Εφόσον βρέθηκαν οι κατηγορίες που ανήκουν οι κορμοί, τα πέλματα, η διατομή ακολουθεί ο έλεγχος κάθε ράβδους. Κάνοντας την αρχή με τους στύλους οροφής σογείου.

**A. Ράβδος 2005(Φόρτιση 52)**

2) Έλεγχος σε Διάτμηση.

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{z,Sd}=179,90\text{kN}$$

Αρχικά η ράβδος ελέγχεται σε πλαστική οριακή τέμνουσα από τον τύπο :

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_z f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{59,87 * 23,5}{\sqrt{3} * 1,1} = 738,45\text{kN} > V_{z,Sd} = 141,64\text{kN} \quad \checkmark$$

Όπου ο συντελεστής ασφαλείας  $\gamma_M$  είναι ίσος με τον  $\gamma_{M1}=1,1$   
Και συντελεστής διαρροής  $f_y=235\text{N/mm}^2$

**Συμπέρασμα**

Μετά τους υπολογισμούς επήλθε το συμπέρασμα ότι η ράβδος 2005 αντέχει σε διάτμηση και αυτό γίνεται κατανοητό από τη παραπάνω ανισότητα.

**Έλεγχος σε εφελκυσμό.**

$$N_{Sd}=134,6\text{kN}$$

$$N_{Sd} = \frac{A * f_y}{\gamma_M} = \frac{115,5 * 23,5}{1,1} = 2467,5 > N_{Sd} = 134,6\text{kN} \quad \checkmark$$

**Συμπέρασμα:**

Η ράβδος 2005 αντέχει σε εφελκυσμό. Αυτό, όπως και παραπάνω έγινε αντιληπτό από την πράξη που προηγήθηκε.

3) Έλεγχος διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.

Για να επιτευχθεί ο έλεγχος του υποστυλώματος υπό κάμψη και αξονική δύναμη χρειάζονται να γίνουν κάποιες δοκιμές με βάση την τιμή της αντοχής του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό ( $N_{pl,Rd}$ ), όπως φαίνεται και παρακάτω.

Αυτές πραγματοποιούνται με τη χρήση τύπου , και στο τέλος γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Πιο συγκεκριμένα: Για τις διατομές κατηγορίας 1,2 και 3 ο τύπος για την αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό είναι  $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ .

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \gamma_{M0} = 1, A = 115,5 \text{ mm}^2$$

Επίσης, θα πρέπει να ισχύει  $\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$

Αντικαθιστώντας τους συντελεστές και τα δεδομένα το αποτέλεσμα της αντοχής σε λυγισμό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τιμή σχεδιασμού της αξονικής δύναμης, όπως προκύπτει από τον τύπο  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ .

Οπότε:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 2714,25 \text{ kN} \geq N_{ed} = 106,7 \text{ kN}$$

Για διατομές διπλής συμμετρίας I ή άλλες διατομές με πέλματα, αν ισχύουν τα ακόλουθα κριτήρια δε χρειάζεται να γίνεται απομείωση της πλαστικής ροπής αντοχής λόγω παρουσίας αξονικής δύναμης.

Πιο συγκεκριμένα:

IV.  $N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$

V.  $N_{ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$  ( Κριτήριο για απομείωση ή μη της  $M_{pl,y,Rd}$ )

VI.  $N_{ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$  ( Κριτήριο για απομείωση ή μη της  $M_{pl,y,Rd}$ )

Όμως αναλυτικά:

$$N_{ed} = 106,7 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{0,25 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 678,563 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 106,7 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 560,90 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 106,7 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 1121,80 \text{ kN}$$

Με βάση τα κριτήρια προκύπτει ότι σε κάθε περίπτωση από τις παραπάνω το  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ . Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής στην  $M_{pl,y,Rd}$  αλλά μόνο της καμπτικής ροπής  $M_{y,Ed}$  στον άξονα y-y.

$$M_{y,Ed} = 44970 \text{ kN cm} \leq M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 51559 \text{ kN cm}$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, W_{pl,y} = 2194 \text{ cm}^3$$

$$n = \frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

Όπου  $\Rightarrow n = 0,04 \leq 1$

### Συμπέρασμα

Από αυτό προκύπτει ότι το θλιβόμενο μέλος αντέχει σε λυγισμό.

### 4) Έλεγχος σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη.

Ο έλεγχος για διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη πραγματοποιήθηκε με τον ακόλουθο τύπο ο οποίος θα πρέπει να είναι  $\leq 1$ .

Αναλυτικότερα:



$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}}\right)^b \leq 1,0$$

Για διατομές I και H:  $\alpha=2$  και  $\beta=5\eta=0,2 < 1$

Από αντικατάσταση συντελεστών και δεδομένων προκύπτει ότι:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}}\right)^b = 0.761 \leq 1,0$$



Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 2194 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 335,9 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,Ed} = 44970 \text{ kN cm}, M_{z,Ed} = 0.16 \text{ kN/m}$$

### 5) Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

**Από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής ισοδύναμου μήκους λυγισμού y-y είναι :**

$$L = 1011.19 \text{ cm}$$

$$L_y = \beta \cdot L_C = 1213.43 \text{ cm}$$

$$\text{Όπου } \beta = 1.2$$

**Από τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής ισοδύναμου μήκους λυγισμού z-z είναι :**

$$L_z = 337.063 \text{ cm}$$

#### • Λυγηρότητα-Καμπύλες λυγισμού.

Στο προηγούμενο βήμα βρέθηκαν τα ισοδύναμα μήκη λυγισμού της ράβδου. Αυτά χρησιμεύουν στην εύρεση του συντελεστή της ανοιγμένης λυγηρότητας. Πιο αναλυτικά :

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000 \text{ MPA}}{235 \text{ MPA}}} = 93,9$$

Όπου:

$$\text{Μέτρο ελαστικότητας } E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

#### Εύρεση του συντελεστή ανοιγμένης λυγηρότητας $\lambda_{y,z}$ .

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = 59.39 \quad \text{με τον ίδιο τρόπο βρέθηκε και το } \lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = 78.20$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.6328 \quad \text{με τον ίδιο τρόπο βρέθηκε και το } \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0.8332$$

Συγκεντρωτικά η λυγηρότητα και η ανοιγμένη λυγηρότητα ως προς τις διευθύνσεις y-y και z-z φαίνονται στον πίνακα 61 που ακολουθεί:

Τύπος	Λυγηρότητα $\lambda = \frac{L}{i}$	Ανοιγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$
Διεύθυνση y-y	$\lambda_y = 59.39$	$\bar{\lambda}_y = 0.6328$
Διεύθυνση z-z	$\lambda_z = 78.20$	$\bar{\lambda}_z = 0.8332$

**Πίνακας 61:** Λυγηρότητες- Ανοιγμένες λυγηρότητες.

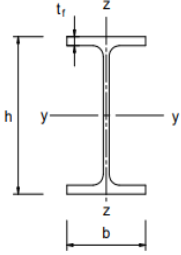
#### Μειωτικοί συντελεστές $\chi$ .

$$\text{Βρίσκεται ότι } \frac{h}{b} \cdot 2.5 \geq 1,2$$

$$\text{Και } t_f = 1.6 \leq 10 \text{ cm}$$

Προκύπτει ότι η διατομή της ράβδου, συγκρίνοντας το αποτέλεσμα με τα όρια που έχει ο πίνακας 52 για τις καμπύλες λυγισμού  $\geq 1,2$  η καμπύλη ανήκει στην κατηγορία b.

Επιπλέον έχοντας δεδομένο ότι το πάχος πέλματος  $t_f \leq 100\text{mm}$  διακρίθηκε ότι περί τον άξονα z-z' η καμπύλη λυγισμού ανήκει στην κατηγορία c.

Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού	
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40\text{ mm}$	y-y z-z	a b
		$40\text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100\text{ mm}$	y-y z-z	b c
		$t_f > 100\text{ mm}$	y-y z-z	d d

**Πίνακας 52:** Επιλογή καμπύλης λυγισμού για ελατές διατομές.

Έχοντας πλέον γνωστούς τους συντελεστές ανοιγμένης λυγηρότητας είναι εύκολο να βρεθούν οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπυλικού λυγισμού  $\chi_y, \chi_z$  από τον τύπο:

$$\chi_{y,z} = \frac{1}{\Phi_{y,z} + \sqrt{\Phi_{y,z}^2 - \bar{\lambda}_{y,z}^2}}, \text{ αλλά } \chi_{y,z} \leq 1,0$$

$$\Phi_{y,z} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{y,z} (\bar{\lambda}_{y,z} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,z}^2 \right]$$

$\alpha_{y,z}$ : συντελεστής ατελειών που εξαρτάται από τις καμπύλες λυγισμού δίνεται από τον πίνακα 42.

$\lambda_{y,z}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα δίνεται από τον πίνακα 61.

Καμπύλη λυγισμού	a	B	C	d
Συντελεστής ατελειών $\alpha$	0,21	0,34	0,49	0,76

**Πίνακας 42**

Ο παραπάνω πίνακας έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο μέρος και μεταφέρθηκε για διευκόλυνση των αναγνωστών.

Με αυτόν τον τρόπο και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{y,z}$  προκύπτει ότι για τον y-y.

$$\Phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.7738$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0.8203 \leq 1,0$$



Ακολούθως και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{y,z}$  προκύπτει ότι για τον z-z.

$$\Phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 1.0022$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0.6414 \leq 1,0$$



Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει συνοπτικά τα αποτελέσματα:

	Καμπύλη λυγισμού	Συντελεστής ατελειών α	Φ	Μειωτικός συντελεστής χ
Διεύθυνση y-y	b	0,34	0.7738	0.8203
Διεύθυνση z-z	c	0,49	1.0022	0.6414

**Πίνακας 62:** Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

### Συντελεστές αλληλεπίδρασης.

Εφόσον ο μειωτικός συντελεστής στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι πολύ κοντά στη μονάδα όπως φαίνεται και από το αποτέλεσμα παραπάνω το εξεταζόμενο μέλος δεν είναι ευαίσθητο σε στρεπτικές παραμορφώσεις και οι συντελεστές αλληλεπίδρασης υπολογίζονται με βάση το πίνακα 55 που ακολουθεί.

