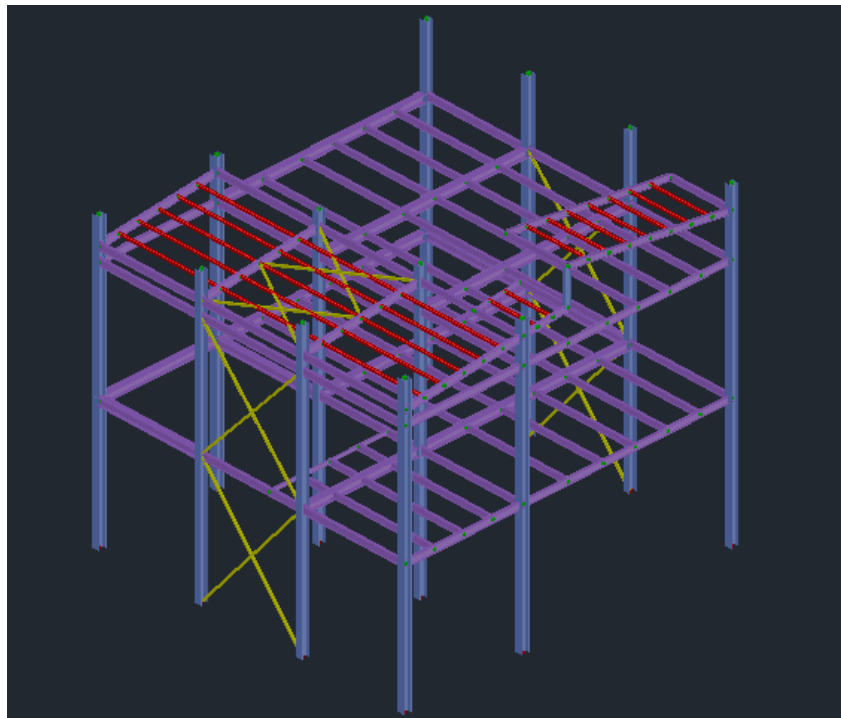


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΩΡΟΦΗΣ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**



ΚΑΛΟΥΔΗ Σ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Παπαλού Αγγελική
Χρόνος Εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας: 6 Μήνες

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΑΤΡΑ 2024

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Καλούδη Σ. Αλεξάνδρας που την εκπόνησε.

Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Πρώτα και κύρια, ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κυρία Παπαλού Αγγελική, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στον κύριο Φώτη Κακατσίδα, τον ιδιοκτήτη του γυμναστηρίου, που όχι μόνο μου επέτρεψε να μελετήσω το κτίριό του αλλά μου έδωσε και πρόσβαση στα αρχιτεκτονικά σχέδια αυτού.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα του 3DR Engineering Software που μου έδωσε την άδεια να χρησιμοποιήσω το πρόγραμμα 3DR.STEEL και την άμεση ανταπόκρισή τους σε όλες τις απορίες μου.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αδιάκοπη στήριξη, την κατανόηση και την αγάπη τους, που μου έδωσαν τη δύναμη να συνεχίσω και να ολοκληρώσω την προσπάθεια αυτή.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους φίλους και γνωστούς που στάθηκαν δίπλα μου, παρέχοντας ηθική υποστήριξη και ενθάρρυνση.

Η παρούσα εργασία αποτελεί καρπό συλλογικής προσπάθειας και η ολοκλήρωσή της δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη συμβολή όλων αυτών των ανθρώπων. Σας ευχαριστώ από καρδιάς.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται η στατική και αντισεισμική ανάλυση διώροφης μεταλλικής κατασκευής που λειτουργεί ως γυμναστήριο με τοίχο αναρρίχησης. Η κατασκευή ελέγχεται ως προς την επάρκεια και λειτουργικότητα ακολουθώντας τους Ευρωκώδικες 3 (EC3) και 8 (EC8). Για τη στατική και την αντισεισμική ανάλυση της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα 3DR.STEEL. Ύστερα, αναλύονται τα κεφάλαια της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή σε ό,τι αφορά το δομικό χάλυβα, την έννοια και τις ιδιότητες του σιδήρου.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύονται τα χαρακτηριστικά του έργου όπως: ο φέροντας οργανισμός, οι διατομές των δομικών στοιχείων και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Ακολούθως, παραδίδονται τα φορτία που δρουν στην κατασκευή (μόνιμα, κινητά, φορτίο ανέμου, φορτίο χιονιού, σεισμικές δράσεις) καθώς και οι συνδυασμοί φορτίων τόσο στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας όσο και στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται το λογισμικό ανάλυσης 3DR.STEEL, που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη εργασία καθώς και ενδεικτικά, τα αποτελέσματα της ανάλυσης που έγινε μέσω του προγράμματος.

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται ενδεικτικά οι έλεγχοι των μελών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3.

ABSTRACT

In this paper, the static and antiseismic analysis of a two-story steel structure functioning as a gymnasium with a climbing wall is conducted. The structure is assessed for adequacy and functionality following Eurocodes 3 (EC3) and 8 (EC8). The 3DR.STEEL program was used for the static and seismic analysis of the structure. Then, the chapters of the paper are analyzed.

Chapter 1 introduces the structural steel, the concept and properties of earthquake.

In Chapter 2 the characteristics of the project are analyzed such as: the supporting body, the cross-sections of the structural elements and the materials that were used. Subsequently, the loads acting on the structure (permanent, mobile, wind load, snow load and seismic actions) are delivered as well as the combinations of loads both in the Limit State of Failure and in the Limit State of Functionality.

In Chapter 3, the analysis software 3DR.STEEL, which was applied in this paper, as well as indicatively, the results of the analysis made through the program, are presented.

In Chapter 4, member checks according to Eurocode 3 are presented indicatively.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ	8
1.1.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΔΟΜΙΚΟ ΧΑΛΥΒΑ.....	8
1.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	9
1.1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΑΛΛΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	11
1.2 ΣΕΙΣΜΟΣ.....	12
1.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	15
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ	15
2.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	16
2.2 ΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΑ.....	16
2.2.1 ΥΛΙΚΑ	17
2.3 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ	18
2.3.1 ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ	18
2.3.2 ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ	19
2.3.2.1 ΦΟΡΤΙΟ ΧΙΟΝΙΟΥ	20
2.3.2.2 ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΕΜΟΥ	23
2.3.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ.....	31
2.3.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	44
ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 3DR.STEEL	44
3.1 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 3DR.STEEL.....	45
3.2 ΒΗΜΑ-ΒΗΜΑ Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΕΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.....	45
3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	63
ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3 (EC3)	63
4.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3 (EC3).....	64
4.2 ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟ ΦΟΡΕΑ	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Ο χάλυβας είναι ένα κράμα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C) ενώ μπορεί να περιέχει χαμηλά ποσοστά και άλλων στοιχείων όπως: μαγγανίου (Mn), θείου (S), φωσφόρου (P), πυριτίου (Si) και οξυγόνου (O). Στην κατασκευαστική βιομηχανία, ο μαλακός χάλυβας περιέχει άνθρακα που δεν ξεπερνά το 0.3% κατ' όγκο.

Η χρήση δομικού χάλυβα σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει αναγνωριστεί εδώ και πολλά χρόνια. Ωστόσο, η ανώτερη απόδοσή του τον καθιέρωσε ως την κύρια επιλογή για δομικά μέλη σε κατασκευές που στηρίζονται κυρίως σε χαλύβδινα πλαίσια.

Ο δομικός χάλυβας παράγεται με θερμή έλαση χαλύβδινων ημικατεργασμένων προϊόντων (κυλινδρικής ή τετραγωνικής διατομής) σε θερμοκρασίες άνω των 900 °C. Έτσι διαμορφώνονται διαμήκη μέλη (δοκοί, υποστυλώματα) και επίπεδα προϊόντα (πλάκες). Οι τυπικές διατομές περιλαμβάνουν δοκούς I, κοίλες διατομές (ορθογώνιες, κυκλικές), γωνίες, διατομές "U" PN, πηγάκια, τετράγωνα και κυλινδρικές ράβδους.

Διάφορα συστήματα ταξινόμησης κατηγοριοποιούν τα χαλύβδινα στοιχεία ανάλογα με τη διατομή τους. Στην Ελλάδα, όπως και σε άλλες χώρες της ηπείρου, τα ευρωπαϊκά στοιχεία (π.χ. HEA, HEB, IPE) αποτελούν πρότυπο, ενώ χρησιμοποιούνται και ορισμένα στοιχεία του βρετανικού συστήματος τυποποίησης (π.χ. UB, UC). Οι ΗΠΑ, η Ρωσία και η Ιαπωνία έχουν επίσης υιοθετήσει τα δικά τους συστήματα τυποποίησης.

Εκτός από το σχήμα του (π.χ. IPE300, RHS100x100x6.3), ο τύπος του δομικού χάλυβα ορίζεται από την ποιότητά του (grade). Αυτή η ταξινόμηση μεγέθους κατατάσσει τους χάλυβες με βάση τη σύνθεση και τις ιδιότητες τους. Πολλοί διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης έχουν ορίσει τα δικά τους μεγέθη, όπως το BS4360 στο Ηνωμένο Βασίλειο και το DN17100 στη Γερμανία. Ωστόσο, υπάρχει μια αυξανόμενη τάση σε όλη την Ευρώπη να υιοθετείται το ευρωπαϊκό πρότυπο EN10025. Τυπικοί χάλυβες που βασίζονται σε ευρωπαϊκά πρότυπα περιλαμβάνουν τους ευρέως χρησιμοποιούμενους S275JR και S355JR, όπου οι αριθμοί 275 και 355 αντίστοιχα υποδηλώνουν όριο διαρροής N/mm².

1.1.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΔΟΜΙΚΟ ΧΑΛΥΒΑ

Οι Μεταλλικές Κατασκευές γνώρισαν αξιοσημείωτη ανάπτυξη στην παγκόσμια αγορά την τελευταία δεκαετία. Στην Ελλάδα, η χρήση του χάλυβα στις κατασκευές περιοριζόταν ιστορικά σε βιομηχανικά και εμπορικά κτίρια λόγω έλλειψης εξειδικευμένου προσωπικού.

Ωστόσο, υπήρξε μια στροφή τελευταία, κυρίως μετά τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004. Οι μεταλλικές κατασκευές έχουν σημειώσει αύξηση τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα, παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα υστερεί στη χρήση χάλυβα σε σύγκριση με άλλες χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Η επιτυχία των έργων με επίκεντρο το χάλυβα, σε συνδυασμό με την υιοθέτηση των Ευρωκώδικων, καταδεικνύει ότι το ελληνικό τεχνικό εργατικό δυναμικό διαθέτει τη γνώση και την τεχνογνωσία για να ανταποκριθεί στις σύγχρονες απαιτήσεις και να αξιοποιήσει τις δυνατότητες αυτού του εξαιρετικού υλικού. Ο δρόμος για νέες εξελίξεις είναι πλέον ανοιχτός και ο χάλυβας είναι έτοιμος να παίξει σημαντικό ρόλο στα έργα που αναλαμβάνουν οι μηχανικοί.

1.1.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Οι μεταλλικές κτιριακές κατασκευές έχουν πολλά **πλεονεκτήματα** όπως:

- **Μείωση των νεκρών φορτίων:** Μειώνεται το ίδιο βάρος του κτιρίου.
- **Ευκολία επέκτασης και τροποποίησης:** Η ποικιλομορφία διατομών, σχεδίων και μεθόδων σύνδεσης οδηγεί σε γρήγορη τροποποίηση των μεταλλικών κατασκευών.
- **Δυνατότητα σύζευξης μεγάλων ανοιγμάτων:** Η εφαρμογή ολόσωμων διατομών και δικτυωμάτων αποβλέπει σε σπουδαία ελάττωση του ίδιου βάρους της κατασκευής.
- **Περιορισμένες διαστάσεις υποστυλωμάτων:** Αυτό εξοικονομεί χώρο στις κατόψεις και αφήνει περισσότερους ανοιχτούς χώρους στις όψεις.
- **Χαμηλότερο ίδιο βάρος:** Το μειωμένο βάρος του φέροντος οργανισμού περιορίζει τα κατακόρυφα φορτία και αναβαθμίζει τις συνθήκες θεμελίωσης, ιδίως σε εδάφη ελλιπούς ποιότητας.
- **Βέλτιστη διαμόρφωση:** Οι διατομές των χαλύβδινων δοκών και πλακών ευνοεί την εγκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, με αποτέλεσμα μικρότερα ύψη δαπέδων.
- **Προκατασκευή στη βιομηχανία:** Η διευρυμένη προκατασκευή οδηγεί στην παράλληλη προετοιμασία του υλικού, που καταλήγει σε πιο σύντομη κατασκευή, άσχετα από τις καιρικές συνθήκες, εύκολη συναρμολόγηση και βελτιωμένο ποιοτικό έλεγχο.
- **Ομοιόμορφες ιδιότητες υλικού:** Τα αδιατάρακτα χαρακτηριστικά του χάλυβα με την πάροδο του χρόνου εγγυώνται την πιστότητα των δομικών αναλύσεων και των αποτιμήσεων αντοχής.