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Τύπος διατομών	Παραδοχές σχεδιασμού	
		ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
$k_{yy}$	διατομές I διατομές RHS	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
$k_{yz}$	διατομές I διατομές RHS	$k_{zz}$	$0,6 k_{zz}$
$k_{zy}$	διατομές I διατομές RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
$k_{zz}$	διατομές I	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
	διατομές RHS		$C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$

Για διατομές I και H και ορθογωνικές κοίλες διατομές με αξονική θλίψη και μονοαξονική κάμψη  $M_{y,Ed}$  ο συντελεστής  $k_{zy}$  μπορεί να είναι  $k_{zy} = 0$ .

**Πίνακας 55:** Συντελεστές αλληλεπίδρασης για μέλη μη ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις.

Από τριγωνικό διάγραμμα ροπών που βρίσκεται μέσα στο SOFISTIK προκύπτουν τα:

$$\psi M_h = \frac{-22307}{-18471} \quad \text{και} \quad \psi = \frac{-0.496}{-0.411}$$

Από τον πίνακα 55 και παίρνοντας από αυτόν τους τύπους πλαστικών ιδιοτήτων διατομών κατηγορίας 1, κατηγορία 2 προκύπτει ότι :

$$C_{my} = 0.4$$

$$C_{mz} = 0.9$$

Έχοντας τα στοιχεία αυτά η εύρεση των συντελεστών αλληλεπίδρασης γίνεται πιο εύκολη. Πιο συγκεκριμένα :

$$\bar{\lambda}_y - 0,2 = 0.43 < 0.80 \implies k_{yy} = C_{my} * \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{X_y * W_{pl,y} \frac{f_y}{Y_{M1}}} \right] = 0.40081$$

$$2 * \bar{\lambda}_y - 0,6 = 0,67 \leq 1,40 \implies k_{zz} = C_{mz} * \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{X_z * W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,90407$$

Από τον πίνακα 55 για διατομές Ι κατηγορίας 1 και 2 ισχύει:

$$K_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,24048$$

$$K_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,54244$$

### Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικόλυσισμό.

$$\frac{N_{sd}}{x_y * A * \frac{f_y}{\gamma_{\mu}}} + \frac{k_{yy} * M_{y,Ed}}{x_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{\mu}}} + \frac{k_{yz} * M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{\mu}}} = 0,39861 \leq 1,0$$



$$\frac{N_{sd}}{x_z * A * \frac{f_y}{\gamma_{\mu}}} + \frac{k_{zy} * M_{y,Ed}}{x_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{\mu}}} + \frac{k_{zz} * M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{\mu}}} = 0,27288 \leq 1,0$$



### 9.3.4. Έλεγχος δευτερευουσών δοκών

**Ράβδοι:** Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, έτσι κι εδώ, ο έλεγχος στα υποστύλωματα, στις δοκούς και στις ράβδους έγινε ανά τμήματα. Επιπλέον και σε αυτό το κομμάτι όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 ξεκίνησε από το ισόγειο. Πιο συγκεκριμένα, για τους στύλους οροφής ισογείου κατά άξονα Χ όπου αναλύονται, η αρίθμηση ξεκινά από το 101 έως το 110 και 201-205

**Επιλογή διατομής :** Η επιλογή διατομής έγινε συμφώνα από υπολογισμούς μέσω της υπορουτίνας AQUA , από τους τυποποιημένους πίνακες διατομών πάρθηκαν και τα αντίστοιχα δεδομένα. Αναλυτικότερα όπως φαίνεται στην συγκεκριμένη εργασία στον πίνακα 17 , η διατομή που επιλέχθηκε από τους μελετητές είναι η IPE 300. Βάση της κατηγορίας αυτής πάρθηκαν ως δεδομένο από τους τυποποιημένους πίνακες που υπάρχουν, το πλάτος διατομής b, το ύψος h και το πάχος κορμού t<sub>w</sub>.

Έπειτα, για την διευκόλυνση των πράξεων κατατάσσονται όλα τα δεδομένα που χρειαστήκαν για της πράξεις σε έναν πίνακα. Αυτά βρέθηκαν από το SOFISTIK.

Στοιχεία Διατομής		
Στοιχεία	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
h=	300	mm
b=	150	mm
t <sub>w</sub> =	7,1	mm
t <sub>f</sub> =	10,7	mm
h-2c=d=	248,6	mm
A=	53,81	cm <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	8356	cm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	603,8	cm <sup>4</sup>
W <sub>el,y</sub> =	557,1	cm <sup>3</sup>
W <sub>el,z</sub> =	80,50	cm <sup>3</sup>
i <sub>y</sub> =	12,46	cm
i <sub>z</sub> =	3,35	cm
I <sub>t</sub> =	20,12	cm <sup>4</sup>
I <sub>w</sub> =	125,9*10 <sup>-3</sup>	cm <sup>6</sup>
W <sub>pl,y</sub> =	628,4	cm <sup>3</sup>
W <sub>pl,z</sub> =	125,2	cm <sup>3</sup>

**Πίνακας 63:** Δεδομένα στοιχεία διατομής.

#### • Χαρακτηριστικά διατομής.

Συγκεντρωτικά στοιχεία και χαρακτηριστική της διατομής IPE300

### IPE 300

<b>Γεωμετρικά χαρακτηριστικά</b>	A(cm <sup>2</sup> )	h (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)		
<b>Αδρανειακά χαρακτηριστικά</b>	W <sub>pl,y</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>pl,z</sub> (cm <sup>3</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )	i <sub>y</sub> (cm)	i <sub>z</sub> (cm)
	628,4	125,2	8356	603,8	12,46	3,35

**Πίνακας 64:** Συγκεντρωτικός πίνακας για την διατομή IPE 300.

Για τις ράβδους 101-110 και 201-205 με διατομή IPE 300 δημιουργήθηκε από τους μελετητές μία περιβάλλουσα για τα μεγέθη που προαναφέρθηκαν και έτσι βγήκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα που διακρίνονται στον πίνακα 65.

- **Δρώντα εντατικά μεγέθη.**

Δρώντα εντατικά μεγέθη						
	N[kN]	VY[kN]	VZ[kN]	MT[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]
<b>Max MY</b>	-107.1	0.00	1.71	0.00	1.66	0.00
<b>Max N</b>	-24.5	0.13	15.84	0.00	-65.59	0.27

**Πίνακας 65:** Αποτελέσματα για ράβδους 101-110 και 201-205 με διατομή IPE 300.

- **Κατάταξη Διατομής.**

Αρχικά βρέθηκε η κατηγορία διατομής του κορμού και του πέλματος. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση κάποιων τύπων διαφορετικό για τον κορμό και διαφορετικό για το πέλμα.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- **✚ Για τον κορμό.**

Για να βρεθεί η κατηγορία του κορμού το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιήθηκε συγκρίθηκε με τις κατηγορίες κορμού από τον πίνακα 38. Όπως φαίνεται και στις παρακάτω πράξεις που έγιναν.

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2c}{t_w} = 35,01 \leq 38\varepsilon = 38$$

Έπειτα από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του κορμού (πίνακα 38) είναι τύπου 2.

- **✚ Για το πέλμα.**

Για το πέλμα ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως και του κορμού, αλλά με διαφορετικό τύπο. Για να βρεθεί η κατηγορία του πέλματος, το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιήθηκε συγκρίθηκε με τις κατηγορίες πέλματος από τον πίνακα 40.

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\left[\frac{b-t_w}{2-r}\right]}{t_f} = 5,28 \leq 9 \varepsilon = 9$$

Από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του πέλματος (πίνακα 40) είναι τύπου 1. Αυτό σημαίνει ότι το πέλμα είναι συγκολλητό και θλιβόμενο.

**Συμπέρασμα:**

Σύμφωνα με τα τελικά αποτελέσματα τα συμπεράσματα που ακολούθησαν, είναι ότι ο κορμός και το πέλμα ανήκουν στην κατηγορία 1, οπότε συνεπάγεται ότι και η διατομή ανήκει στην κατηγορία αυτή.

- **Απαιτούμενοι έλεγχοι**

Απαιτούμενοι έλεγχοι ράβδων

- |    |   |
|----|---|
| 1) | Έλεγχος σε λυγισμό.   |
| 2) | Αντοχή σε κάμψη και διάτμηση.                               |
| 3) | Αντοχή διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.        |
| 4) | Αντοχή σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη.                |
| 5) | Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.                  |
| 6) | Έλεγχος ελαστικής κρίσιμης ροπής στρεπτοκαμπτικού λυγισμού. |

**Πίνακας 66:** Απαιτούμενοι έλεγχοι

**7) Καμπύλες λυγισμού.**

Αφού έχει βρεθεί η κατηγορία διατομής, στο επόμενο βήμα έγινε η εύρεση κατηγορίας λυγισμού με τον κατάλληλο τύπο, ως προς τους άξονες y-y' και z-z'.

✚ Αρχικά βρέθηκε η κατηγορία της καμπύλης λυγισμού περί τον άξονα y-y'.

$$\frac{h}{b} = 2 \geq 1,2$$

Έπειτα, συγκρίνοντας το αποτέλεσμα με τα όρια που έχει ο πίνακας 41 για τις καμπύλες λυγισμού  $\geq 1,2$  η καμπύλη ανήκει στην κατηγορία b. Επιπλέον πάρθηκε ως δεδομένο ότι το πάχος πέλματος  $t \leq 40\text{mm}$  διακρίνεται ότι περί τον άξονα z-z' η καμπύλη λυγισμού ανήκει στην κατηγορία c.

Εφόσον βρέθηκαν οι κατηγορίες που ανήκουν οι κορμοί, τα πέλματα, η διατομή ακολουθεί ο έλεγχος κάθε ράβδους. Κάνοντας την αρχή με τους στύλους οροφής ισογείου κατά άξονα X.

**1) Έλεγχος σε Διάτμηση.**

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{z,Sd} = 15,84\text{kN}$$

Αρχικά η ράβδος ελέγχεται σε πλαστική οριακή τέμνουσα από τον τύπο :

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_z f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 348,2\text{kN} > V_{z,Sd} = 15,84\text{kN}$$



Συντελεστής διαρροής  $f_y = 235\text{N/mm}^2$

**2) Έλεγχος διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.**

Για να επιτευχθεί ο έλεγχος υπό κάμψη και αξονική δύναμη χρειάστηκε να γίνουν κάποιες δοκιμές με βάση την τιμή της αντοχής του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό ( $N_{pl,Rd}$ ), όπως φαίνεται και παρακάτω. Αυτές πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση τύπου, και στο τέλος γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Πιο συγκεκριμένα:

Για τις διατομές κατηγορίας 1,2 και 3 ο τύπος για την αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό είναι  $N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$ . Λόγω ότι, η διατομή που ελέγχεται έχει αποδειχθεί και παραπάνω ότι ανήκει στην κατηγορία 1, ο τύπος δεν θα αλλάξει.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

$$f_y = 235\text{N/mm}^2, A = 53,91\text{mm}^2$$

Επίσης, θα πρέπει να ισχύει  $\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$

Αντικαθιστώντας τους συντελεστές και τα δεδομένα το αποτέλεσμα της αντοχής σε λυγισμό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τιμή σχεδιασμού της αξονικής δύναμης, όπως προκύπτει από τον τύπο  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ .

Οπότε:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 1264 \text{ kN} \geq N_{ed} = 24.5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Για διατομές διπλής συμμετρίας I ή άλλες διατομές με πέλματα αν ισχύουν τα ακόλουθα κριτήρια δε χρειάζεται να γίνεται απομείωση της πλαστικής ροπής αντοχής λόγω παρουσίας αξονικής δύναμης.

Πιο συγκεκριμένα:

VII.  $N_{Ed} \leq 0.25 N_{pl,Rd}$

VIII.  $N_{ed} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$  (Κριτήριο για απομείωση ή μη της  $M_{pl,y,Rd}$ )

IX.  $N_{ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$  (Κριτήριο για απομείωση ή μη της  $M_{pl,y,Rd}$ )

Όμως αναλυτικά :

$$N_{ed} = 24.5 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{0.25 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 316.134 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$N_{ed} = 24.5 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 232.422 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$N_{ed} = 24.5 \text{ kN} \leq N_{pl,Rd} = \frac{h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 464.84 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Με βάση τα κριτήρια προκύπτει ότι σε κάθε περίπτωση από τις παραπάνω το  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ . Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής στην  $M_{pl,y,Rd}$  αλλά μόνο της καμπτικής ροπής  $M_{y,Ed}$  στον άξονα y-y.

$$M_{y,Ed} = 6559 \text{ kN cm} \leq M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 14767.4 \text{ kN cm} \quad \checkmark$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \gamma_{M1} = 1, W_{pl,y} = 628,4 \text{ cm}^3$$

$$n = \frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

Όπου  $\Rightarrow n = 0,02 \leq 1 \quad \checkmark$

**Από αυτό προκύπτει ότι το θλιβόμενο μέλος αντέχει σε λυγισμό.**

### 3) Έλεγχος σε διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη.

Ο έλεγχος για διαξονική κάμψη και αξονική θλίψη πραγματοποιήθηκε με τον ακόλουθο τύπο ο οποίος θα πρέπει να είναι  $\leq 1$ .

Αναλυτικότερα:

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\beta \leq 1,0$$

Για διατομές I και H:  $\alpha = 2$  και  $\beta = 5n = 0,42 < 1$

Από αντικατάσταση συντελεστών και δεδομένων προκύπτει ότι :

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_M}} \right)^\beta = 0.197 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, \gamma_M = 1$$

$$W_{pl,y} = 628,4 \text{ cm}^3, W_{pl,z} = 125,2 \text{ cm}^3$$

$$M_{y,Ed} = 6559 \text{ kN cm}, M_{z,Ed} = 0 \text{ kN/cm}$$

#### 4) Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Από τα δεδομένα το ισοδύναμο μήκος λυγισμού y-y είναι:

**Όποτε από αυτά τα δεδομένα προκύπτει ότι ο συντελεστής ισοδύναμου μήκους y-y είναι :**

$$L_y = 600 \text{ cm}$$

**Το ισοδύναμο μήκος λυγισμού z-z είναι :**

$$L_z = 600 \text{ cm}$$

#### • Λυγηρότητα-Καμπύλες λυγισμού.

Στο προηγούμενο βήμα βρέθηκαν τα ισοδύναμα μήκη λυγισμού της ράβδου. Αυτά χρησιμεύουν στην εύρεση του συντελεστή της ανοιγμένης λυγηρότητας.

Πιο αναλυτικά :

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{210000 \text{ MPA}}{235 \text{ MPA}} = 93,9$$

Όπου:

Μέτρο ελαστικότητας  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

#### Εύρεση του συντελεστή ανοιγμένης λυγηρότητας $\lambda_{y,z}$ .

$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = 48.15$  με τον ίδιο τρόπο βρίσκεται και το  $\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = 179.10$

$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0.5130$  με τον ίδιο τρόπο βρίσκεται και το  $\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1.9081$

Συγκεντρωτικά η λυγηρότητα και η ανοιγμένη λυγηρότητα ως προς τις διευθύνσεις y-y και z-z φαίνονται στον πίνακα 67 που ακολουθεί:

Τύπος	Λυγηρότητα $\lambda = \frac{L}{i}$	Ανοιγμένη λυγηρότητα $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$
Διεύθυνση y-y	$\lambda_y = 48.15$	$\bar{\lambda}_y = 0.5130$
Διεύθυνση z-z	$\lambda_z = 179.10$	$\bar{\lambda}_z = 1.9081$

**Πίνακας 67:** Λυγηρότητες-Ανοιγμένες λυγηρότητες.

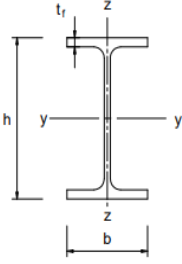
#### Μειωτικοί συντελεστές $\chi$ .

Βρίσκεται ότι  $\frac{h}{b} = 2 \geq 1,2$

Και  $t_f = 1.07 \leq 10 \text{ cm}$

Προκύπτει ότι η διατομή της ράβδου συγκρίνοντας το αποτέλεσμα με τα όρια που έχει ο πίνακας 52 για τις καμπύλες λυγισμού  $\geq 1,2$ η καμπύλη ανήκει στην κατηγορία b. Επιπλέον έχοντας δεδομένο ότι το πάχος πέλματος  $t_f \leq 100 \text{ mm}$  διακρίνεται ότι περί τον άξονα z-z' η καμπύλη λυγισμού ανήκει στην κατηγορία c.



Διατομή	Όρια	Λυγισμός περί τον άξονα	Καμπύλη λυγισμού
Ελατές διατομές 	h/b > 1,2	t <sub>f</sub> ≤ 40 mm	y-y z-z
		40 mm < t <sub>f</sub> ≤ 100	b c
	h/b ≤ 1,2	t <sub>f</sub> ≤ 100 mm	b c
		t <sub>f</sub> > 100 mm	d d

**Πίνακας 52:** Επιλογή καμπύλης λυγισμού για ελατές διατομές.

Έχοντας πλέον γνωστούς τους συντελεστές ανοιγμένης λυγηρότητας είναι εύκολο να βρεθούν οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπτικού λυγισμού  $\chi_y, \chi_z$  από τον τύπο:

$$\chi_{y,z} = \frac{1}{\phi_{y,z} + \sqrt{\phi_{y,z}^2 - \bar{\lambda}_{y,z}^2}}, \text{ αλλά } \chi_{y,z} \leq 1,0$$

Όπου:

$$\phi_{y,z} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{y,z} (\bar{\lambda}_{y,z} - 0,2) + \bar{\lambda}_{y,z}^2 \right]$$

$\alpha_{y,z}$ : συντελεστής ατελειών που εξαρτάται από τις καμπύλες λυγισμού δίνεται από τον πίνακα 42.

$\lambda_{y,z}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα δίνεται από τον πίνακα 67.

Καμπύλη λυγισμού	a	B	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0,21	0,34	0,49	0,76

**Πίνακας 42**

Με αυτόν τον τρόπο και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{y,z}$  προέκυψε ότι για τον y-y.

$$\phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.6848$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0.8784 \leq 1,0$$



Ακολούθως και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{y,z}$  προέκυψε ότι για τον z-z.

$$\phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 2.7389$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0.2126 \leq 1,0$$



Ακολουθεί πίνακας που παρουσιάζει συνοπτικά τα αποτελέσματα:

	Καμπύλη λυγισμού	Συντελεστής ατελειών α	Φ	Μειωτικός συντελεστής Χ
Διεύθυνση y-y	b	0,34	0.6848	0.8784
Διεύθυνση z-z	c	0,49	2.7389	0.2126

**Πίνακας 68:** Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

### 5) Ελαστική κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{l_{LT}^2} * \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^2 * G * I_t}{\pi^2 E I_z}}$$

Όπου:

$k_w=1$ : Ο συντελεστής που αφορά τη στρέβλωση του άκρου και σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 είναι ίσος με 1,0.

$K=1$ : Ο συντελεστής που αφορά τη στροφή του άκρου στο οριζόντιο επίπεδο και εδώ θεωρείται ότι υπάρχουν απλές στηρίξεις στα άκρα της δοκού άρα είναι ίσος με 1,0.

$l_{LT}=600\text{cm}$

$C_1=1,285$ : Από τον πίνακα 44 σύμφωνα με την τιμή του  $K=1$  και την συνθήκη στήριξης και φόρτισης.