- **Ελαστικότητα και ολκιμότητα:** Οι υψηλές αντοχές σε κάμψη, θλίψη και διάτμηση μπορούν να επιτευχθούν σε μικρότερες, πιο κομψές διατομές, καθώς ο χάλυβας παραμορφώνεται εκτενώς χωρίς να διαρρέει. Επιπλέον, περιορίζει τα μόνιμα φορτία, φειδόμενος του χώρου και των υλικών.
- **Ελαστική και ανελαστική σχεδίαση:** Η αξιοποίηση του πλήρως βιομηχανοποιημένου και όλκιμου χάλυβα προσβλέπει τόσο ελαστικές όσο και ανελαστικές προσεγγίσεις σχεδιασμού.
- **Μικρότερες ανοχές κατασκευής:** Οι ελαχιστοποιημένες ανοχές μεσολαβούν στην εφαρμογή προκατασκευασμένων μη φερόντων στοιχείων όπως προσόψεις και ψευδοροφές.
- **Αυξημένη προσαρμοστικότητα:** Οι μεταλλικές κατασκευές διαθέτουν ευελιξία για τη ρύθμιση του χώρου, προσθήκες, επεκτάσεις και ενισχύσεις για υψηλότερα φορτία.
- **Δυνατότητα αποσυναρμολόγησης:** Οι κατασκευές μπορούν να αποσυναρμολογηθούν, προσφέροντας ευελιξία για τροποποίηση ή μετατόπιση.
- **Αποτελεσματική Κατανομή Φορτίου:** Το σύνθετο πλαίσιο των μεταλλικών κατασκευών κατοχυρώνει αποτελεσματική κατανομή φορτίου, χειρισμό δυνάμεων ανέμου και σεισμικών δυνάμεων μέσω κύριων φορέων, δευτερευουσών δοκών και θεμελίων. Ο άνεμος στις πλευρικές όψεις απορροφάται από τους κύριους φορείς, ενώ ο άνεμος στις προσόψεις από αντιανεμικές συνδέσεις και μετωπικά υποστυλώματα.
- **Προσδιορισμός βλαβών χωρίς κόπο:** Η άμεση αναγνώριση οποιασδήποτε απόκλισης βοηθείται με ένα μόνο υλικό. Οι δείκτες όπως τα ευδιάκριτα βέλη κάμψης, οι τοπικές ρηγματώσεις που επιφέρονται από τοπικό λυγισμό ή απώλεια ευστάθειας των διατομών λόγω αξονικού ή καμπτικού φορτίου από συνδυασμό στρέψης-κάμψης (στρεπτοκαμπτικός ή πλευρικός λυγισμός) λειτουργούν ως σαφή σημάδια για τοπικές ή γενικές αστοχίες σε ένα μέλος ή τμήμα της κατασκευής.
- **Βελτιωμένες διαδικασίες επισκευής:** Αυτό είναι αρωγός στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των μεταλλικών κατασκευών.
- **Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης χάλυβα:** Τα μεταλλικά στοιχεία μπορούν να αποσπαστούν και να τηχθούν σε χυτήρια για την παραγωγή νέων. Η σκουριά, που ξεκινά εξωτερικά και σταματά μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο, χρησιμεύει ως προσωρινός μετρητής για την έκθεση μετάλλων στο περιβάλλον, προσφέροντας προστατευτικά πλεονεκτήματα.
- **Ποικιλία επιλογών διατομών διαθέσιμες στην αγορά.**

- **Αφθονία εναλλακτικών λύσεων σύνδεσης στην αγορά.**
- **Πρόοδος στην τεχνολογία σύνδεσης.**

Παρόλα αυτά, ο δομικός χάλυβας παρουσιάζει και μια μικρή σειρά **μειονεκτημάτων** όπως:

- **Ζήτηση για βιομηχανική εγκατάσταση στην προετοιμασία υλικών.**
- **Απαίτηση για εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό.**
- **Αύξηση δαπανών μελέτης.**
- **Ακριβής Υπολογισμός Συνδέσεων.**
- **Αυξημένα έξοδα πυροπροστασίας:** Η έκθεση του χάλυβα στους 700 °C προκαλεί σημαντική μείωση της αντοχής του, παρουσιάζοντας αξιοσημείωτους κινδύνους για την ασφάλεια. Αυτό ενεργοποιεί τον γρήγορο σχηματισμό εκτεταμένων βελών κάμψης, προκαλώντας δυνητικά μερική ή πλήρη δομική κατάρρευση, δίχως τροποποίηση των υπαρχόντων φορτίων. Όλα αυτά, όμως, μπορούν να αποφευχθούν με τις διάφορες μεθόδους πυροπροστασίας.
- **Κλιμάκωση δαπανών αντιδιαβρωτικής προστασίας.**
- **Αυξημένο κόστος υλικών** (ως προϊόν που εισάγεται για την Ελλάδα).
- **Δαπάνες συντήρησης τοποθέτησης** (κυρίως για πρόληψη σκουριάς): Συμβαίνει από οξείδωση λόγω ατμοσφαιρικού οξυγόνου και επιδεινώνεται από την παρουσία υγρασίας και αναθυμιάσεων.

Είναι σαφές, λοιπόν, πως ο μικρός αριθμός μειονεκτημάτων έναντι των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων του δομικού χάλυβα τον καθιστά ως ένα αρκετά ικανό δομικό υλικό που δεν υστερεί σε τίποτα από τα συνήθη δομικά υλικά, όπως το σκυρόδεμα.

1.1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕ ΑΛΛΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Εξετάζοντας το επιστημονικά, ο χάλυβας υπερτερεί σε διάφορες πτυχές σε σύγκριση με εναλλακτικά δομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα και το ξύλο. Τα βασικά σημεία που πρέπει να επισημανθούν περιλαμβάνουν:

- **Εκτεταμένο εύρος πλαστικής παραμόρφωσης στην καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης:** Αυτό ουσιαστικά δείχνει ότι ο χάλυβας εμφανίζει ελαστικότητα επαρκή για να αντέξει φορτία πέρα από το σημείο διαρροής του μέχρι να φτάσει στην τελική του αστοχία.

- **Πιο φιλικό προς το περιβάλλον υλικό:** Είναι πλήρως ανακυκλώσιμο. Για παράδειγμα, το 40% του χάλυβα που παράγεται στην Ευρώπη προέρχεται από την ανακύκλωση, εξοικονομώντας περίπου το 60% της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή του από πρώτες ύλες.
- **Εγγενής Ικανότητα Πλήρους Φορτίου σε σύγκριση με το Σκυρόδεμα:** Δεν χρειάζεται χρόνο για να «σκληρυνθεί» και βρίσκεται αμέσως στη μέγιστη φέρουσα ικανότητα.
- **Σύγκριση με ξύλο:** Παραμένει απαλλαγμένο από παραμόρφωση και παρουσιάζει αξιοσημείωτη αντοχή στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και στις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- **Βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες:** Προσφέρει αξιοσημείωτα μηχανικά χαρακτηριστικά και την υψηλότερη αναλογία αντοχής προς βάρος, διασφαλίζοντας το σχεδιασμό πιο ελαφριών κατασκευών.

1.2 ΣΕΙΣΜΟΣ

Η γέννηση των σεισμών ξεκινά από τις τεκτονικές πλάκες. Στα όρια των πλακών υπάρχουν περιοχές με έντονη γεωλογική δράση όπως για παράδειγμα τη δημιουργία σεισμών, οροσειρών, ηφαιστείων και ωκεάνιων τάφρων. Τα όρια των πλακών διακρίνονται σε:

- Όρια απόκλισης (divergent/ spreading)
- Όρια σύγκλισης (convergent/ subduction)
- Όρια μετακίνησης (transform)

Η επιφάνεια ολίσθησης στο σεισμογενή χώρο ονομάζεται ρήγμα. Τα ρήγματα διακρίνονται σε:

- Κανονικά (normal faults)
- Ανάστροφα (reverse faults)
- Οριζόντιας μετατόπισης: δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα (strike-slip faults)

Τα σεισμικά κύματα χωρίζονται σε χωρικά (body waves) και επιφανειακά (surface waves), όπως δείχνει η **Εικόνα 1**. Συγκεκριμένα:

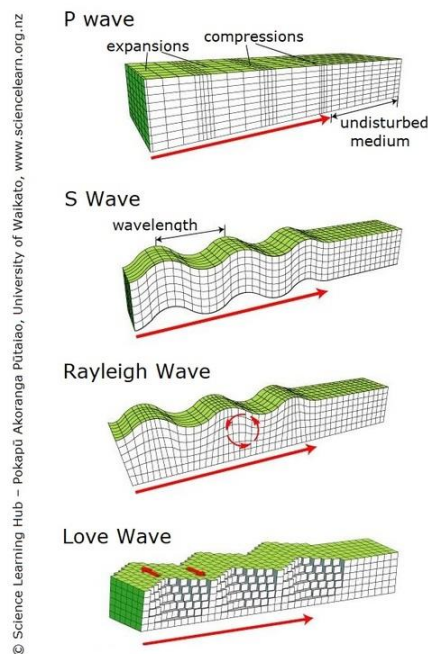
Χωρικά κύματα: διακρίνονται σε:

- Πρωτογενή P (primary waves): είναι τα επιμήκη κύματα με ταχύτητα 7-8 km/s. Μεταβάλλει τον όγκο ή την πυκνότητα του μέσου καθώς διαδίδονται σε όλα τα μέσα παράλληλα στη διεύθυνση του κύματος.

- Δευτερογενή S (secondary waves): είναι τα εγκάρσια (SH: horizontal & SV: vertical) με ταχύτητα 4-5 km/s. Προκαλεί ελαστική παραμόρφωση στο μέσο και δεν μπορεί να διαδοθεί στα υγρά καθώς διαδίδεται κάθετα στη διεύθυνση του κύματος.

Επιφανειακά: διακρίνονται σε:

- Rayleigh waves (R): P και S κύματα σε οβάλ τροχιές. Το πλάτος ταλάντωσης μειώνεται με το βάθος. Ταξιδεύουν με χαμηλότερες ταχύτητες από τα χωρικά, κοντά στην επιφάνεια της γης.
- Love waves (L): Παγιδευμένα SH waves. Δεν διαθέτουν κατακόρυφη συνιστώσα. Ταξιδεύουν με χαμηλότερες ταχύτητες από τα χωρικά, κοντά στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 1: Τύποι σεισμικών κυμάτων [1]

Το μέγεθος του σεισμού (Magnitude), εκφράζει το μέτρο της συνολικής εκλυόμενης ενέργειας. Ο υπολογισμός του μεγέθους εξαρτάται από το πλάτος, τη διάρκεια και την περίοδο της ταλάντωσης καθώς μετρείται με την κλίμακα Richter.

1.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Κατά τη δημιουργία και τον σχεδιασμό ενός νέου κτιρίου, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το δομικό σύστημα από νωρίς και να ενσωματώνονται σύγχρονες αρχές και πρακτικές για τον σεισμικό σχεδιασμό. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8: EN 1998^[4], «υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να σχεδιαστεί το αρχικό σχήμα και το δομικό σύστημα ενός κτιρίου που πληροί βασικά πρότυπα απόδοσης, ενώ παραμένει οικονομικά αποδοτικό. Αυτές οι κατευθυντήριες αρχές περιλαμβάνουν:

- Δημιουργία ενός κτιρίου που αποπνέει αρμονία ενσωματώνοντας συμμετρική μορφή και συνεπή κατανομή της μάζας και της δυσκαμψίας.
- Δημιουργία ενός δομικού συστήματος που να είναι σαφές, απλό και ικανό να αντέχει τόσο τα κατακόρυφα φορτία όσο και τις σεισμικές δυνάμεις.
- Πρόβλεψη για ικανοποιητική δυσκαμψία και σεισμική ικανότητα κατά τις δύο διευθύνσεις και πρόνοια, όπου απαιτείται, για την αντιμετώπιση της κατακόρυφης σεισμικής συνιστώσας.
- Δημιουργία δομικού συστήματος με υψηλή υπερστατικότητα.
- Εγγύηση της άκαμπτης διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών
- Ορθός σχεδιασμός της θεμελίωσης.

Η βασική απαίτηση του αντισεισμικού κανονισμού είναι η αποφυγή της διακινδύνευσης της ζωής ή της σωματικής ακεραιότητας ανθρώπων λόγω κατάρρευσης του συνόλου ή τμήματος της κατασκευής από το σεισμό σχεδιασμού. Ο σεισμός σχεδιασμού έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 χρόνια και περίοδο επανάληψης 475 χρόνια».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

2.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα τελευταία χρόνια, τα μεταλλικά κτίρια έχουν κερδίσει παγκόσμια δημοτικότητα λόγω των πολυάριθμων πλεονεκτημάτων τους, ιδιαίτερα στην Ελλάδα όπου ξεπερνούν άλλα υλικά όπως το σκυρόδεμα. Η παρούσα διπλωματική εργασία εμβαθύνει στην εξέταση ενός διώροφου κτιρίου με υπόγειο, ειδικά σχεδιασμένο ως γυμναστήριο-τοίχος εσωτερικής αναρρίχησης. Για να εκτιμηθεί με ακρίβεια η δομική του ακεραιότητα και η ανθεκτικότητά του στη σεισμική δραστηριότητα, το κτίριο υποβλήθηκε σε προσομοίωση και ανάλυση με χρήση του προηγμένου λογισμικού 3DR.Steel της εταιρείας 3DR Engineering Software, με ταυτόχρονη τήρηση όλων των σχετικών κανονισμών.

- Ευρωκώδικας 1 : Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις στις κατασκευές
- Ευρωκώδικας 3 : Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
- Ευρωκώδικας 8 : Αντισεισμικός σχεδιασμός

2.2 ΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΑ

Ο σκελετός του προσεχούς μεταλλικού κτιρίου (**Εικόνα 2**) απαρτίζεται από διατομές I θερμής έλασης και εδράζεται πάνω στο υπόγειο, το οποίο είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, τα υποστυλώματα διατομής HEA 300 του σκελετού τοποθετούνται πάνω σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος C25/30 (με χάλυβα οπλισμού B500C) πακτωμένα, ενώ οι στάθμες στον ανώτερο όγκο κατασκευάζονται από τραπεζοειδείς λαμαρίνες και μπετόν με ελαφρύ οπλισμό. Τα δάπεδα των ορόφων στηρίζονται απευθείας σε μεταλλικά δοκάρια διατομών: IPE 270, IPE 240 και HEA 300, τα οποία μεταφέρουν τα επιμέρους φορτία στα υποστυλώματα.

Στη στέγη τοποθετήθηκαν οι απαραίτητες τεγίδες διατομής Z180/2.0 καθώς και χιαστί στέγης SHS80X4. Η στέγη καλύπτεται με χαλυβδόφυλλα (panels) πάχους 5 cm και κλίση 6°.

Για τους κατακόρυφους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας χρησιμοποιήθηκε διατομή SHS80X4. Οι σύνδεσμοι αυτοί βρίσκονται στις πλάγιες όψεις του κτιρίου, στο ισόγειο και τον 1^ο όροφο, στα ανοίγματα των μεσαίων πλαισίων.

Επιπλέον, υπάρχει η κατασκευή ανελκυστήρα, ο οποίος εδράζεται σε υποστυλώματα διατομής HEA 160 και ζυγώματα διατομής IPE 140 και IPE 240, που θα εξυπηρετεί από το υπόγειο έως την κορυφή του κλιμακοστασίου. Το κτίριο αποτελείται από υπόγειο, δύο ορόφους, το κλιμακοστάσιο καθώς και την περιοχή του δώματος. Στο εσωτερικό του κτιρίου θα τοποθετηθεί επίσης ένας τοίχος αναρρίχησης.