Μέτρο ελαστικότητας  $E=210.000 \text{ N/mm}^2$

Μέτρο διάτμησης  $G = \frac{E}{2*(1+\nu)} = 8076.92$

Λόγος Poisson στην ελαστική περιοχή  $\nu=0,3$

Όποτε με βάση όλα τα παραπάνω δεδομένα το αποτέλεσμα είναι :

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{l_{LT}^2} * \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{LT}^2 * G * I_t}{\pi^2 E I_z}} = 11606.4 \text{ KN*cm}$$

### Λυγηρότητα στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}}$$

$\lambda_{LT}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα για τον πλευρικό λυγισμό.

Όπου:

$M_{pl,y} = W_{pl,y} * f_y = 14767.4 \text{ kN*cm}$

Και ως γνωστό  $M_{y,Ed} = 6559 \text{ kN*cm}$

Άρα αντικαθιστώντας  $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = 1.1280 > 0,2$  ή  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} = 0.05651 > 0,04$ .

Αυτό σημαίνει ότι η επιρροή στρεπτο καμπτικού λυγισμού δεν μπορεί να αγνοηθεί.

### Καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

$$\frac{h}{b} = 2 \geq 1.2$$

Από το αποτέλεσμα αυτό και για ελατές διατομές τύπου I επιλέγεται η καμπύλη a σύμφωνα με τον πίνακα 54.

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

### Πίνακας 54

Όποτε προκύπτει από τον πίνακα 42 ότι ο συντελεστής ατελειών  $\alpha_{LT} = 0.21$ .

Καμπύλη λυγισμού	a	B	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0,21	0,34	0,49	0,76

### Πίνακας 42

Έχοντας πλέον γνωστό τον συντελεστή ανοιγμένης λυγηρότητας είναι εύκολο να βρεθεί ο μειωτικός συντελεστής λόγω καμπτικού λυγισμού  $\chi_{LT}$  από τον τύπο:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ αλλά } \chi_{y,z} \leq 1,0$$

Όπου  $\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$   
 $\alpha_{LT}$ : συντελεστής ατελειών από πίνακα 42  
 $\lambda_{LT}$ : ανοιγμένη λυγηρότητα από πίνακα 67

Με αυτόν τον τρόπο και ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{LR}$  προκύπτει ότι:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 1.2336$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0.5770 \leq 1,0$$



Επίσης βρίσκεται,

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_M} = 8520.95 \text{ KN cm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = 0.7697 \leq 1,0$$

Συμπερασματικά σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πράξεων η δοκός αντέχει σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

### Συντελεστές αλληλεπίδρασης.

Εφόσον ο μειωτικός συντελεστής στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι πολύ κοντά στη μονάδα όπως φαίνεται και από το αποτέλεσμα παραπάνω το εξεταζόμενο μέλος δεν είναι ευαίσθητο σε στρεπτικές παραμορφώσεις και οι συντελεστές αλληλεπίδρασης υπολογίζονται με βάση το πίνακα 55 που ακολουθεί.

Συντελεστές αλληλεπίδρασης	Τύπος διατομών	Παραδοχές σχεδιασμού	
		ελαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 3, κατηγορία 4	πλαστικές ιδιότητες διατομών κατηγορία 1, κατηγορία 2
$k_{yy}$	διατομές I διατομές RHS	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_y N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
$k_{yz}$	διατομές I διατομές RHS	$k_{zz}$	$0,6 k_{zz}$
$k_{zy}$	διατομές I διατομές RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
$k_{zz}$	διατομές I	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$
	διατομές RHS	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{X_z N_{Rk} / Y_{M1}} \right)$

Για διατομές I και H και ορθογωνικές κοίλες διατομές με αξονική θλίψη και μονοαξονική κάμψη  $M_{y,Ed}$  ο συντελεστής  $k_{zy}$  μπορεί να είναι  $k_{zy} = 0$ .

**Πίνακας 55: Συντελεστές αλληλεπίδρασης για μέλη μη ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις.**

Από τριγωνικό διάγραμμα ροπών που βρίσκεται μέσα στο SOFISTIK προκύπτουν τα :  
 $\psi M_h = -12218$  και  $\psi = -73.602$

Από τον πίνακα 55 από τον οποίο πάρθηκαν οι τύποι πλαστικών ιδιοτήτων διατομών κατηγορίας 1, κατηγορία 2 προκύπτει ότι:

$$C_{my} = 0.5$$

$$C_{mz} = 0.9$$

Έχοντας τα στοιχεία αυτά η εύρεση των συντελεστών αλληλεπίδρασης γίνεται πιο εύκολη. Πιο συγκεκριμένα :

$$\bar{\lambda}_y - 0,2 = 0,31 \leq 0,80 \implies k_{yy} = C_{my} * \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{X_y * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,5033$$

$$2 * \bar{\lambda}_y - 0,6 = 0,43 \leq 1,40 \implies k_{zz} = C_{mz} * \left[ 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{X_z * W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,94298$$

Από τον πίνακα 55 για διατομές Ι κατηγορίας 1 και 2 ισχύει :

$$K_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,30198$$

$$K_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,56579$$

### Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

$$\frac{N_{sd}}{x_y * A * \frac{f_y}{\gamma_\mu}} + \frac{k_{yy} * M_{y,Ed}}{x_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_\mu}} + \frac{k_{yz} * M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_\mu}} = 0,1049 \leq 1,0$$



$$\frac{N_{sd}}{x_z * A * \frac{f_y}{\gamma_\mu}} + \frac{k_{zy} * M_{y,Ed}}{x_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_\mu}} + \frac{k_{zz} * M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_\mu}} = 0,40347 \leq 1,0$$



### **9.3.5. Έλεγχος διαγώνιων στοιχείων κατακόρυφων συνδέσμων δυσκαμψίας**

**Ράβδοι:** Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, έτσι κι εδώ, ο έλεγχος στα υποστυλώματα, στις δοκούς και στις ράβδους έγινε ανά τμήματα. Επιπλέον και σε αυτό το κομμάτι όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 ξεκίνησε από το ισόγειο. Για τους χιαστί συνδέσμους ισόγειου όπου αναλύονται η αρίθμηση ξεκινά από το 10001 έως το 10008.

**Επιλογή διατομής:** Οι κατακόρυφοι σύνδεσμοι προσφέρουν στην κατασκευή περισσότερη δυσκαμψία από ότι οι οριζόντιοι σύνδεσμοι. Στην μελέτη όπου σχολιάζεται χρησιμοποιήθηκαν διαγώνιοι σύνδεσμοι διατομής τύπου SH 100 100 5. Σε αυτή την κατηγορία διατομής που επιλέχθηκε οι οριζόντιες δυνάμεις εναλλασσόμενης φοράς αφορούν μόνο τις εφελκυστικές διαγώνιους, ενώ η συμμετοχή των θλιβόμενων δεν λαμβάνεται υπόψη. Για αυτό τον λόγο δεν γίνεται έλεγχος σε θλίψη, βάση της κατηγορίας αυτής παίρνονται ως δεδομένο από τους τυποποιημένους πίνακες που υπάρχουν, το πλάτος διατομής b, το ύψος h και το πάχος κορμού t<sub>w</sub>.

Στοιχεία Διατομής		
Στοιχεία	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
h=	100	mm
b=	100	mm
t=	5,0	mm
A=	18,73	cm <sup>2</sup>

**Πίνακας 69:** Δεδομένα στοιχεία διατομής.

Για τις ράβδους 10001-10008 με διατομή SH 100 100 5 δημιουργήθηκε από τους μελετητές μία περιβάλλουσα για τα μεγέθη που προαναφέρθηκαν και έτσι βγήκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα που διακρίνονται στον πίνακα 70.

#### • Δρώντα εντατικά μεγέθη.

	N[kN]
Min	-69.2
Max	58.4

**Πίνακας 70:** Αποτελέσματα για ράβδους 10001-10008 διατομής SH 100 100 5.

• **Απαιτούμενοι έλεγχοι**

Απαιτούμενοι έλεγχοι ράβδων

- 1) Έλεγχος σε θλίψη –λυγισμό-εφελκυσμό
- 2) Αντοχή διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.

**Πίνακας 71:** Απαιτούμενη έλεγχοι

**A. Ράβδος 10007 ( Φόρτιση 63 )**

1) Έλεγχος σε εφελκυσμό.

$$N_{Sd}=58,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{18,73 \cdot 23,5}{1,1} = 400,14 \text{ kN} \geq N_{ed} = 58,4 \text{ kN}$$



**B. Ράβδος 10007 ( Φόρτιση 63 )**

2) Έλεγχος σε θλίψη –λυγισμό.

$$N_{Sd} = -69,2 \text{ kN}$$

Για κοίλες εν θερμώ διατομές έχουμε καμπύλη λυγισμού α. Αυτό σημαίνει ότι από τον πίνακα 42  $\alpha_y = 0.21$ .

Καμπύλη λυγισμού	A	B	c	d
Συντελεστής ατελειών α	0,21	0,34	0,49	0,76

**Πίνακας 42**

**Εύρεση του συντελεστή ανοιγμένης λυγηρότητας  $\lambda_{y,y}$ .**

$$\lambda_y = \frac{0,50 \cdot L_y}{i_y} = 129,46$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1.38$$

Ύστερα από αντικατάσταση του  $\lambda_{y,y}$  προκύπτει ότι για τον y-y.

$$\Phi_y = 0,5 \left[ 1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 1.5749$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0.43 \leq 1,0$$



3) Έλεγχος διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.

Για τις διατομές κατηγορίας 1,2 και 3 ο τύπος για την αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό είναι  $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ .

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, A = 18.73 \text{ mm}^2$$

Επίσης, θα πρέπει να ισχύει  $\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$

Αντικαθιστώντας τους συντελεστές και τα δεδομένα, το αποτέλεσμα της αντοχής σε λυγισμό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τιμή σχεδιασμού της αξονικής δύναμης, όπως προκύπτει από τον τύπο  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ .

Οπότε:

$$N_{pl,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,43 \cdot \frac{18,73 \cdot 23,5}{1} = 189,26 \text{ kN} \geq N_{ed} = 69,2 \text{ kN}$$



$$n = \frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

Όπου  $\Rightarrow n = 0,37 \leq 1$



### 9.3.6. Έλεγχος διαγώνιων στοιχείων οριζόντιων συνδέσμων δυσκαμψίας.

**Ράβδοι:** Η αρίθμηση όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 2 ξεκίνησε από το επίπεδο του δαπέδου-ισογείου. Δηλαδή, για τους οριζόντιους χιαστί συνδέσμους ισογείου όπου αναλύονται η αρίθμηση ξεκινά από το 20001 έως το 20020.

**Επιλογή διατομής :** Οι οριζόντιοι σύνδεσμοι αποτελούν διαφράγματα με κύριο σκοπό την ανάληψη σημαντικών οριζόντιων δυνάμεων και τη μεταφορά αυτών στους κατακόρυφους φορείς. Αυτή η μεταφορά θα πρέπει να γίνεται με επαρκή υπεραντοχή. Για αυτό οι δράσεις που προκύπτουν από τους σεισμικούς συνδυασμούς θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή μεγεθύνσεως. Στη παρούσα εργασία δεν απαιτήθηκε η χρήση του παρπάνω συντελεστή, αφού ο σεισμικός έλεγχος του κτιρίου έγινε με ελαστικό σχεδιασμό. Η διατομή που επιλέχθηκε είναι L 60 60 6. Βάση της κατηγορίας αυτής παίρνονται ως δεδομένο από τους τυποποιημένους πίνακες που υπάρχουν, το πλάτος διατομής  $b$ , το ύψος  $h$  και το πάχος κορμού  $t_w$ .

Στοιχεία Διατομής		
Στοιχεία	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
$h=$	60	mm
$b=$	60	mm
$t=$	6,0	Mm
$A=$	6,91	cm <sup>2</sup>

**Πίνακας 72:** Δεδομένα στοιχεία διατομής.

Για τις ράβδους 20001-20020 με διατομή L 60 60 6 δημιουργήθηκε από τους μελετητές μία περιβάλλουσα των μεγεθών που προαναφέρθηκαν και έτσι βγήκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα που διακρίνονται στον πίνακα 73.

- **Δρώντα εντατικά μεγέθη**

	N[kN]
Min	-55.3
Max	47.4

**Πίνακας 73:** Αποτελέσματα για ράβδους 20001-20020 με διατομή L 60 60 6.

- **Απαιτούμενοι έλεγχοι**

Απαιτούμενοι έλεγχοι ράβδων

- 1) Έλεγχος σε λυγισμό - εφελκυσμό
- 2) Αντοχή διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.

**Πίνακας 74**

**A. Ράβδος 20019 ( Φόρτιση 63 )**

1) Έλεγχος σε εφελκυσμό.

$$N_{Sd}=47,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd}=\frac{A \cdot f_y}{\gamma_M}=\frac{6,91 \cdot 23,5}{1,1}=147,6 \text{ kN} \geq N_{ed}=47,4 \text{ kN}$$



**B. Ράβδος 20011 ( Φόρτιση 64 )**

2) Έλεγχος σε λυγισμό.

$$N_{Sd}=-55.3 \text{ kN}$$

Για διατομές τύπου L η καμπύλη λυγισμού είναι τύπου c. Αυτό σημαίνει ότι από τον πίνακα 42  $\alpha_y=0.49$ .

Καμπύλη λυγισμού	A	b	c	d
Συντελεστής ατελειών $\alpha$	0,21	0,34	0,49	0,76

**Πίνακας 42**

### 3) Έλεγχος διατομής μέλους υπό κάμψη και αξονική δύναμη.

Για τις διατομές κατηγορίας 1,2 και 3 ο τύπος για την αντοχή θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό είναι  $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$ .

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2, A = 18.73 \text{ mm}^2$$

Επίσης, θα πρέπει να ισχύει  $\frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$

Αντικαθιστώντας τους συντελεστές και τα δεδομένα, το αποτέλεσμα της αντοχής σε λυγισμό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τιμή σχεδιασμού της αξονικής δύναμης, όπως προκύπτει από τον τύπο  $N_{ed} \leq N_{pl,Rd}$ .

Οπότε :

$$N_{pl,Rd} = \chi * \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 1,0 * \frac{6,91 * 23,5}{1} = 162,38 \text{ kN} \geq N_{ed} = 55,3 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$n = \frac{N_{ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\text{Όπου } \Rightarrow n = 0,34 \leq 1 \quad \checkmark$$

#### 9.3.7. Τεγίδες

Ο υπολογισμός των τεγίδων, στη πτυχιακή που σχολιάζεται, έγινε στο χέρι. Οι φορτίσεις που ελήφθησαν υπόψιν είναι εκείνες του χιονιού και του ανέμου όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια. Επιπροσθέτως, ανάλογα το αποτέλεσμα γινόταν η εισαγωγή στο SOFISTIK ως φόρτιση για να παραλάβουν όλο το βάρος από τους κύριους φορείς της κατασκευής.

#### Έλεγχος τεγίδων.

**Επιλογή διατομής:** Η διατομή που επιλέχθηκε και ελέγχθηκε είναι η IPE 200. Βάση της κατηγορίας αυτής παίρνονται ως δεδομένο από τον πίνακα 17 που υπάρχει, το πλάτος διατομής b, το ύψος h και το πάχος κορμού  $t_w$ .

Στοιχεία Διατομής		
Στοιχεία	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
h=	200	mm
b=	100	mm
$t_w$ =	5,6	mm
$t_f$ =	8,5	mm
A=	28,5	cm <sup>2</sup>
d=	159	mm
$I_y$ =	1940	cm <sup>4</sup>
$I_z$ =	142	cm <sup>4</sup>
$W_{el,y}$ =	28,5	cm <sup>3</sup>
$W_{el,z}$ =	45,6	cm <sup>3</sup>
$i_y$ =	8,26	cm
$i_z$ =	2,24	cm
$W_{pl,y}$ =	221	cm <sup>3</sup>
$W_{pl,z}$ =	1,6	cm <sup>3</sup>

**Πίνακας 75:** Δεδομένα στοιχεία διατομής.

### • Κατάταξη διατομής :

#### ✚ Για τον κορμό.

Για να βρεθεί η κατηγορία του κορμού το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιήθηκε θα πρέπει συγκρίθηκε με τις κατηγορίες κορμού από τον πίνακα 38. Όπως φαίνεται και στις παρακάτω πράξεις που έγιναν.

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h-2c}{t_w} = 28,39 \leq 33 \varepsilon = 33$$

Έπειτα από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του κορμού (πίνακα 38) είναι τύπου 1.

#### ✚ Για το πέλμα.

Για το πέλμα ακολουθείτε η ίδια διαδικασία όπως και του κορμού, αλλά με διαφορετικό τύπο. Για να βρεθεί η κατηγορία του πέλματος το αποτέλεσμα του τύπου που χρησιμοποιήθηκε έγινε σύγκριση με τις κατηγορίες πέλματος από τον πίνακα 40.

$$\frac{c}{t_f} = 5,88 \leq 9 \varepsilon = 9$$

Από το αποτέλεσμα διακρίνεται ότι η κατηγορία του πέλματος (πίνακα 40) είναι τύπου 1. Αυτό σημαίνει ότι το πέλμα είναι συγκολλητό και θλιβόμενο.

### Συμπέρασμα :

Σύμφωνα με τα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα που ακολούθησαν, ο κορμός και το πέλμα ανήκουν στην κατηγορία 1, οπότε συνεπάγεται ότι και η διατομή ανήκει στην κατηγορία αυτή.

Οι μελετητές της εργασίας όπου σχολιάζεται αποφάσισαν ότι η τοποθέτηση των τεγίδων θα έχει την εξής ακολουθία : Τοποθετήθηκαν 8 ανά 1.45 m με κλίση  $\varphi=8,53^\circ$

Τα φορτία που ασκούνται στις τεγίδες δίνονται παρακάτω :

$$\begin{aligned} \text{Μόνιμο : } g &= 0,35 \text{ kN/m}^2 \quad \Rightarrow \quad 0,441 \text{ kN/m} \\ \text{Κινητό : } q &= 0,5 \text{ kN/m}^3 \quad \Rightarrow \quad 0,63 \text{ kN/m} \\ \text{Άνεμος : } w &= 1,25 \text{ kN/m}^4 \quad \Rightarrow \quad 1,575 \text{ kN/m} \\ \text{Χιόνι : } s &= 1,0 \text{ kN/m}^5 \quad \Rightarrow \quad 1,26 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

### • Απαιτούμενοι έλεγχοι

Απαιτούμενοι έλεγχοι τεγίδων

1)	Έλεγχος σε διαξονική κάμψη.
2)	Έλεγχος σε τέμνουσα.
3)	Έλεγχος σε οριακές καταστάσεις αστοχίας.
4)	Ελαστικός έλεγχος αντοχής σε διαξονική κάμψη.
5)	Έλεγχος διατμητικών τάσεων κατά Z.
6)	Έλεγχος διατμητικών τάσεων κατά X.
7)	Έλεγχος σε οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (βέλη).

**Πίνακας 76:** Απαιτούμενη έλεγχοι τεγίδων

#### 1) Έλεγχος σε διαξονική κάμψη .

$$\bullet N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 608,6 \text{ kN}$$

Έπειτα ακολουθεί ο τύπος:

$$\bullet M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 47,21 \text{ kN} \cdot \text{cm}$$

Όπου:

$$W_{pl,y} = 221 \text{ cm}^3 \text{ και } f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

Επίσης για το τύπο που ακολουθεί ως δεδομένο ισχύει ότι  $n < a$ :

$$\bullet a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = 0,40$$



Έπειτα από την εύρεση του  $a$  και έχοντας ως δεδομένο ο τύπος  $M_{Ny,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} * (1-n)}{1-0,5*a}$  έπειτα από αντικατάσταση γίνεται:

$$\bullet M_{Ny,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd} * (1-n)}{1-0,5*a} = 59,15 \text{ kNm} > M_{pl,y,Rd} \geq M_{Ny,Rd} = 47,21 \text{ kNm}$$

Ακόμη

$$\bullet W_{pl,z} = 1,15 * W_{el,z} = 1,15 * 52,9 = 45,60 \text{ cm}^3$$

Επειδή όπως προαναφέρθηκε το  $n < a$  το  $M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd}$

$$\text{Άρα ο τύπος γίνεται } M_{Ny,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = 9,74 \text{ kNm}$$

## 2) Έλεγχος τεγίδας σε τέμνουσα.

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{z,Sd} = \frac{A_v * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 143,67 \text{ kN}$$

Όπου:

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 \text{ και } A = 28,5 \text{ cm}^2$$

Επειδή  $V_{z,Sd} < 0,5 * V_{pl,z,Rd}$  δεν απαιτείται απομείωση της πλαστικής ροπής αντοχής της διατομής.