Εικόνα 2: Σκελετός μελετώμενου μεταλλικού κτιρίου

2.2.1 ΥΛΙΚΑ

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτιρίου είναι:

- 1) **Δομικός χάλυβας:** Ο φέρων οργανισμός των μεταλλικών κατασκευών αποτελείται από δομικό χάλυβα, και αυτή η αρχή εφαρμόζεται και στο κτιριακό έργο που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Για τα στοιχεία του, όπως όλα τα μέλη τις κατασκευής και τα αγκύρια, επιλέχθηκε χάλυβας S235 με τιμές σχεδιασμού:
 - a) Μέτρο Ελαστικότητας: $E=210000 \text{ MPa}$
 - b) Λόγος Poisson: $\nu= 0.3$
 - c) Ειδικό Βάρος: $\gamma=78.5 \text{ kN/m}^3$
 - d) Μέτρο Διάτμησης: $G=E / [2 \cdot (1 + \nu)] \approx 81000 \text{ MPa}$
 - e) Συντελεστής Γραμμικής Θερμικής Διαστολής: $\alpha=12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$
 - f) Πυκνότητα: $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$
 - g) Όριο διαρροής πέλματος: $f_y=0.235 \text{ kN/mm}^2$
 - h) Όριο αστοχίας πέλματος: $f_u=0.360 \text{ kN/mm}^2$
 - i) Όριο διαρροής κορμού: $f_y=0.235 \text{ kN/mm}^2$
 - j) Όριο αστοχίας κορμού: $f_u=0.360 \text{ kN/mm}^2$

ΓΙΑ ΚΟΧΛΙΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΟΣ 8.8

- a) Όριο διαρροής: $f_y=0.640 \text{ kN/mm}^2$
- b) Όριο αστοχίας: $f_u=0.800 \text{ kN/mm}^2$
- 2) **Χάλυβας οπλισμού:** Χρησιμοποιήθηκε χάλυβας οπλισμού B500C με χαρακτηριστική τιμή ορίου διαρροής: $f_{yk} = 500 \text{ 000 kN/m}^2$
- 3) **Σκυρόδεμα C25/30:** Για το υπόγειο, τη θεμελίωση των υποστυλωμάτων, τις δοκούς και τις πλάκες χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα C25/30 με τιμές σχεδιασμού:
 - a) Μέτρο Ελαστικότητας: $E= 31476 \text{ MPa}$
 - b) Λόγος Poisson (μη ραγισμένο σκυρόδεμα/ ραγισμένο σκυρόδεμα): $\nu= 0.2/0.0$
 - c) Ειδικό Βάρος: $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$
 - d) Μέτρο Διάτμησης: $G=E / [2 \cdot (1 + \nu)] \text{ MPa}$
 - e) Συντελεστής Γραμμικής Θερμικής Διαστολής: $\alpha=10 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$
 - f) Πυκνότητα: $\rho=2500 \text{ kg/m}^3$
 - g) Χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη κυλίνδρου: $f_{ck}= 25 \text{ MPa}$
 - h) Χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη κύβου: $f_{ck,\text{κύβος}}= 30 \text{ MPa}$
 - i) Μέση αντοχή σε θλίψη του κυλίνδρου: $f_{cm}= 33 \text{ MPa}$
 - j) Μέση αντοχή εφελκυσμού: $f_{ctm}= 2.56 \text{ MPa}$

2.3 ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Ο προσδιορισμός των ακριβών φορτίων και δυνάμεων που επηρεάζουν ένα κατασκευαστικό έργο δεν είναι πάντα δυνατό. Τυπικά, η κατανομή ενός φορτίου βασίζεται σε υποθέσεις και προσεγγίσεις, ακόμη και όταν το φορτίο είναι γνωστό. Είναι σημαντικό για το κτίριο να χειρίζεται αποτελεσματικά και να μεταδίδει αυτά τα φορτία στο έδαφος με ασφαλή τρόπο. Τα φορτία που επηρεάζουν την κατασκευή κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Μόνιμα Φορτία (G)

- Ίδιο βάρος της κατασκευής
- Ίδιο βάρος επικάλυψης
- Λοιπά μόνιμα (δάπεδα κτλ.)

Κινητά Φορτία (Q)

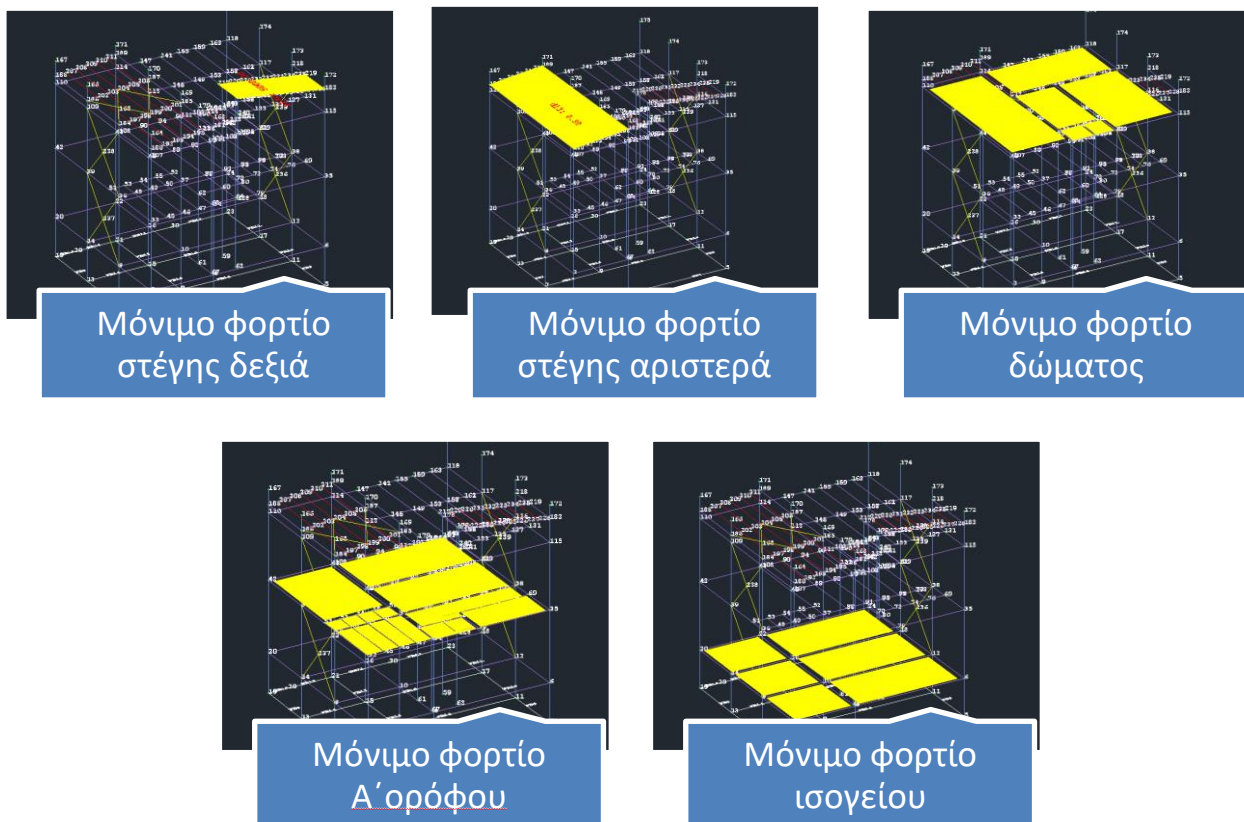
- Κινητά φορτία ορόφων
- Φορτίο Χιονιού
- Δράσεις Ανέμου

Τυχηματικά Φορτία

- Σεισμικά Φορτία

2.3.1 ΜΟΝΙΜΑ ΦΟΡΤΙΑ

Αυτός ο όρος περιλαμβάνει όλες τις κινήσεις που πρόκειται να γίνουν εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου επαναφοράς, με τις διακυμάνσεις του μεγέθους τους με την πάροδο του χρόνου να θεωρούνται ασήμαντες. Η κατηγορία καλύπτει τις διαρκείς κατακόρυφες δυνάμεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής, καθώς συμπεριλαμβάνεται το ίδιο-βάρος (δομικά στοιχεία, τοίχοι αντιστήριξης, ψευδοροφές, επενδύσεις, επενδύσεις, επιστρώσεις δαπέδου, μονώσεις, ηλεκτρικά και υδραυλικά συστήματα, κλιματισμός, και τα λοιπά.). Στην παρούσα κατασκευή τα μόνιμα φορτία επικάλυψης του γυμναστηρίου (πέραν του ίδιου βάρους) είναι **0.30 kN/m²** και η κατανομή αυτών παρουσιάζεται στην **Εικόνα 3**.



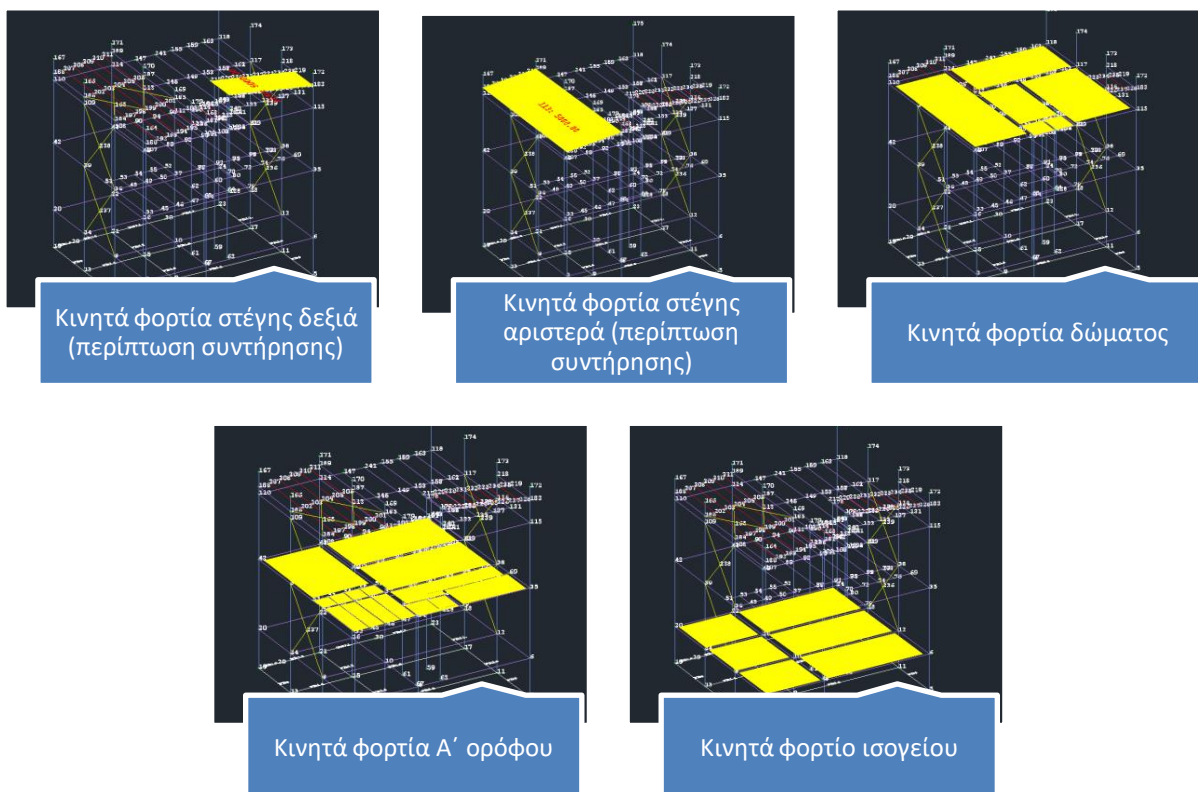
Εικόνα 3: Κατανομή μόνιμων φορτίων επικάλυψης της κατασκευής [2]

2.3.2 ΚΙΝΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τα κινητά ή δυναμικά φορτία αναφέρονται σε βαρυτικές ή πλευρικές δυνάμεις που εμφανίζονται κατά τη φάση λειτουργίας μιας κατασκευής, που ποικίλλουν τόσο σε θέση όσο και σε ένταση. Αυτά τα φορτία μπορεί να έχουν μόνιμο ή προσωρινό χαρακτήρα. Μέσα στα κτίρια, αυτές οι δυνάμεις αντιμετωπίζονται ως ομοιόμορφα κατανεμημένες. Παραδείγματα κινητών φορτίων βαρύτητας περιλαμβάνουν άτομα, έπιπλα, αποθηκευμένα αντικείμενα, φορτία χιονιού και άλλα. Στο συγκεκριμένο κτίριο έχουμε τα εξής κινητά φορτία:

- Κινητά φορτία στέγης (σε περίπτωση συντήρησης) 0.4 kN/m^2
- Κινητά φορτία δαπέδων 5 kN/m^2
- Κινητά φορτία κλιμακοστασίου 5 kN/m^2

Η κατανομή αυτών φαίνεται στην **Εικόνα 4**.



Εικόνα 4: Κατανομή κινητών φορτίων της κατασκευής [2]

2.3.2.1 ΦΟΡΤΙΟ ΧΙΟΝΙΟΥ

Τα φορτία του χιονιού υπολογίστηκαν σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1, Μέρος 1-3^[1], που παρέχει οδηγίες για το φορτίο χιονιού κάτω από ήπιες συνθήκες. «Αυτές οι οδηγίες ισχύουν για κτίρια ή κατασκευές πολιτικού μηχανικού που βρίσκονται σε υψόμετρο κάτω από 1500 m. Οι υπολογισμοί βασίζονται στην υπόθεση της φυσικής απόθεσης χιονιού και δεν λαμβάνουν υπόψη την πιθανή τεχνητή αφαίρεση ή αναδιανομή του χιονιού στη στέγη με ανθρώπινη παρέμβαση. Το φορτίο του χιονιού θεωρείται ότι ασκεί κατακόρυφη δύναμη και περιγράφεται σε σχέση με την οριζόντια προβολή της επιφάνειας της στέγης, κατηγοριοποιούμενο ως ελεύθερες μεταβλητές δράσεις. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, ειδικά όταν παρατηρούνται ακραίες εγγραφές χιονοπτώσεων, η κατανομή του αναφερόμενου φορτίου στη στέγη μπορεί να ποικίλει.