## 3) Έλεγχος σε οριακές καταστάσεις αστοχίας.

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$L = 6 \text{ m}$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

- $Q_{Ed,y} = [1,35 * g + 1,50 * (q + s)] * \cos \varphi = 3.3924 \text{ kN/m}$
- $Q_{Ed,z} = [1,35 * g + 1,50 * (q + s)] * \sin \varphi = 0.5086 \text{ kN/m}$
- $M_{ed,y} = \frac{q_{Ed,y} * L^2}{8} = 15.27 \text{ kNm}$  ,  $V_{ed,y} = \frac{q_{Ed,y} * L}{2} = 10.18 \text{ kN}$
- $M_{ed,z} = \frac{q_{Ed,z} * L^2}{8} = 2.29 \text{ kNm}$  ,  $V_{ed,z} = \frac{q_{Ed,z} * L}{2} = 1.53 \text{ kN}$

## 4) Ελαστικός έλεγχος αντοχής σε διαξονική κάμψη.

Ο έλεγχος για διαξονική κάμψη πραγματοποιήθηκε με τον ακόλουθο τύπο ο οποίος θα πρέπει να είναι  $\leq 1$ . Αναλυτικότερα:

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^1 + \left( \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^1 \leq 1,0$$

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^1 + \left( \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^1 = 0.6764 \leq 1,0$$

### Συμπέρασμα:

Σύμφωνα με τις παραπάνω πράξεις το αποτέλεσμα που απορρέει είναι ότι οι τεγίδες αντέχουν σε διαξονική κάμψη.

## 5) Έλεγχος διατμητικών τάσεων κατά Z άξονα.

### ΔΕΔΟΜΕΝΑ

$$E=21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$\nu=0.3$$

$$G=8076.92 \text{ kN/cm}^2$$

- $A_w=h_w*t_w=10.25 \text{ cm}^2$
- $T_{Ed,xz}=\frac{V_{Ed,z}}{A_w}=0.15 \text{ kN/cm}^2$  ,  $\frac{\tau_{Ed,xz}}{\frac{f_y}{\gamma_M*\sqrt{3}}}=0.011\leq 1$

## 6) Έλεγχος διατμητικών τάσεων κατά X άξονα.

- $A_f=b*t_f=8.50 \text{ cm}^2$
- $T_{Ed,xy}=1,50 * \frac{V_{Ed,y}}{2*A_f}=0.20 \text{ kN/cm}^2$  ,  $\frac{\tau_{Ed,xy}}{\frac{f_y}{\gamma_M*\sqrt{3}}}=0.066\leq 1$

## 7) Έλεγχος σε οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (βέλη).

### ✚ Κινητά και μόνιμα φορτία και βέλος κάμψεως για βατές στένες.

- $Q_{Ed,y}=[1,00 * g + 1,00 * (q + s)] * \cos \varphi=2.3052 \text{ kN/m}$
- $Q_{Ed,z}=[1,00 * g + 1,00 * (q + s)] * \sin \varphi=0.3456 \text{ kN/m}$
- $W_z=\frac{5}{384} * \frac{q_z*l^4}{E*I_y}=0.14292 \text{ cm}$
- $W_y=\frac{5}{384} * \frac{q_y*l^4}{E*I_z}=2.16 \text{ cm}$
- $W=\sqrt{W_z^2 + W_y^2}=2.34 \text{ cm} < \frac{l}{200}=3 \text{ cm}$

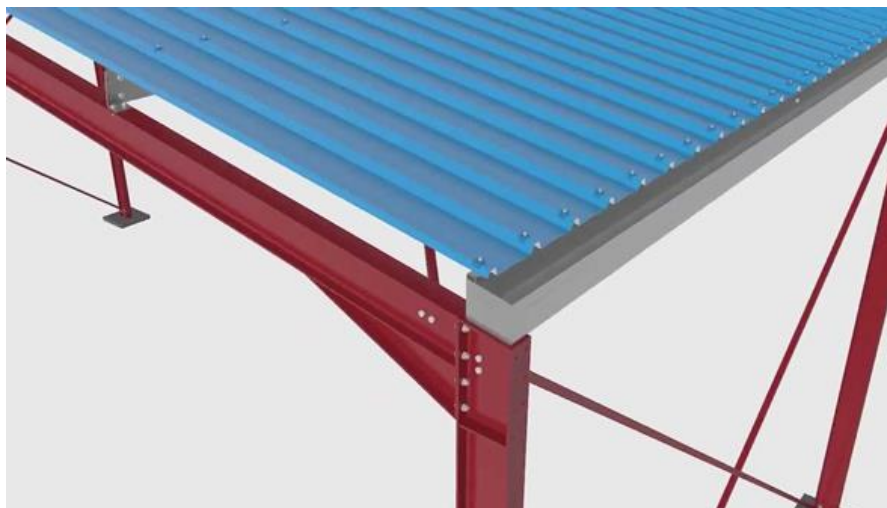
### ✚ Κινητά φορτία και βέλος κάμψεως για βατές στένες.

- $Q_{Ed,y}=[1,00 * (q + s)] * \cos \varphi=1.8691 \text{ kN/m}$
- $Q_{Ed,z}=[1,00 * (q + s)] * \sin \varphi=0.2802 \text{ kN/m}$
- $W_z=\frac{5}{384} * \frac{q_z*l^4}{E*I_y}=0.11588 \text{ cm}$
- $W_y=\frac{5}{384} * \frac{q_y*l^4}{E*I_z}=1.85475 \text{ cm}$
- $W=\sqrt{W_z^2 + W_y^2}=1.948 \text{ cm} < \frac{l}{200}=2.4 \text{ cm}$

## 9.4 Συνδέσεις μελών

Οι μεταλλικές κατασκευές, όπως και οι περισσότερες κατασκευές αποτελούνται και από επιμέρους τμήματα. Στο συγκεκριμένο κομμάτι αυτά τα τμήματα είναι προκατασκευασμένα και μπορούν να μεταφέρονται στο σημείο που εκτελείται το έργο και εκεί είναι εφικτό να γίνεται η μεταξύ τους σύνδεση. Επιπλέον και τα επιμέρους αυτά προκατασκευασμένα τμήματα, υποδιαιρούνται και σε μικρότερα τα οποία και πάλι πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με τους ίδιους τρόπους.

Για το λόγο, ότι οι κατασκευές έχουν τελικό σκοπό να εκμεταλλεύονται στο έπακρον την αντοχή και την πλαστικότητα των μελών ενός χαλύβδινου πλαισίου, οι συνδέσεις θα πρέπει να παρέχουν τη δυνατότητα για ανάπτυξη ολόκληρης της πλαστικής ικανότητας τους. Επειδή όμως η συμπεριφορά των συνδέσεων ειδικά σε ακραίες καταστάσεις δεν είναι τόσο καλά γνωστή σε σχέση με αυτή των μελών, κατά τον σχεδιασμό χρειάζεται να γίνεται μία πιο σημαντική προσέγγιση στις συνδέσεις από ότι στα μέλη της κατασκευής.

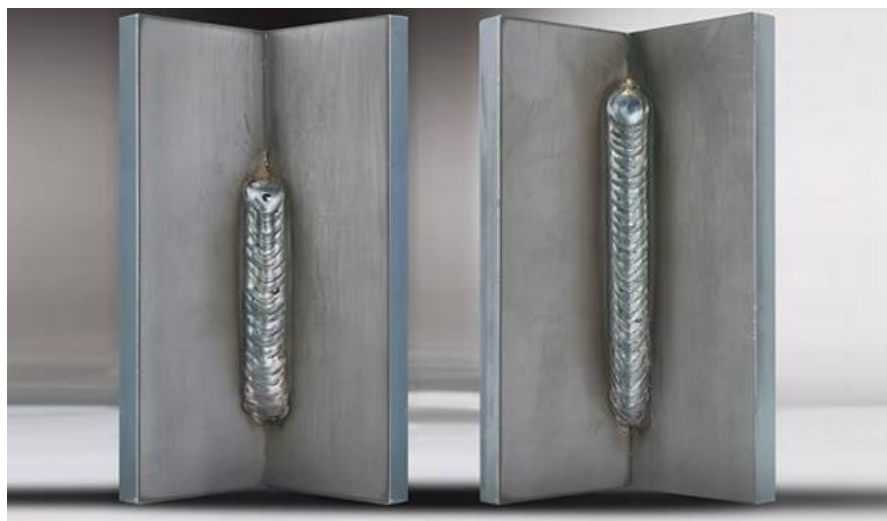


**Σχήμα 9.12:** Σύνδεση μελών οροφής και δοκών.

#### **9.4.1. Σύνθεση τμημάτων μεταλλικού κτηρίου**

Υπάρχουν κάποιες προϋποθέσεις για τις συνδέσεις, που καλό θα ήταν να λαμβάνονται υπόψιν κατά τη μελέτη που αφορά τις συνδέσεις. Πιο συγκεκριμένα δεν θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε κατασκευαστικά λάθη ή κατασκευαστικές ατέλειες γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπολογίζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να καθιστούν την κατασκευή και την ανέγερση των φορέων απλή και γρήγορη.

Οι ενώσεις, συνηθίζονται να γίνονται σε συνδυασμό ή μεμονωμένα με εσωραφές, εξωραφές, κοχλιώσεις και ηλώσεις. Η σύνδεση που γίνεται αποκλειστικά με τις δύο τελευταίες περιπτώσεις, δηλαδή σύνδεση με κοχλιώσεις ή ηλώσεις είναι αρκετά ακριβή και μεγάλη σε μέγεθος κι έτσι αυξάνεται και το κόστος της κατασκευής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέθοδος με πλήρη συγκόλληση ή με συνδυασμό συγκόλλησης και κοχλίωσης αποτελεί την πιο γνωστή μορφή συνδέσεων.



**Σχήμα 9.13:** Σύνδεση μελών με τη μέθοδο συγκόλλησης.

#### **9.4.2. Συγκόλληση με μετωπικές πλάκες**

Στην εργασία που αναλύεται, οι έλεγχοι στο συγκεκριμένο κομμάτι έγιναν μέσω μίας εφαρμογής η οποία ονομάζεται INSTANT 2000 (Interactive Steel work Analysis Tools) και τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτά που έβγαλε το πρόγραμμα SOFISTIK μετά από υπολογισμό που έγινε στο χέρι.

### 9.4.3. Προβλέψεις κανονισμού

Η διατομή των στοιχείων τα οποία συνδέονται στη κατασκευή, δηλαδή οι δοκοί και τα υποστυλώματα έχουν άμεση σχέση με τους κόμβους και πιο συγκεκριμένα έχουν σχέση με τη διαμόρφωσή τους. Η διαμόρφωση των κόμβων εξαρτάται και από την συμπεριφορά που θα πρέπει να έχουν τα στοιχεία σύνδεσης σχετικά με την αντοχή και την δυσκαμψία τους. Η διάκριση γίνεται σύμφωνα με τον τρόπο που συνδέεται η μεταλλική κατασκευή.

Οι τρόποι σύνδεσης γίνονται, με συγκόλληση, με μετωπικές πλάκες, με εγκάρσια συγκολλητά στο πέλμα του υποστυλώματος ελάσματα, με χρήση γωνιακών, με απλή έδραση των σιδηροδοκών επί συγκολλητών χαλύβδινων τάκων ή χωρίς καμία σύνδεση των σιδηροδοκών. Στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 77) παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι κατηγορίες συνδέσεων που καλύπτονται από το πρόγραμμα INSTANT 2000.

<b>A. ΗΜΙΑΚΑΜΠΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ</b>	
A1. Συγκολλητές	Η δοκός συγκολλάται στο πέλμα του υποστυλώματος.
A2. Κοχλιωτές	Η δοκός συγκολλάται στη μετωπική πλάκα. Η μετωπική πλάκα κοχλιώνεται στο πέλμα του υποστυλώματος.
<b>B. ΑΡΘΡΩΤΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΑΙ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΔΟΚΟ</b>	
B1. Μέσω ζεύγους γωνιακού	Ζεύγος γωνιακών που κοχλιώνεται στη δοκό και στο πέλμα/κορμό του υποστυλώματος/κύριας δοκού.
B2. Μέσω μετωπικής πλάκας	Η δοκός συγκολλάται στη μετωπική πλάκα. Η μετωπική πλάκα κοχλιώνεται στο κορμό ή στο πέλμα του υποστυλώματος/κύριας δοκού.
<b>Γ. ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΜΕΛΩΝ</b>	
Γ1. Ημιάκαμπτη/Μετωπική	Τα μέλη συγκολλούνται σε μετωπικές πλάκες. Οι μετωπικές πλάκες κοχλιώνονται μεταξύ τους.
Γ2. Αρθρωτή/Αρμοκαλύματα	Η συνέχεια γίνεται μέσω λεπίδων κορμού.
Γ3. Ροπή/Αρμοκαλύματα	Η συνέχεια γίνεται μέσω λεπίδων κορμού και πελμάτων.
<b>Δ. ΚΟΜΒΟΣ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ</b>	
Δ1. Συγκολλητός/Γωνιακών	Γωνιακά συγκολλούνται σε κομβοέλασμα.
Δ2. Κοχλιωτός/Γωνιακών	Γωνιακά κοχλιώνονται σε κομβοέλασμα
Δ3. Συγκολλητός/Κοιλοδοκών	Συγκόλληση μεταξύ κοιλοδοκών.
<b>E. ΕΔΡΑΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ</b>	
E1. Αρθρωτή/Γωνιακού	Έδραση γωνιακού μέσω τεσσάρων αγκυρίων
E2. Πάκτωση	Έδραση διατομών τύπου I ή H
E3. Άρθρωση	Έδραση διατομών τύπου I ή H
E4. Άρθρωση μέσω γωνιακών	Έδραση διατομών τύπου I ή H μέσω γωνιακών

#### **Πίνακας 77:**Κατηγορίες συνδέσεων.

Η δυσκαμψία, η αντοχή και η στροφική ικανότητα χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά των κόμβων. Εάν οι κόμβοι κρίνονται με βάση την αντοχή τους θεωρούνται ως πλήρους αντοχής ή μερικής αντοχής, αυτά εξαρτώνται με το εάν η ροπή αντοχής τους είναι μεγαλύτερη ή όχι από την ροπή αντοχής της δοκού που συνδέουν. Εάν η ροπή τους είναι μικρότερη από το 25% της ροπής αντοχής της δοκού τότε αντιμετωπίζονται ως αρθρωτικοί.

Με το επόμενο κριτήριο το οποίο είναι η δυσκαμψία οι κόμβοι ονομάζονται ως αρθρωτικοί, ημιάκαμπτοι ή άκαμπτοι. Οι αρθρωτικοί είναι γνωστοί ως αρθρώσεις και οι άκαμπτοι ως πακτώσεις. Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης αποφασίζεται ο χαρακτηρισμός των κόμβων και βγαίνει το συμπέρασμα για το τι θα χρησιμοποιηθεί στη κατασκευή.

Το πρόγραμμα με το οποίο έγινε το συγκεκριμένο κομμάτι της εργασίας περιλαμβάνει τους κανονισμούς που αφορούν τον έλεγχο των συνδέσεων των μεταλλικών κατασκευών σύμφωνα με των Ευρωκώδικα 3 και αναγράφονται στους παρακάτω πίνακες.

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΕΝΑ.	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	
		Χάλυβας εκτεθειμένος σε καιρικές ή διαβρωτικές συνθήκες.	Χάλυβας μη εκτεθειμένος σε καιρικές ή διαβρωτικές συνθήκες.
$e_1$	$1,2d_0$	$4t+40 \text{ mm}$	
$e_2$	$1,2d_0$	$4t+40 \text{ mm}$	

ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΕΝΑ.	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	
		Χάλυβας εκτεθειμένος σε καιρικές ή διαβρωτικές συνθήκες.	Χάλυβας μη εκτεθειμένος σε καιρικές ή διαβρωτικές συνθήκες.
$p_1$	$2,2d_0$	<b>Min(14t, 200mm)</b>	<b>Min(14t, 200mm)</b>
$p_2$	$2,4d_0$	<b>Min(14t, 200mm)</b>	<b>Min(14t, 200mm)</b>

**Πίνακας 78:** Ελάχιστα και μέγιστα αποστάσεων μέσω συνδέσεων.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΟΧΛΙΑ	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$F_{YB}(N/mm^2)$	240	300	480	640	900
$F_{UB}(N/mm^2)$	400	500	600	800	1000

**Πίνακας 79:** Ποιότητα κοχλίων.

	ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΟΠΩΝ
<b>M12-M14</b>	$d_0=d+1\text{mm}$
<b>M16-M24</b>	$d_0=d+2\text{mm}$
<b>M27-M36</b>	$d_0=d+3\text{mm}$

**Πίνακας 80:** Μηχανικά χαρακτηριστικά κοχλίων

Είδος Αστοχίας	Κοχλίες	Ήλιοι
Αντοχή κοχλία σε διάτμηση	<p>A) <math>F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}</math></p> <p>Περίπτωση που το επίπεδο διάτμησης τέμνει το σπείρωμα.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Για ποιότητες 4.6, 5.6, 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>• Για ποιότητες 4.8, 5.8, 6.9 και 10.9 <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> <p>B) <math>F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}</math></p> <p>Περίπτωση που το επίπεδο διάτμησης δεν τέμνει το σπείρωμα <math>\alpha_v = 0.6</math></p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_w A_o}{\gamma_{M2}}$
Αντοχή ελάσματος σύνθλιψη άντυγας σε	<p><math>F_b.Rd = (k_1 a_{bf} u_{dt}) / \gamma_{M2}</math></p> <p>-Όπου <math>ab = \min(e_1/3d_o, p_1/3d_o - 1/4, f_{ub}/f_u, 1, 0)</math></p> <p>- για ακραίους κοχλίες: <math>k_1 = \min(2,8 e_2/d_o - 1,7, 2,5)</math></p> <p>-για μεσαίους κοχλίες: <math>k_1 = \min(1,4 p_2/d_o - 1,7, 2,5)</math></p>	
Αντοχή κοχλία σε εφελκυσμό	<p><math>F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}</math></p> <p>Όπου <math>k_2 = 0,9</math></p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_w A_o}{\gamma_{M2}}$
Αντοχή κοχλία σε ταυτόχρονο εφελκυσμό και διάτμηση	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	

**Πίνακας 81:** Έλεγχοι αντοχής κοχλίων.

Στους υπολογισμούς της συγκεκριμένης εργασίας αναγράφεται ότι  $\gamma_{M2} = 1,25$

#### 9.4.4. Έλεγχος συνδέσεων στο INSTANT 2000

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το INSTANT 2000 και παρέχει τη δυνατότητα να γίνεται ο έλεγχος των συνδέσεων των μελών που υπάρχουν στην εργασία αυτή. Αυτή η εφαρμογή μπορεί να διαστασιολογήσει ένα σύνολο που να περιέχει διαφορετικούς κόμβους και υπάγονται στην ίδια εργασία. Επιπροσθέτως είναι δυνατόν να επιλεγθούν συνδέσεις οι οποίες θα ελεγχθούν. Η διαδικασία που εκπονήθηκε το πρόγραμμα στη συγκεκριμένη εργασία είναι η εξής.