Το φορτίο του χιονιού σε μια στέγη υπολογίζεται από τους τύπους:

- $S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k$ για καταστάσεις διάρκειας ή παροδικές.
- $S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_{Ad}$ για τυχηματικές καταστάσεις.

όπου:

- μ_i ο συντελεστής μορφής χιονιού.
- $C_e=1$ ο συντελεστής έκθεσης, για κανονικές συνθήκες ($C_e=0.8$ για έκθεση σε ισχυρούς ανέμους και $C_e=1.2$ για κατασκευές προστατευμένες από κτίρια ή δέντρα)
- $C_t=1$ ο θερμικός συντελεστής, για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης (Μπορεί να λαμβάνει και χαμηλότερες τιμές ώστε να αξιολογηθούν οι θερμικές απώλειες μέσω της στέγης)

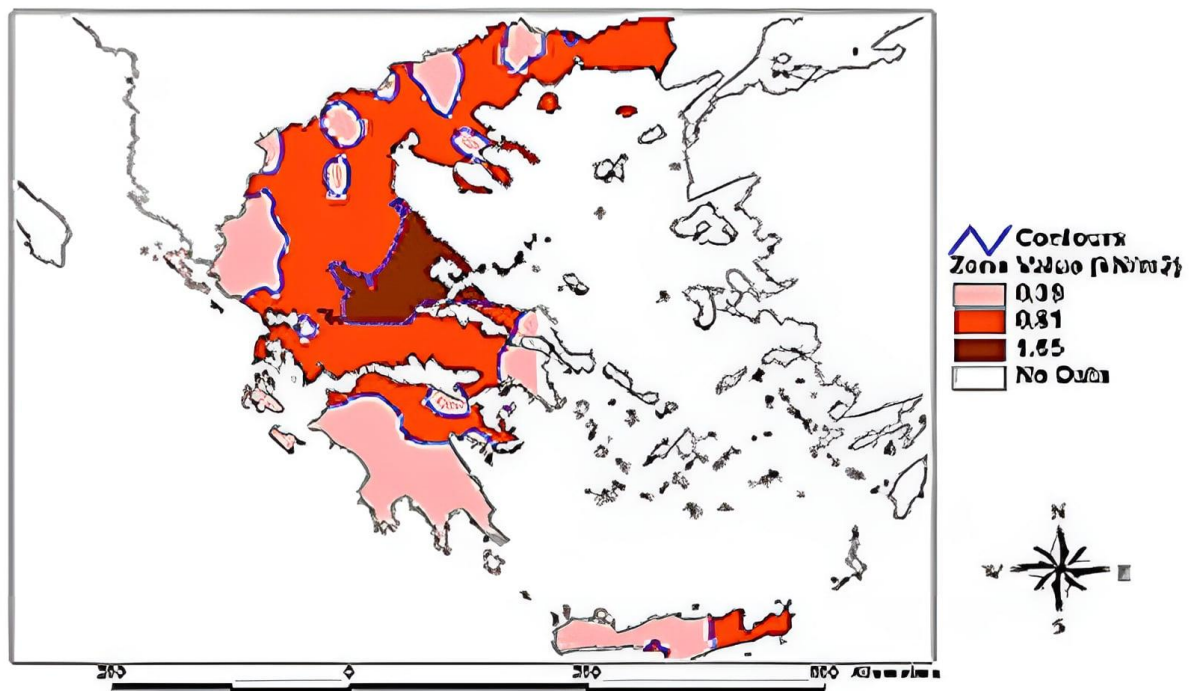
- S_k η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους.
- $S_{Ad} = C_{esl} \times S_k$ είναι η τιμή σχεδιασμού του φορτίου του χιονιού επί του εδάφους (συντελεστής για εξαιρετικά φορτία χιονιού $C_{esl}=2.0$)»

Στην Ελλάδα, όπως περιγράφεται στο Εθνικό Προσάρτημα^[2], «ορίζονται τρεις καθορισμένες ζώνες χιονιού (**Εικόνα 5**), κάθε μια συσχετίζεται με συγκεκριμένες χαρακτηριστικές τιμές ($S_{k,0}$) που αντιπροσωπεύουν τα φορτία χιονιού στο έδαφος στο επίπεδο της θάλασσας. Η εξίσωση παρέχει τη χαρακτηριστική τιμή ($S_{k,A}$) για το φορτίο χιονιού στο έδαφος σε kN/m^2 , λαμβάνοντας υπόψη τη ζώνη και το αντίστοιχο υψόμετρο (A) για μια συγκεκριμένη τοποθεσία.»

Για κάθε ζώνη, το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος $S_{k,A}$, δίνεται από τη σχέση:

$$S_{k,A} = S_{k,0} \times \left[1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right]$$

Greece: Snow Load at Sea Level



Εικόνα 5: Ελληνικές ζώνες χιονιού (EN 1991-1-3:2003) [3]

Η πυκνότητα του χιονιού διακυμαίνεται και συνήθως αυξάνεται καθώς συσσωρεύεται, επηρεαζόμενη από παράγοντες όπως η τοποθεσία, το υψόμετρο και οι κλιματικές συνθήκες. Οι προτεινόμενες μέσες τιμές για την πυκνότητα του χιονιού, όπως περιγράφονται στο Παράρτημα D του EN1991-1-3^[2], εμφανίζονται στην **Εικόνα 6**.

Είδος Χιονιού	Πυκνότητα (kN/m ³)
Φρέσκο	1.0
Συμπιεσμένο (μερικές ώρες ή ημέρες μετά την απόθεση)	2.0
Παλαιό (μερικές εβδομάδες ή μήνες μετά την απόθεση)	2.5 – 3.5
Βρεγμένο	4.0

Εικόνα 6: Πυκνότητα χιονιού [3]

«Κατά τον υπολογισμό του φορτίου χιονιού, λαμβάνουμε υπόψη δύο τρόπους για τον προσδιορισμό των συντελεστών μορφής του χιονιού:

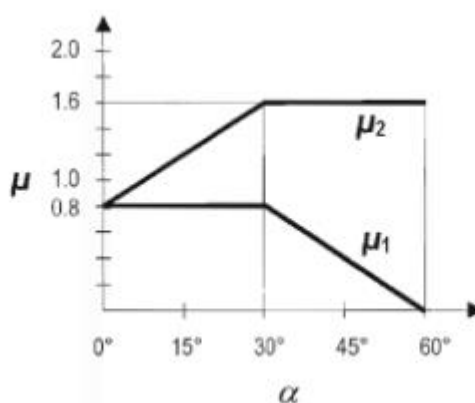
- Το φορτίο κατανέμεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη τη στέγη όταν δεν υπάρχει άνεμος ή όταν ο άνεμος είναι μειωμένης ταχύτητας.
- Το φορτίο κατανέμεται ανομοιόμορφα, με τοπική συγκέντρωση σε εμπόδια ή ανακατανομή του χιονιού.

Οι τιμές ισχύουν για διάφορες μορφές στέγης.»

Κλίση Στέγης α	0° ≤ α ≤ 30°	30° < α < 60°	α ≥ 60°
μ ₁	0.8	0.8 · (60-α)/30	0.0
μ ₂	0.8 · (1 + α·30)	1.6	-

Εικόνα 7: Συντελεστές μορφής σε οριζόντιες, μονοκλινείς και δικλινείς στέγες [3]

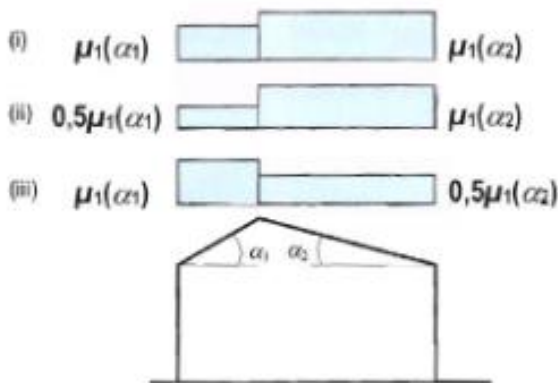
Οι τιμές του συντελεστή μορφής παριστάνονται επίσης και στο επόμενο διάγραμμα της Εικόνας 8.



Εικόνα 8: Μεταβολή συντελεστών χιονιού μ₁ και μ₂ για οριζόντιες ή κεκλιμένες στέγες ανάλογα με τη γωνία κλίσης της στέγης [3]

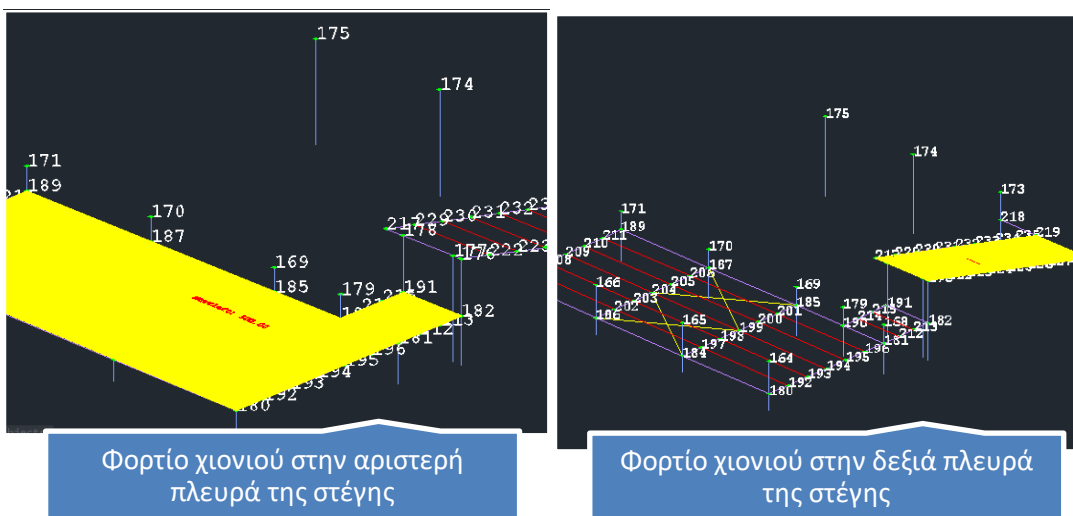
«Για τις δικλινείς στέγες, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 9**, ο συντελεστής μορφής επηρεάζεται από τις γωνίες κλίσης της στέγης (α₁, α₂) όταν η ολίσθηση του χιονιού δεν παρεμποδίζεται. Οι τιμές των μ₁ και μ₂ μπορούν να βρεθούν σύμφωνα με την **Εικόνα 7** και

την **Εικόνα 8**. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 7**, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν τρεις εναλλακτικές καταστάσεις φόρτισης για το κτήριο. Σε περίπτωση που υπάρχει κιγκλίδωμα ή εμπόδιο στο χαμηλότερο άκρο της στέγης, η ελάχιστη τιμή του συντελεστή μορφής είναι 0.6.»



Εικόνα 9: Συντελεστής μορφής σε δίκλινη στέγη [3]

Στη συγκεκριμένη κατασκευή το φορτίο του χιονιού υπολογίστηκε **0.5 kN/ m²** και η κατανομή του παρουσιάζεται στην **Εικόνα 10**.



Εικόνα 10: Κατανομή φορτίου χιονιού στη στέγη της κατασκευής [2]

2.3.2.2 ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΕΜΟΥ

Στην ενότητα του Ευρωκώδικα 1, EN 1991-1-4^[3], παρουσιάζεται «η μέθοδος υπολογισμού των φορτίων ανέμου που επιβάλλονται σε διάφορες κατασκευές, είτε σε ολόκληρες τις επιφάνειές τους είτε σε μεμονωμένα τμήματα. Ωστόσο, για να εφαρμοστούν αυτές οι οδηγίες, οι κατασκευές που εξετάζονται θα πρέπει να βρίσκονται σε περιοχές με υψόμετρο που δεν υπερβαίνει τα 200 m.

Εξωτερική πίεση w_e : Η πίεση του ανέμου που δρα στις εξωτερικές επιφάνειες της κατασκευής υπολογίζονται από τον τύπο: $w_e = q_p(z_e) \times c_{pe}$, όπου:

- $q_p(z_e)$ είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής

- z_e είναι το ύψος αναφοράς για την εξωτερική πίεση
- c_{pe} είναι ο συντελεστής πίεσης για την εξωτερική πίεση

Εσωτερική πίεση w_i : Η πίεση του ανέμου που δρα στις εσωτερικές επιφάνειες της κατασκευής υπολογίζεται από τον τύπο: $w_i = q_p(z_i) \times c_{pi}$, όπου:

- $q_p(z_i)$ είναι η πίεση ταχύτητας αιχμής
- z_i είναι το ύψος αναφοράς για την εσωτερική πίεση
- c_{pi} είναι ο συντελεστής πίεσης για την εσωτερική πίεση

Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$: Η πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$ σε ύψος z , η οποία περιλαμβάνει μέση και μικρής διάρκειας διακυμάνσεις ταχύτητας, θα πρέπει να προσδιορίζεται από τη σχέση: $q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho v_m^2(z) = c_e(z) \times q_b$, όπου:

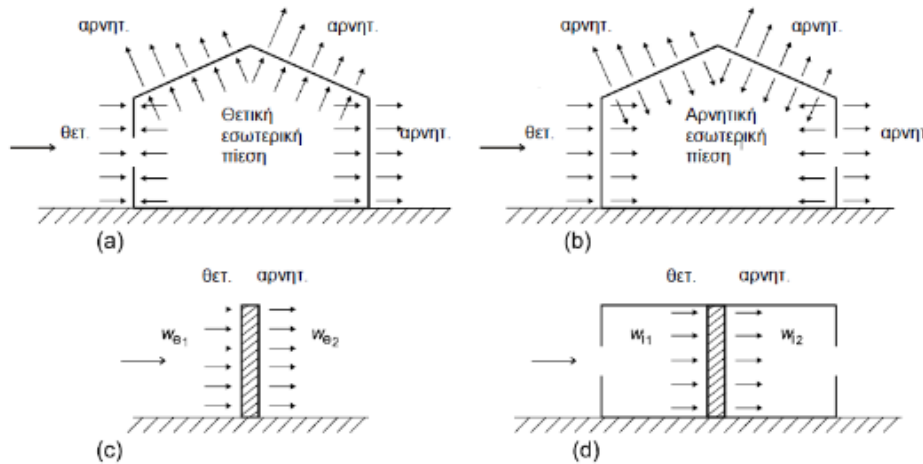
- ρ είναι η πυκνότητα του αέρα, που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθυελλών
- $c_e(z)$ είναι ο συντελεστής έκθεσης που δίνεται από τη σχέση: $c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$, όπου:
 - q_b είναι η βασική πίεση που δίνεται από τη σχέση: $q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2$, όπου:
 - v_b είναι η βασική ταχύτητα του ανέμου, που ορίζεται ως συνάρτηση της διεύθυνσης του ανέμου και της εποχής του έτους στα 10 m πάνω από έδαφος κατηγορίας II, σύμφωνα με της σχέση: $v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0}$, όπου:
 - $v_{b,0}$ είναι η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου, η οποία είναι η χαρακτηριστική 10 λεπτών μέση ταχύτητα του ανέμου, ανεξάρτητα από τη διεύθυνση του ανέμου και από την εποχή του έτους, στα 10 m πάνω από το έδαφος, σε ανοικτή περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και με μεμονωμένα εμπόδια σε απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων.
 - c_{dir} είναι ο συντελεστής διεύθυνσης (ίσος με 1.0)
 - c_{season} είναι ο εποχικός συντελεστής (ίσος με 1.0)

Σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα^[2], «η θεμελιώδης τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου $v_{b,0}$ για τη χώρα μας ορίζεται σε 33 m/s για τα νησιά και παράλια μέχρι 10 km από την ακτή και σε 27 m/s για την υπόλοιπη χώρα.