Αρχικά μία σύνδεση επιλέχθηκε και έμεινε συνεχώς επιλεγμένη. Ταυτόχρονα επιλέχθηκαν και οι ενέργειες ορισμού μελών και δυνάμεων καθώς και λεπτομερειών που αφορούν τη συγκεκριμένη σύνδεση. Έπειτα για κάθε κόμβο ορίστηκε ο τύπος του, παραδείγματος χάριν, δοκός σε υποστύλωμα ή δικτύωμα ή έδραση και ου το κάθε εξής. Στη συνέχεια έγινε ορισμός στις διατομές των μελών που υπάρχουν στη συγκεκριμένη πτυχιακή καθώς και στα εντατικά μεγέθη τους στη θέση του κόμβου.

Σε επόμενο στάδιο έγινε ο καθορισμός στις λεπτομέρειες που αφορούν την ένωση, δηλαδή πλάκες, συγκολλήσεις, κοχλίες, ενισχύσεις κλπ.. Τέλος, όταν ολοκληρώθηκε η διαδικασία της εισαγωγής των δεδομένων της σύνδεσης έγιναν οι έλεγχοι που χρειάζονται σύμφωνα με τον κανονισμό . Από τα αποτελέσματα αυτών των ελέγχων οι μελετητές ανέπτυξαν μία περιληπτική και μία αναλυτική αναφορά.

Με το πρόγραμμα αυτό έγιναν έλεγχοι πάνω σε συγκεκριμένα μέρη συνδέσεων, αυτά είναι τα εξής:

- A) Σύνδεση δοκών ζυγώματος με υποστύλωμα
- B) Έδραση υποστυλωμάτων
- Γ) Σύνδεση κορφιά

Ύστερα από το τέλος του θεωρητικού κομματιού και των πράξεων που αναγράφονται παραπάνω, αναφέρονται στην εργασία τα αποτελέσματα του προγράμματος που αφορούν τα κομμάτια που προαναφέρθηκαν. Δεν μπορούν να υποθούν αναλυτικά στη παρούσα πτυχιακή, γι' αυτό το λόγο έγινε μία περίληψη της εργασίας που αναλύθηκε για να κατατοπιστεί σε γενικές γραμμές ο τρόπος επίλυσης του προβλήματος που είναι η σχεδιομελέτη της μεταλλικής κατασκευής.

## **10. Επίλογος - Συμπεράσματα Project**

Το συμπέρασμα που απορρέει από τα παραπάνω είναι ότι οι μεταλλικές κατασκευές σε ποικίλα δεδομένα είναι πολύ καλύτερες από τις κοινές κατασκευές φτιαγμένες από μπετόν. Πολλοί άνθρωποι ακόμα είναι διστακτικοί για την αντικατάσταση του μπετόν με μέταλλο, αυτό αποδεικνύεται από κείμενα και στατιστικές μελέτες που υπάρχουν και έχουν αναλυθεί από ειδικούς του τομέα αυτού.

Οι κατασκευές που είναι φτιαγμένες από χάλυβα αντέχουν περισσότερο στο χρόνο και δεν τις επηρεάζουν καιρικές συνθήκες όπως άλλα είδη κατασκευών. Επιπλέον είναι πιο οικονομική λύση, πιο στιβαρή αλλά και ταυτόχρονα πιο ελαφριά κατασκευή. Η μελέτη τους περιλαμβάνει, γνώσεις τις οποίες μπορούν να ανταποκριθούν εκτός από πολιτικούς μηχανικούς και μηχανολόγους.

Σύμφωνα με την προαναφερθέντα ιστορική αναδρομή με την πάροδο του χρόνου οι μεταλλικές κατασκευές αυξάνουν την αντοχή τους αλλά και οι μορφές των κατασκευών γίνονται όλο και πιο περίπλοκες. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μηχανήματα έχουν εξελιχθεί, οι άνθρωποι αποκτούν εμπειρία, οι μελέτες ολοκληρώνονται πιο γρήγορα, πιο εύκολα και αναλύονται εκτενέστερα.

Επιπροσθέτως μέσα στην μελέτη των κατασκευών αυτών εκτός από τις προϋποθέσεις που χρησιμοποιούνται όσο αφορά τα υλικά υπάρχουν και συγκεκριμένες προδιαγραφές για τις συγκολλήσεις, δηλαδή την ένωση δύο ή περισσότερων στοιχείων διαφορετικής ή ίδια μορφής. Οι συγκολλήσεις έχουν αρκετές μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούνται σύμφωνα με συγκεκριμένα στοιχεία που γράφονται αναλυτικά και παραπάνω στο κεφάλαιο που αναφέρονται σε αυτό το κομμάτι.

Για τις σιδηροκατασκευές, γενικότερα, εξετάζονται λεπτομερώς τα κινητά και τα μόνιμα φορτία που τις επηρεάζουν. Πιο συγκεκριμένα μόνιμα φορτία είναι αυτά που δέχεται η κατασκευή σε όλη τη ζωή της, δηλαδή το σύνολο του ίδιου βάρους της κατασκευής και των λοιπών φερόμενων στοιχείων. Σε αντίθετη περίπτωση, τα κινητά φορτία είναι εκείνα που μεταβάλλονται ως προς τη θέση και το μέγεθός τους, παραδείγματος χάριν το χιόνι, η ανεμοπίεση και οι σεισμικές δυνάμεις.

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέρονται θεωρητικά οι ευρωκώδικες που σχετίζονται με τα φορτία αυτά, και σχολιάζετε η μελέτη μίας παρόμοιας κατασκευής από άλλη εργασία. Σε αυτό το κομμάτι αναγράφονται πράξεις που έγιναν για να υπολογιστούν οι ακραίες

καταστάσεις που δέχεται η κατασκευή όπως επίσης και αλλά μέρη της τα οποία βοηθάνε στη σύνδεση.

Επιπλέον αναφέρεται το πρόγραμμα που έγινε η μελέτη, όπως επίσης και υποπρογράμματα με τα ακριβές στοιχεία που ανέλυσαν. Επιπλέον γίνεται αναφορά στα παραπάνω και για ένα ακόμα πρόγραμμα το οποίο βοηθάει στον έλεγχο και τη στιβαρότητα των κομματιών που είναι υπεύθυνα για την ένωση της κατασκευής.

## 11. Βιβλιογραφία

[http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3967/PTX\\_XAL\\_mt\\_15\\_11\\_17%20%282%29.pdf?sequence=1](http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3967/PTX_XAL_mt_15_11_17%20%282%29.pdf?sequence=1)

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1>

<https://core.ac.uk/download/pdf/38468311.pdf>

[https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6090/charalampidisn\\_design.pdf?sequence=3&fbclid=IwAR0txLGOBVNcLZshkyZLBtnFR5KvsiHKJyEIARXpHw72LDMZ-DIV-cCsHmc](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6090/charalampidisn_design.pdf?sequence=3&fbclid=IwAR0txLGOBVNcLZshkyZLBtnFR5KvsiHKJyEIARXpHw72LDMZ-DIV-cCsHmc)

[https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/7953/katopodik\\_design.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/7953/katopodik_design.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

[https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL105/%CE%A3%CE%B9%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%AD%CF%82%20%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AD%CF%82%20%CE%99%20-%20%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CF%89%CE%BD/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7%203\\_%CE%9A%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF-%CE%9F%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%A6%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%AF%CE%B1-%CE%A3%CF%85%CE%BD%CE%B4%CF%85%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF%20%CF%86%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%AF%CF%89%CE%BD.pdf](https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL105/%CE%A3%CE%B9%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%AD%CF%82%20%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AD%CF%82%20%CE%99%20-%20%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CF%89%CE%BD/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7%203_%CE%9A%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF-%CE%9F%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%A6%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%AF%CE%B1-%CE%A3%CF%85%CE%BD%CE%B4%CF%85%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF%20%CF%86%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%AF%CF%89%CE%BD.pdf)

<https://www.karampalis.gr/products/dokoi-ipe-ipn-hea-heb-upn-11>

[http://www.panmetal.gr/PR2\\_007Tegides.html](http://www.panmetal.gr/PR2_007Tegides.html)

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/51229/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%B3%CE%AE%20%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CF%87%CF%84%CE%BF%CF%8D%20%CF%85%CF%80%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%AD%CE%B3%CE%BF%CF%85%20%CF%83%CF%84%CE%AC%CE%B8%CE%BC%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CE%BB%CE%B5%CF%89%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B5%CE%AF%CF%89%CE%BD%20%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B8%CE%BC%CE%BF%CF%8D%20%CE%9A%CE%B7%CF%86%CE%B9%CF%83%CE%BF%CF%8D.%20%CE%91%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%82%20%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%82%20%CE%95%CE%9C%CE%9A%20%CE%94%CE%95%202020%20%205.pdf?sequence=1>



<http://repository.library.teimes.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/7469/%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%97%20%CE%A4%CE%9F%CE%A5%20%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A4%CE%A5%CE%A0%CE%9F%CE%A5%20%CE%9F%201090%20%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%93%CE%97%20%CE%A4%CE%9F%CE%A5%20%CE%A3%CE%95%20%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%9F%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%9F%20%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%95%CE%A5%CE%A9%CE%9D%20..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/ME213/%CE%A3%CE%A5%CE%93%CE%9A%CE%9F%CE%9B%CE%9B%CE%97%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%9F%20%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%9B%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%9A%CE%91%CE%A4%CE%91%CE%A3%CE%9A%CE%95%CE%A5%CE%A9%CE%9D%20..pdf>

[http://okeanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3519/Download%20File%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1ARiHw0oQ\\_tylYomwJnL1hoQVDhBSX8YlphYvEzUBEXfyCwgG3nTo4YHo](http://okeanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3519/Download%20File%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1ARiHw0oQ_tylYomwJnL1hoQVDhBSX8YlphYvEzUBEXfyCwgG3nTo4YHo)

<https://docplayer.gr/68156701-Methodos-syggollisis-vythismenoy-toxoy-saw.html>