- $v_m(z)$ η μέση ταχύτητα του ανέμου, σε ύψος z πάνω από το έδαφος, εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφία και από τη βασική ταχύτητα του ανέμου, v_b , και θα προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας τη σχέση: $v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b$, όπου
 - $c_r(z)$ είναι ο συντελεστής τραχύτητας
 - $c_o(z)$ είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης, που λαμβάνεται ως 1.0
- $I_v(z)$ η ένταση του στροβιλισμού σε ύψος z ορίζεται από τις σχέσεις:
 - $I_v(z) = \frac{k_I}{c_o \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$ για $z_{min} \leq z \leq z_{max}$
 - $I_v(z) = I_v(z_{min})$ για $z_{min} > z$, όπου
 - k_I είναι ο συντελεστής στροβιλισμού (ίσος με 1.0)
 - z_0 είναι το μήκος τραχύτητας

Η τελική πίεση που ασκείται σε τοίχο, στέγη ή στοιχείο καθορίζεται από τη διαφορά των πιέσεων στις δύο επιφάνειες, λαμβάνοντας υπόψη τα αντίστοιχα πρόσημά τους. Θετική πίεση

αναγνωρίζεται όταν κατευθύνεται προς την επιφάνεια, ενώ αρνητική πίεση ή αναρρόφηση παρουσιάζεται όταν απομακρύνεται από την επιφάνεια». Όπως για παράδειγμα στην **Εικόνα 11**.



Εικόνα 11: Πίεση επί των επιφανειών [4]

Τραχύτητα εδάφους

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1: EN 1991-1-4^[3], «ο παράγοντας τραχύτητας, $c_r(z)$, λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις της μέσης ταχύτητας του ανέμου στην τοποθεσία της κατασκευής λόγω:

- του ύψους πάνω από το έδαφος
- της τραχύτητας του εδάφους της προσήνεμης περιοχής στη θεωρούμενη διεύθυνση του ανέμου.

Αυτά δίνονται από τους τύπους:

1. $c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ για $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}=200$ m

2. $c_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right)$ για $z \leq z_{\min}$, όπου:

a. Ο συντελεστής εδάφους $k_r = 0.19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07}$, όπου:

- i. z_0 είναι το μήκος τραχύτητας σε m
- ii. $z_{0,II} = 0.05$ m (κατηγορία εδάφους II, **Εικόνα 12**)
- iii. z_{\min} είναι το ελάχιστο ύψος που ορίζεται στην **Εικόνα 12**
- iv. z_{\max} πρέπει να λαμβάνεται 200 m

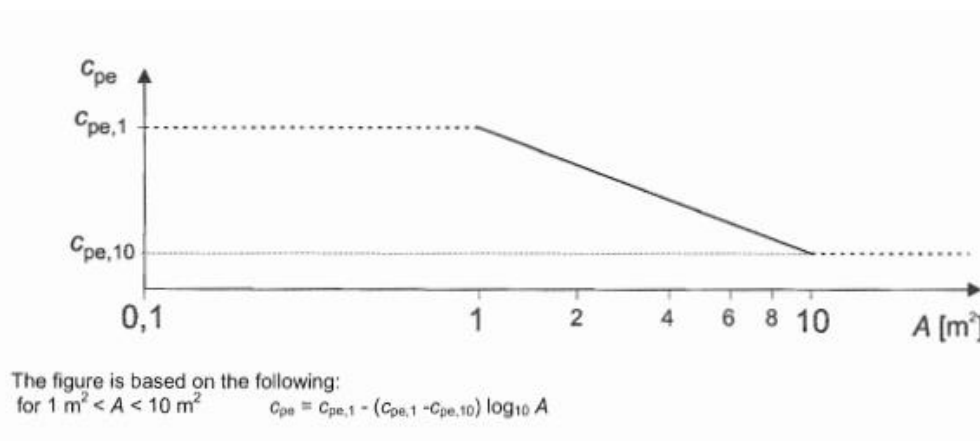
Τα z_0 και z_{\min} εξαρτώνται από την κατηγορία εδάφους». Προτεινόμενες τιμές δίνονται στην **Εικόνα 12** για πέντε αντιπροσωπευτικές κατηγορίες εδάφους:

Κατηγορία εδάφους	z_0 m	z_{min} m
0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασιδί και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.	1,0	10
Οι κατηγορίες εδάφους εικονογραφούνται στο Παράρτημα Α.1.		

Εικόνα 12: Κατηγορίες εδάφους και αντίστοιχες παράμετροι [4]

Συντελεστές πίεσης

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1: EN 1991-1-4^[3], «οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης, c_{pe} , για κτίρια και τα στοιχεία τους καθορίζονται από το μέγεθος της φορτισμένης επιφάνειας A . Αυτό αναφέρεται στην επιφάνεια της κατασκευής που υπόκειται στη δράση του ανέμου στον υπολογιζόμενο τομέα. Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης παρέχονται για φορτισμένες επιφάνειες A των 1 m^2 και 10 m^2 στην **Εικόνα 13**. Αυτοί οι συντελεστές ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου, σημειώνονται ως $c_{pe,1}$ για τους τοπικούς συντελεστές και $c_{pe,10}$ για τους καθολικούς συντελεστές, αντίστοιχα».



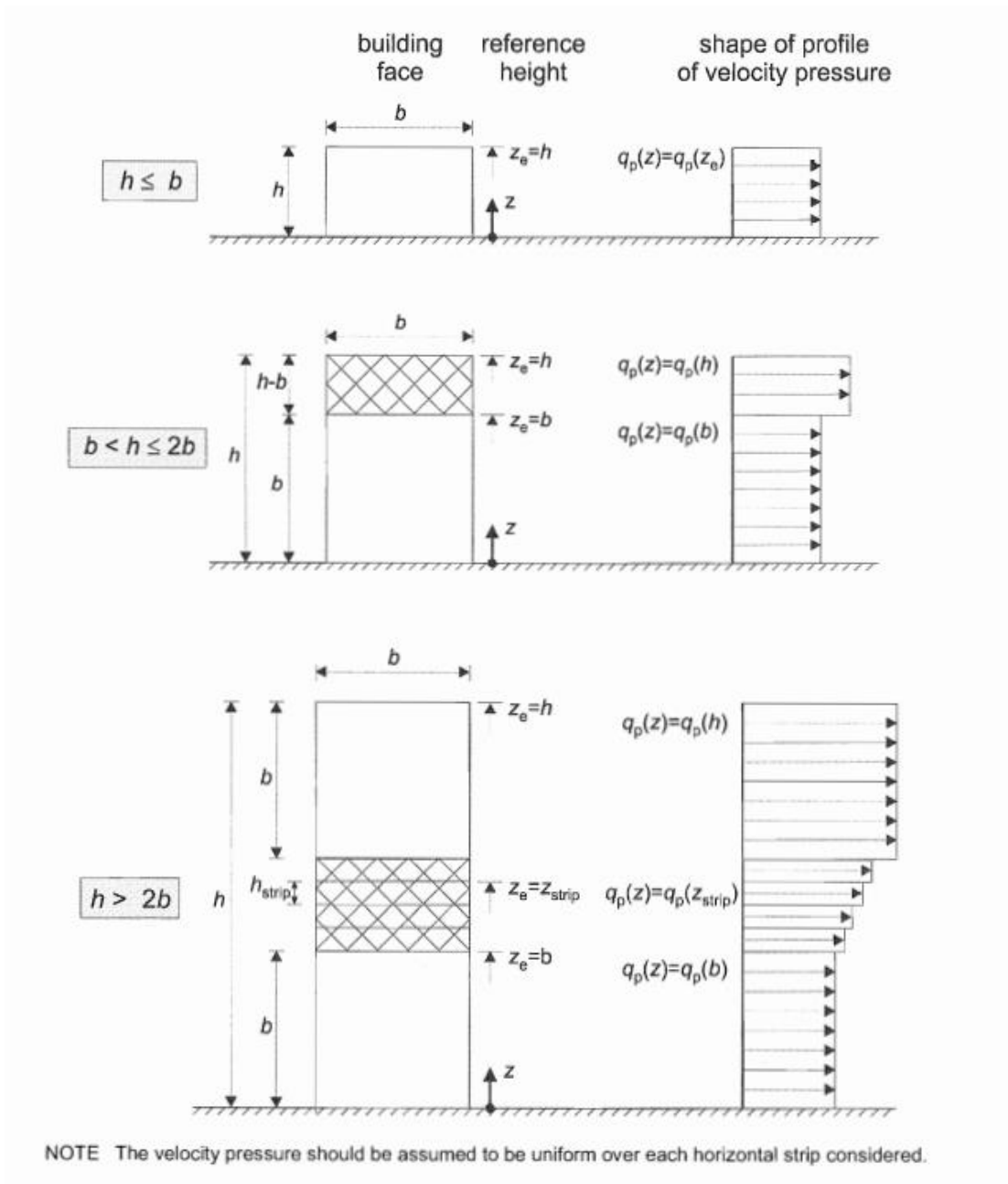
Εικόνα 13: Μεταβολή του συντελεστή εξωτερικής πίεσης σε κτίρια συναρτήσει της επιφάνειας A [4]

Κατακόρυφοι τοίχοι από κτίρια με ορθογωνική κάτοψη

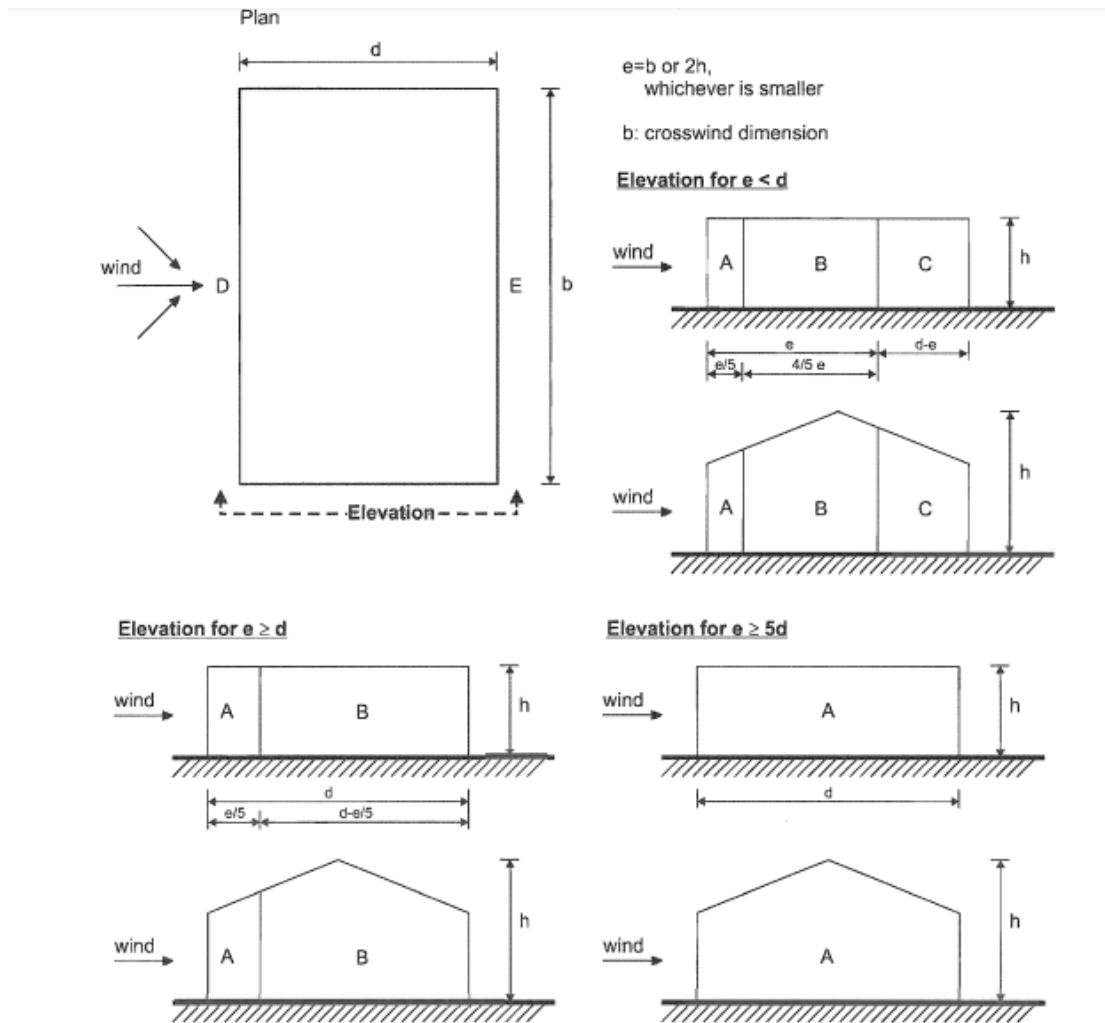
Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1: EN 1991-1-4^[3], «τα καθορισμένα αναφορικά ύψη z_e , για τους στραμμένους προς τον άνεμο τοίχους, σε ορθογώνιας κάτοψης κτίρια καθορίζονται από το λόγο h/b (**Εικόνα 15**) και αντιπροσωπεύουν συνεχώς τα υψηλότερα σημεία των

διαφορετικών τμημάτων των τοίχων. Τα σχήματα στην **Εικόνα 14** επεξηγούν αυτά τα ύψη για τρεις συγκεκριμένες περιπτώσεις:

- Στην περίπτωση ενός κτιρίου με ύψος h μικρότερο από b , θα πρέπει να θεωρείται ως ένα μόνο τμήμα.
- Για ένα κτίριο με ύψος h μεγαλύτερο από b αλλά μικρότερο από $2b$, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο τμήματα: ένα κατώτερο τμήμα που εκτείνεται από το έδαφος προς τα επάνω με ύψος ίσο με b , και ένα ανώτερο τμήμα που καλύπτει το υπόλοιπο του ύψους.
- Στις περιπτώσεις όπου το ύψος h υπερβαίνει το $2b$, το κτίριο μπορεί να θεωρηθεί ως αποτελούμενο από πολλά τμήματα: ένα κατώτερο τμήμα που εκτείνεται από το έδαφος προς τα επάνω με ύψος ίσο με b , ένα ανώτερο τμήμα που εκτείνεται από την κορυφή προς τα κάτω με ύψος ίσο με b , και μια κεντρική περιοχή μεταξύ των ανώτερων και κατώτερων τμημάτων που μπορεί να χωριστεί σε οριζόντιες λωρίδες με ύψος h_{strip} , όπως φαίνεται στα σχήματα».



Εικόνα 14: Ύψος αναφοράς z_e συναρτήσει των h και b και κατανομή πιέσεων [4]



Εικόνα 15: Συμβολισμοί για κατακόρυφους τοίχους [4]

Οι $C_{pe,10}$ και $C_{pe,1}$ αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 1: EN 1991-1-4^[3]. Στην **Εικόνα 16** παρουσιάζονται οι συνιστώμενες τιμές ανάλογα με τον λόγο h/d . Για τιμές του h/d ανάμεσα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί γραμμική παρεμβολή. Οι τιμές αυτές ισχύουν επίσης για τους τοίχους κτιρίων με κλίση στη στέγη, όπως στις περιπτώσεις δικλινών (duorpitch) και μονοκλινών (monopitch).

Zone	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Εικόνα 16: Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους ορθογωνικών κτιρίων [4]

Η στέγη, μαζί με οποιαδήποτε προεξέχοντα τμήματα, θα διαμορφωθεί σε ζώνες όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Το ύψος αναφοράς z_e θα καθοριστεί ίσο με το h . Η **Εικόνα 17** που ακολουθεί περιλαμβάνει τους συνιστώμενους συντελεστές πίεσης για κάθε ζώνη.

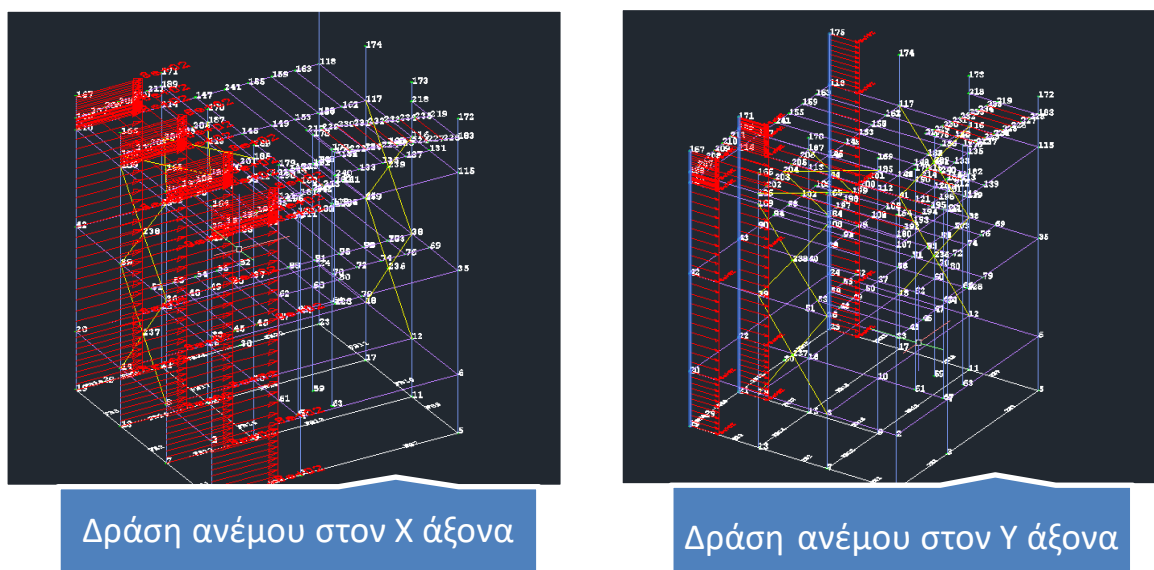
Pitch Angle α	Zone for wind direction $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

NOTE 1 At $\theta = 0^\circ$ the pressure changes rapidly between positive and negative values on the windward face around a pitch angle of $\alpha = -5^\circ$ to $+45^\circ$, so both positive and negative values are given. For those roofs, four cases should be considered where the largest or smallest values of all areas F, G and H are combined with the largest or smallest values in areas I and J. No mixing of positive and negative values is allowed on the same face.

NOTE 2 Linear interpolation for intermediate pitch angles of the same sign may be used between values of the same sign. (Do not interpolate between $\alpha = +5^\circ$ and $\alpha = -5^\circ$, but use the data for flat roofs in 7.2.3). The values equal to 0,0 are given for interpolation purposes

Εικόνα 17: Συμβολισμοί για δικλινείς στέγες [4]

Στην παρούσα εργασία, η ανάλυση αφορά δικλινή στέγη όπου η γωνία κλίσης είναι θετική και ίση με 6° . Η ανάλυση ισχύει για κατασκευή με μέγιστο ύψος ίσο με 200 m ενώ η κάτοψη της κατασκευής είναι ορθογωνική. Η πίεση του ανέμου δίνεται από τη σχέση που περιγράφεται στο Εθνικό Προσάρτημα^[2] και πιο συγκεκριμένα στο ΕΛΟΤ EN 1991-1-4:2005 Κεφάλαιο 5.2^[3]. Ο συντελεστής πίεσης για τα κτήρια είναι σύμφωνος με το Κεφάλαιο 7.2.1 και 7.2.5 του ΕΛΟΤ EN 1991-1-4:2005^[3] που αφορά τις ανεμοπιέσεις για δίρριχτες στέγες. Το φορτίο του ανέμου υπολογίστηκε ίσο με 0.8 kN/m^2 και κατανέμεται όπως στην **Εικόνα 18**.



Εικόνα 18: Κατανομή φορτίου ανέμου στην κατασκευή [2]

2.3.3 ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8: EN 1998^[4], «οι σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού είναι κινήσεις ταλάντωσης του εδάφους. Αυτές οι κινήσεις ονομάζονται σεισμικές διεγέρσεις ή σεισμικές δονήσεις του εδάφους. Η ένταση αυτών των διεγέρσεων καθορίζεται συνήθως από μία μόνο παράμετρο, την επιτάχυνση σχεδιασμού A , η οποία εξαρτάται από τη σεισμική ζώνη επικινδυνότητας της περιοχής όπου βρίσκεται το έργο. Η επιτάχυνση A προσαρμόζεται περαιτέρω μέσα στην ίδια ζώνη (τιμές A , γ_1), ανάλογα με τη σημασία των έργων «κανονικού κινδύνου». Η σεισμική δραστηριότητα σε μια συγκεκριμένη περιοχή της επιφάνειας προσομοιώνεται με ένα ελαστικό φάσμα απόκρισης (Εικόνα 19) της εδαφικής επιτάχυνσης. Αυτό το φάσμα παραμένει ίδιο για δύο επίπεδα σεισμικής δράσης, δηλαδή για την περίπτωση μη-κατάρρευσης (οριακή κατάσταση αστοχίας – σεισμική δράση σχεδιασμού) και για την περίπτωση περιορισμού ζημιών. Η οριζόντια σεισμική δράση αναλύεται σε δύο ορθογώνιες, ανεξάρτητες μεταξύ τους, συνιστώσες οι οποίες εκφράζονται με το ίδιο φάσμα απόκρισης.

- **Οριζόντιο ελαστικό φάσμα απόκρισης.**

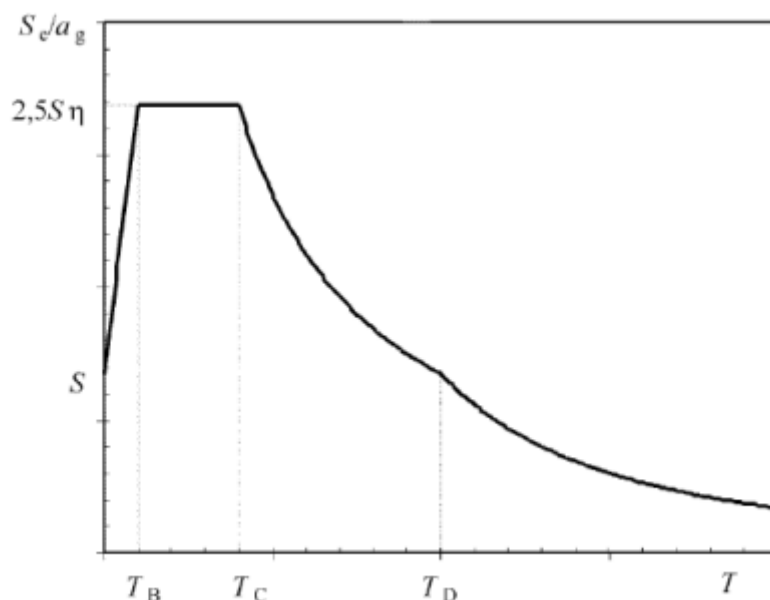
Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης, το ελαστικό φάσμα απόκρισης $S_e(T)$ ορίζεται μέσω των παρακάτω τύπων:

- $0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta 2.5 - 1) \right]$
- $T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g S \eta 2.5$
- $T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g S \eta 2.5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$
- $T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g S \eta 2.5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$

Όπου:

- $S_e(T)$: το ελαστικό φάσμα απόκρισης.
- T : η περίοδος ταλάντωσης ενός γραμμικού συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας.
- a_g : η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος τύπου A ($a_g = \gamma_1 a_{gR}$).
- T_B : η περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.

- T_C : η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.
- T_D : η τιμή της περιόδου που καθορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετατόπισης του φάσματος.
- S : ο συντελεστής εδάφους.
- η : ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης.



Εικόνα 19: Μορφή ελαστικού φάσματος απόκρισης [5]

• **Φάσμα κατακόρυφης ελαστικής απόκρισης**

Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης θα αναπαρίσταται από ένα ελαστικό φάσμα απόκρισης, $S_{ve}(T)$, που προκύπτει από τις παρακάτω εκφράσεις:

- $0 \leq T \leq T_B$: $S_{ve}(T) = a_{vg} \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta 3.0 - 1) \right]$
- $T_B \leq T \leq T_C$: $S_{ve}(T) = a_{vg} \eta 3.0$
- $T_C \leq T \leq T_D$: $S_{ve}(T) = a_{vg} \eta 3.0 \left[\frac{T_C}{T} \right]$
- $T_D \leq T \leq 4s$: $S_{ve}(T) = a_{vg} \eta 3.0 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$

Φάσμα	a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Τύπου 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Τύπου 2	0,45	0,05	0,15	1,0

Εικόνα 20: Συνιστώμενες τιμές παραμέτρων που περιγράφουν τα φάσματα κατακόρυφης ελαστικής απόκρισης [5]

• **Φάσμα σχεδιασμού για ελαστική ανάλυση**

Η ικανότητα των φορέων να αντέχουν σε σεισμικές δράσεις στην μη-γραμμική περιοχή επιτρέπει γενικά τον σχεδιασμό τους για την ανάληψη σεισμικών δυνάμεων μικρότερων από αυτές που σχετίζονται με γραμμική ελαστική απόκριση. Για να αποφευχθεί η πλήρης ανελαστική ανάλυση, λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα του φορέα για πλαστική συμπεριφορά μέσω ελαστικής ανάλυσης, η οποία βασίζεται σε μειωμένο φάσμα σε σύγκριση με το ελαστικό (γνωστό ως "φάσμα σχεδιασμού"). Αυτή η μείωση επιτυγχάνεται με την εισαγωγή

του συντελεστή συμπεριφοράς q . Η τιμή του συντελεστή αυτού μπορεί να διαφέρει σε διαφορετικές οριζόντιες διευθύνσεις του φορέα, ωστόσο η κατηγορία πλαστιμότητας παραμένει ίδια σε όλες τις διευθύνσεις.

- Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης το φάσμα σχεδιασμού, $S_d(T)$, ορίζεται από τους παρακάτω τύπους:
 - $0 \leq T \leq T_B$: $S_d(T) = a_g S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$
 - $T_B \leq T \leq T_C$: $S_d(T) = a_g S \frac{2.5}{q}$
 - $T_C \leq T \leq T_D$: $S_d(T) \left\{ \begin{array}{l} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta a_g \end{array} \right.$
 - $T_D \leq T$: $S_d(T) \left\{ \begin{array}{l} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta a_g \end{array} \right.$

Όπου:

- $S_d(T)$: το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού.
- T : η περίοδος ταλάντωσης ενός γραμμικού συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας.
- a_g : η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος τύπου Α ($a_g = \gamma_1 a_{gR}$).
- T_B : η περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.
- T_C : η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης.
- T_D : η τιμή της περιόδου που καθορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετατόπισης του φάσματος.
- S : ο συντελεστής εδάφους.
- η : ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης.
- q : ο συντελεστής συμπεριφοράς ($q \leq 1.5$)
- β : ο συντελεστής ελάχιστης αποδεκτής φασματικής επιτάχυνσης (Εθνικό Προσάρτημα, «προτεινόμενη» τιμή $\beta=0.2$)

Για την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δράσης, το φάσμα σχεδιασμού προσδιορίζεται με την εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού στην κατακόρυφη κατεύθυνση, όπου η a_{vg} αντικαθιστά την a_g , και ο S θεωρείται ίσος με 1.0. Ο συντελεστής συμπεριφοράς q έχει τιμή μέχρι 1.5 για όλα τα υλικά και τα στατικά συστήματα».

Κατηγορία εδάφους

Κατά τον Ευρωκώδικα 8: EN 1998^[4], «οι τιμές των περιόδων T_B , T_C και T_D , καθώς και ο συντελεστής εδάφους S , που καθορίζουν τη μορφή του ελαστικού φάσματος απόκρισης, εξαρτώνται από την κατηγορία του εδάφους (**Εικόνα 23**). Σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες πληροφορίες για τη γεωλογία των βαθύτερων στρωμάτων, προτείνεται η χρήση δύο τύπων φασμάτων: Τύπος 1 και Τύπος 2, όπως φαίνεται στις **Εικόνες 21** και **22**. Εάν οι σεισμοί που έχουν τη μεγαλύτερη συμβολή στη σεισμική επικινδυνότητα για την περιοχή, με σκοπό την πιθανολογική αξιολόγηση της διακινδύνευσης, έχουν μέγεθος κύματος επιφανείας M_s που δεν ξεπερνά το 5.5, προτείνεται η αξιοποίηση του φάσματος Τύπου 2».

Εδαφικός Τύπος	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Εικόνα 21: Τιμές παραμέτρων που περιγράφουν τα συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης Τύπου 1 [5]

Εδαφικός Τύπος	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Εικόνα 22: Τιμές παραμέτρων που περιγράφουν τα συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης Τύπου 2 [5]

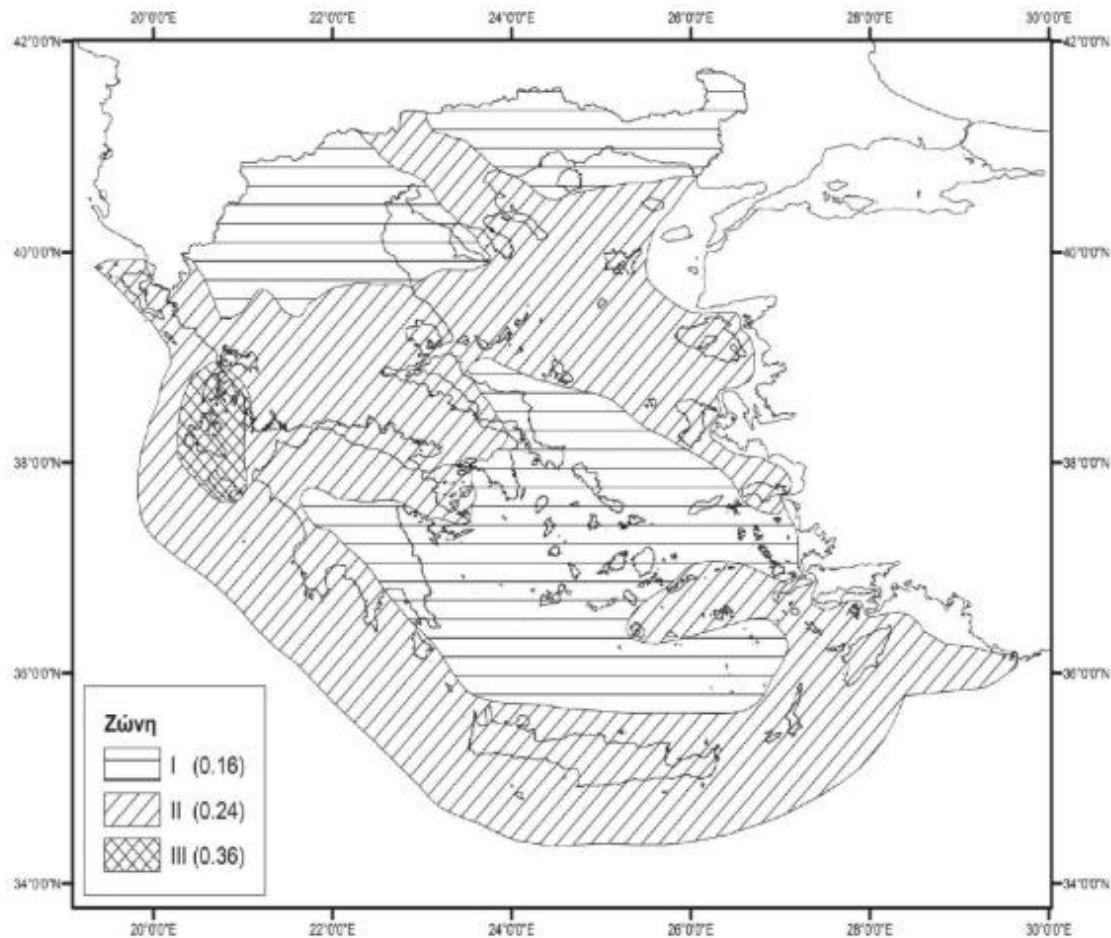
Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	–	–
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1			

Εικόνα 23: Κατηγορίες εδάφους [5]

Για κατηγορία εδάφους **B Τύπου 1**: $S=1.2$, $T_B=0.15$ sec, $T_C=0.5$ sec και $T_D=2.0$ sec

Συντελεστής εδαφικής επιτάχυνσης (a_g)

Η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους εξαρτάται από τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην όπου βρίσκεται η εκάστοτε κατασκευή. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8: EN 1998^[4], «η Ελλάδα έχει τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III). Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί συγκεκριμένη τιμή a_g , όπως φαίνεται στην **Εικόνα 24**, η οποία έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια ή αλλιώς περίοδο επαναφοράς 475 έτη».



Εικόνα 24: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας [6]

Το μελετώμενο κτίριο βρίσκεται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II, επομένως $a_g=0.24g$.

Κατηγορία σπουδαιότητας

Με βάση τον Ευρωκώδικα 8: EN 1998^[4], «η επιτάχυνση του εδάφους εντός της ζώνης σεισμικού κινδύνου κλιμακώνεται περαιτέρω με βάση παράγοντες σημασίας. Τα κτίρια ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας (**Πίνακας 1**) με βάση τις πιθανές κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες της ενδεχόμενης καταστροφής ή παύσης της λειτουργίας τους. Σύμφωνα με την **Εικόνα 25**, κάθε κατηγορία σπουδαιότητας αντιστοιχεί σε μια τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας γ_1 ».

Πίνακας 1: Κατηγορίες σπουδαιότητας κτιρίων.

I	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας (π.χ. κατασκευές αγροτικής χρήσης)
II	Συνήθη κτίρια.
III	Κτήρια υψηλής σπουδαιότητας (π.χ. σχολεία, χώροι συνάθροισης)
IV	Κτήρια πολύ υψηλής σπουδαιότητας (π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, μονάδες παραγωγής ενέργειας)

Κατηγορία Σπουδαιότητας	I	II	III	IV
Συντελεστής Σπουδαιότητας γ_I	0,80	1,00	1,20	1,40

Εικόνα 25: Συντελεστής σπουδαιότητας γ_I [5]

Το μελετώμενο κτίριο είναι χώρος εκγύμνασης, επομένως ανήκει στην κατηγορία σπουδαιότητας **III** με συντελεστή $\gamma_I=1.20$.

Διορθωτικός συντελεστής (η)

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8: EN 1998^[4], «ο διορθωτικός συντελεστής η αντιπροσωπεύει τη διακύμανση της επίδρασης του ιξώδους στο εύρος της ελαστικής συμπεριφοράς όταν πρόκειται για κρίσιμο ποσοστό απόσβεσης $\zeta \neq 5\%$ και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \zeta}} \geq 0.55$$

Οι τιμές της κρίσιμης απόσβεσης εξαρτώνται από το είδος της κατασκευής όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 26**».

Είδος Κατασκευής		$\zeta\%$
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

Εικόνα 26: Τιμές ποσοστού απόσβεσης ζ [5]

Το μελετώμενο κτίριο πρόκειται για μεταλλική κατασκευή με κοχλιώσεις. Επομένως, το ποσοστό απόσβεσης είναι $\zeta=4\%$ και άρα ο διορθωτικός συντελεστής είναι $\eta=1.045$.

Συντελεστής θεμελίωσης (θ)

Ο συντελεστής θεμελίωσης θ εξαρτάται από το βάθος και την δυσκαμψία της θεμελίωσης και εκφράζει την ευεργετική επίδραση μιας δύσκαμπτης θεμελίωσης. Στα εδάφη τύπου A και τύπου B, ο συντελεστής θ θα είναι ίσος με 1.00. Στα εδάφη C και D, επιτρέπονται μικρότερες τιμές όταν πληρείται μία από τις ακόλουθες προϋποθέσεις της **Εικόνας 27** και εφόσον η προκύπτουσα φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού δεν είναι μικρότερη από αυτή για εδάφη τύπου B.

Προϋποθέσεις		
1α.	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο	0.90
1β.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση	
1γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς σύνδεσης στην κεφαλή	
2α.	Το κτίριο διαθέτει δύο τουλάχιστον υπόγεια	0.80
2β.	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση	
2γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους)	
Παρατήρηση: Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχώματα έτσι, ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.		

Εικόνα 27: Συντελεστής θεμελίωσης, θ , για εδάφη C και D όταν πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις [5]

Το μελετώμενο κτίριο θεμελιώνεται σε έδαφος κατηγορίας B, επομένως ο συντελεστής θεμελίωσης θα είναι $\theta=1$.

2.3.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Βασικές απαιτήσεις

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 1 (EC1): EN 1990^[2], «ο σχεδιασμός φερόντων κατασκευών, καθώς και η κατασκευή και η συντήρησή τους, πρέπει να πραγματοποιούνται κατά τρόπο ώστε να διασφαλίζονται οι ακόλουθες 4 βασικές απαιτήσεις, με λογικό οικονομικό κόστος και με τον απαραίτητο βαθμό αξιοπιστίας: αντίσταση (resistance), λειτουργικότητα (servicibility), ανθεκτικότητα στη διάρκεια του χρόνου (durability), ευρωστία (robustness). Οι απαιτήσεις αυτές αποτελούν τις συνιστώσες της αξιοπιστίας (reliability) της φέρουσας κατασκευής.

Η μελετώμενη κατασκευή σχεδιάστηκε ώστε:

- Να αντιμετωπίζει όλες τις ενέργειες και τα αποτελέσματα που ενδέχεται να προκύψουν κατά την κατασκευή και τη χρήση του και παραμένουν σύμφωνα με την προβλεπόμενη χρήση
- Να υπάρχει επαρκής αντίσταση, λειτουργικότητα και ανθεκτικότητα.
- Σε περίπτωση πυρκαγιάς, η αντοχή του πρέπει να είναι επαρκής για την απαιτούμενη περίοδο.
- Να αποφεύγεται ο κίνδυνος να υποστεί δυσανάλογα μεγάλες βλάβες από συμβάντα όπως εκρήξεις, προσκρούσεις ή συνέπειες ανθρώπινου λάθους, μέσω επιλογής κατάλληλων μέτρων (προφυλακτικά μέτρα, επιλογή κατάλληλου δομικού συστήματος)».

Αρχές σχεδιασμού με βάση τις οριακές καταστάσεις

Κατά το EN 1990^[2], «η διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ομαλής λειτουργίας των κατασκευών γίνεται μέσω των λεγόμενων «καταστάσεων σχεδιασμού». Αυτές οι καταστάσεις περιγράφουν με αρκετή ακρίβεια όλους τους συνδυασμούς φορτίων που

αναμένεται να αντιμετωπίσει η κατασκευή κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης ζωής της, η οποία για τα κτίρια είναι 50 χρόνια. Οι καταστάσεις σχεδιασμού ταξινομούνται ως εξής:

- Με διάρκεια (persistent): αναφέρονται στις συνθήκες κανονικής χρήσης.
- Παροδικές (transient): αναφέρονται σε προσωρινές συνθήκες που εφαρμόζονται στο φορέα, π.χ. κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ή της επισκευής του.
- Τυχηματικές (accidental): αναφέρονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις συνθηκών που αφορούν τον φορέα ή την έκθεσή του, π.χ. πυρκαγιά, έκρηξη, πρόσκρουση ή συνέπειες τοπικής αστοχίας.
- Έναντι σεισμού (seismic): αναφέρονται σε συνθήκες που εφαρμόζονται στον φορέα όταν εκτίθεται σε σεισμικά συμβάντα.

Οριακές καταστάσεις είναι εκείνες όπου η κατασκευή δεν πληροί τις απαιτήσεις ασφάλειας και λειτουργικότητας του σχεδιασμού. Αυτές χωρίζονται σε:

α) οριακές καταστάσεις αστοχίας και

β) οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας (οι οποίες δεν εξετάζονται στην παρούσα εργασία).

Οι οριακές καταστάσεις αστοχίας σχετίζονται με την κατάρρευση ή άλλες αστοχίες, ενώ οι οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας αφορούν την μη ικανοποίηση των λειτουργικών κριτηρίων της κατασκευής, όπως μεγάλες παραμορφώσεις ή μετακινήσεις. Οι δράσεις που επιβάλλονται στην κατασκευή, ταξινομούνται χρονικά ως εξής:

- Μόνιμες (G), π.χ. ίδια βάρη της κατασκευής
- Μεταβλητές (Q, S, W), π.χ. επιβαλλόμενα (κινητά) φορτία, φορτία χιονιού και ανέμου αντίστοιχα
- Σεισμικές (E), οι οποίες εξετάστηκαν και ως στατικές και ως δυναμικές δράσεις.

Οι χαρακτηριστικές τιμές αυτών των δράσεων προσδιορίστηκαν ανάλογα με το είδος, τη μορφή και τη θέση της κατασκευής».

Συνδυασμοί δράσεων Ο.Κ.Α. (εξαιρουμένης της κόπωσης)

Ακολουθώντας τον Ευρωκώδικα 1: EN 1990^[2], «για κάθε σημαντική περίπτωση φόρτισης, οι τιμές σχεδιασμού των αποτελεσμάτων των δράσεων (E_d) θα καθοριστούν συνδυάζοντας τις τιμές των δράσεων που θεωρείται ότι θα ενεργούν ταυτόχρονα. Κάθε συνδυασμός δράσεων πρέπει να περιλαμβάνει μία κυρίαρχη μεταβλητή δράση ή μία τυχαία/σεισμική δράση. Για περιπτώσεις ελέγχου της στατικής ισορροπίας και των αντίστοιχων οριακών καταστάσεων, εφόσον τα αποτελέσματα ενός ελέγχου είναι ευαίσθητα στις διακυμάνσεις του μεγέθους μιας μόνιμης δράσης από ένα σημείο σε άλλο μέσα στον φορέα, τα δυσμενή και τα ευνοϊκά σκέλη αυτής της δράσης πρέπει να εξετάζονται ως ξεχωριστές δράσεις.

Καταστάσεις σχεδιασμού με διάρκεια ή παροδικές (θεμελιώδεις συνδυασμοί)

Στις περιπτώσεις αυτές, ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων των δράσεων θα βασίζεται στην τιμή σχεδιασμού της κυρίαρχης μεταβλητής δράσης, καθώς και στις τιμές σχεδιασμού του συνδυασμού των συνοδευτικών μεταβλητών δράσεων. Μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

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

Όπου: $j \geq 1$ και $i > 1$

Τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού

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

Όπου: $j \geq 1$ και $i > 1$

Καταστάσεις σεισμικού σχεδιασμού

$$\Sigma G_{k,j} + "P" + "A_{ED}" + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Όπου: $j \geq 1$ και $i > 1$

Συμβολισμοί:

- “+” : υποδηλώνει «προς συνδυασμό με...»
- G_{kj} : είναι η χαρακτηριστική τιμή των μόνιμων δράσεων
- P: είναι η χαρακτηριστική τιμή της προέντασης
- $Q_{k,1}$: είναι η χαρακτηριστική τιμή της επικρατέστερης μεταβλητής δράσης
- $Q_{k,i}$: είναι η χαρακτηριστική τιμή των λοιπών ταυτόχρονων μεταβλητών δράσεων i.
- A_d : είναι η τιμή σχεδιασμού της τυχηματικής δράσης.
- A_{ED} : είναι η τιμή σχεδιασμού της σεισμικής δράσης.
- γ_{Gj} : είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τη μόνιμη δράση j.
- γ_p : είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την προένταση.
- $\gamma_{Q,i}$:είναι ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη μεταβλητή δράση i.
- γ_i :είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας.
- $\Psi_{0,i}, \Psi_{1,i}, \Psi_{2,i}$: είναι οι συντελεστές συνδυασμού των μεταβλητών δράσεων.

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας χρησιμοποιούνται για να ληφθούν υπόψη πιθανές δυσμενείς αποκλίσεις ή ανακρίβειες στη προσομοίωση των δράσεων, καθώς και αβεβαιότητες στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων των δράσεων. Οι τιμές αυτών των συντελεστών για τον έλεγχο αστοχίας ενός κτιρίου ή μέλους του είναι:

1. Καταστάσεις διάρκειας και παροδικές:
 - Για μόνιμες δράσεις:
 - $\gamma_{G,\text{sup}}=1.35$ (δυσμενής επιρροή)
 - $\gamma_{G,\text{inf}}=1.00$ (ευμενής επιρροή)
 - Για μεταβλητές δράσεις:
 - $\gamma_{Q,i}=1.50$ (ή $\gamma_{Q,j}=0$ για ευμενή επιρροή)
2. Καταστάσεις τυχηματικές: $\gamma_A=1.00$

Δυσμενής επιρροή των μόνιμων δράσεων χαρακτηρίζεται η περίπτωση όπου τα αποτελέσματα των μόνιμων δράσεων ενισχύουν τα αποτελέσματα των μεταβλητών δράσεων.

Ο συντελεστής σπουδαιότητας γ_i αντιστοιχεί στις κατηγορίες σπουδαιότητας των κατασκευών, ανάλογα με τον κίνδυνο που ενέχει για τον άνθρωπο, καθώς και τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να προκύψουν από μια ενδεχόμενη καταστροφή ή διακοπή της λειτουργίας τους.

Οι συντελεστές συνδυασμού Ψ_i των μεταβλητών δράσεων χρησιμοποιούνται για να ληφθεί υπόψη η μειωμένη πιθανότητα ταυτόχρονης παρουσίας των πιο δυσμενών τιμών διαφόρων ανεξάρτητων δράσεων».

Στην **Εικόνα 28** παρατίθενται οι προτεινόμενες από τον Ευρωκώδικα 1: EN 1990^[2] τιμές των επιμέρους συντελεστών συνδυασμού Ψ_i

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

Εικόνα 28: Προτεινόμενες τιμές των συντελεστών ψ για κτήρια [7]

Οι συνδυασμοί φορτίσεων που έγιναν στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2**:

Πίνακας 2: Συνδυασμοί φορτίσεων και οι συντελεστές φόρτισης που χρησιμοποιήθηκαν

Συνδυασμοί Φορτίσεων	Συντελεστές Φόρτισης
EC1_001	1.1475 * sw
EC1_002	1.35 * sw
EC1_003	1.1475 * sw
EC1_004	1.35 * sw
EC1_005	1.1475 * sw
EC1_006	1.35 * sw
EC1_007	1.35 * sw
EC1_008	1.1475 * sw
EC1_009	1.35 * sw
EC1_010	1.35 * sw
EC1_011	1.35 * sw
EC1_012	1.35 * sw
EC1_013	1 * sw + 1 * EQ_X + 0.3 * EQ_Y
EC1_014	1 * sw + 1 * EQ_X + 0.3 * EQ_Y+Ecc
EC1_015	1 * sw + 1 * EQ_X + 0.3 * EQ_Y-Ecc
EC1_016	1 * sw + 1 * EQ_X+Ecc + 0.3 * EQ_Y
EC1_017	1 * sw + 1 * EQ_X-Ecc + 0.3 * EQ_Y
EC1_018	1 * sw + 1 * EQ_X+Ecc + 0.3 * EQ_Y+Ecc
EC1_019	1 * sw + 1 * EQ_X+Ecc + 0.3 * EQ_Y-Ecc
EC1_020	1 * sw + 1 * EQ_X-Ecc + 0.3 * EQ_Y+Ecc
EC1_021	1 * sw + 1 * EQ_X-Ecc + 0.3 * EQ_Y-Ecc
EC1_022	1 * sw + 1 * EQ_X + -0.3 * EQ_Y
EC1_023	1 * sw + 1 * EQ_X + -0.3 * EQ_Y+Ecc

EC1_024	$1 * sw + 1 * EQ_X + -0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_025	$1 * sw + 1 * EQ_X + Ecc + -0.3 * EQ_Y$
EC1_026	$1 * sw + 1 * EQ_X - Ecc + -0.3 * EQ_Y$
EC1_027	$1 * sw + 1 * EQ_X + Ecc + -0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_028	$1 * sw + 1 * EQ_X + Ecc + -0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_029	$1 * sw + 1 * EQ_X - Ecc + -0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_030	$1 * sw + 1 * EQ_X - Ecc + -0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_031	$1 * sw + -1 * EQ_X + 0.3 * EQ_Y$
EC1_032	$1 * sw + -1 * EQ_X + 0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_033	$1 * sw + -1 * EQ_X + 0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_034	$1 * sw + -1 * EQ_X + Ecc + 0.3 * EQ_Y$
EC1_035	$1 * sw + -1 * EQ_X - Ecc + 0.3 * EQ_Y$
EC1_036	$1 * sw + -1 * EQ_X + Ecc + 0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_037	$1 * sw + -1 * EQ_X + Ecc + 0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_038	$1 * sw + -1 * EQ_X - Ecc + 0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_039	$1 * sw + -1 * EQ_X - Ecc + 0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_040	$1 * sw + -1 * EQ_X + -0.3 * EQ_Y$
EC1_041	$1 * sw + -1 * EQ_X + -0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_042	$1 * sw + -1 * EQ_X + -0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_043	$1 * sw + -1 * EQ_X + Ecc + -0.3 * EQ_Y$
EC1_044	$1 * sw + -1 * EQ_X - Ecc + -0.3 * EQ_Y$
EC1_045	$1 * sw + -1 * EQ_X + Ecc + -0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_046	$1 * sw + -1 * EQ_X + Ecc + -0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_047	$1 * sw + -1 * EQ_X - Ecc + -0.3 * EQ_Y + Ecc$
EC1_048	$1 * sw + -1 * EQ_X - Ecc + -0.3 * EQ_Y - Ecc$
EC1_049	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + 1 * EQ_Y$
EC1_050	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + 1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_051	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + 1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_052	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + Ecc + 1 * EQ_Y$
EC1_053	$1 * sw + 0.3 * EQ_X - Ecc + 1 * EQ_Y$
EC1_054	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + Ecc + 1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_055	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + Ecc + 1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_056	$1 * sw + 0.3 * EQ_X - Ecc + 1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_057	$1 * sw + 0.3 * EQ_X - Ecc + 1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_058	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + -1 * EQ_Y$
EC1_059	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + -1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_060	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + -1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_061	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + Ecc + -1 * EQ_Y$
EC1_062	$1 * sw + 0.3 * EQ_X - Ecc + -1 * EQ_Y$
EC1_063	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + Ecc + -1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_064	$1 * sw + 0.3 * EQ_X + Ecc + -1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_065	$1 * sw + 0.3 * EQ_X - Ecc + -1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_066	$1 * sw + 0.3 * EQ_X - Ecc + -1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_067	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + 1 * EQ_Y$
EC1_068	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + 1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_069	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + 1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_070	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + Ecc + 1 * EQ_Y$
EC1_071	$1 * sw + -0.3 * EQ_X - Ecc + 1 * EQ_Y$
EC1_072	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + Ecc + 1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_073	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + Ecc + 1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_074	$1 * sw + -0.3 * EQ_X - Ecc + 1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_075	$1 * sw + -0.3 * EQ_X - Ecc + 1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_076	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + -1 * EQ_Y$
EC1_077	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + -1 * EQ_Y + Ecc$
EC1_078	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + -1 * EQ_Y - Ecc$
EC1_079	$1 * sw + -0.3 * EQ_X + Ecc + -1 * EQ_Y$
EC1_080	$1 * sw + -0.3 * EQ_X - Ecc + -1 * EQ_Y$

EC1_081	$1 * sw + -0.3 * EQ_X+Ecc + -1 * EQ_Y+Ecc$
EC1_082	$1 * sw + -0.3 * EQ_X+Ecc + -1 * EQ_Y-Ecc$
EC1_083	$1 * sw + -0.3 * EQ_X-Ecc + -1 * EQ_Y+Ecc$
EC1_084	$1 * sw + -0.3 * EQ_X-Ecc + -1 * EQ_Y-Ecc$
EC1_085	$1.1475 * sw + 0.9 * windX$
EC1_086	$1.1475 * sw + 0.9 * windY$
EC1_087	$1.35 * sw + 1.5 * windX$
EC1_088	$1.35 * sw + 1.5 * windY$
EC1_089	$1.1475 * sw + 0.9 * windX$
EC1_090	$1.1475 * sw + 0.9 * windY$
EC1_091	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_092	$1.35 * sw + 0.9 * windY$
EC1_093	$1.35 * sw + 1.5 * windX$
EC1_094	$1.35 * sw + 1.5 * windY$
EC1_095	$1.1475 * sw + 0.9 * windX$
EC1_096	$1.1475 * sw + 0.9 * windY$
EC1_097	$1.35 * sw + 1.5 * windX$
EC1_098	$1.35 * sw + 1.5 * windY$
EC1_099	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_100	$1.35 * sw + 0.9 * windY$
EC1_101	$1.1475 * sw + 0.9 * windX$
EC1_102	$1.1475 * sw + 0.9 * windY$
EC1_103	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_104	$1.35 * sw + 0.9 * windY$
EC1_105	$1.35 * sw + 1.5 * windX$
EC1_106	$1.35 * sw + 1.5 * windY$
EC1_107	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_108	$1.35 * sw + 0.9 * windY$
EC1_109	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_110	$1.35 * sw + 0.9 * windY$
EC1_111	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_112	$1.35 * sw + 0.9 * windY$
EC1_113	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_114	$1.35 * sw + 0.9 * windY$
EC1_115	$1.35 * sw + 0.9 * windX$
EC1_116	$1.35 * sw + 0.9 * windY$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 3DR.STEEL

3.1 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 3DR.STEEL

Το 3DR.STEEL προσφέρει μια σειρά από χαρακτηριστικά που το καθιστούν μοναδικό και αξιόπιστο στη σχεδίαση μεταλλικών φορέων:

- **Εύχρηστο Περιβάλλον:** Λειτουργεί με AutoCAD ή IntelliCAD (progeCAD) και υποστηρίζει την εισαγωγή σχεδίων σε μορφή *.DWG ή *.DXF.
- **Αυτοματοποιημένες Λειτουργίες:** Αυτόματη εισαγωγή τυποποιημένων χωρικών κατασκευών, μετατροπή CAD γραμμών σε μεταλλικά μέλη, και υπολογισμός φορτίων χιονιού και ανέμου.
- **Πολυδιάστατη Μοντελοποίηση:** Υποστηρίζει απεριόριστους κόμβους, μέλη, πεπερασμένα στοιχεία, και έχει βιβλιοθήκες διατομών και πρότυπων φορέων.
- **Στατική και Δυναμική Ανάλυση:** Επίλυση με έξι βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο, απεικόνιση αποτελεσμάτων με γραφικό τρόπο.
- **Σχεδίαση και Διαστασιολόγηση:** Συμβατό με Ευρωκώδικες και άλλους κανονισμούς, ελέγχει διατομές, συνδέσεις, πέδιλα και θεμελιώσεις.
- **Κατασκευαστικά Σχέδια:** Αυτόματη δημιουργία ξυλοτύπων, όψεων και τομών, με δυνατότητες περαιτέρω επεξεργασίας και χρήση έτοιμων βιβλιοθηκών.
- **Τεύχος Μελέτης:** Δημιουργία πλήρους τεύχους με αναλυτικά αποτελέσματα, γραφήματα, πίνακες, και δυνατότητα εκτύπωσης σε Ελληνική ή Αγγλική γλώσσα.

3.2 ΒΗΜΑ-ΒΗΜΑ Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΕΑ ΚΑΙ Η ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

- **ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ:** Επιλέγοντας στο αντίστοιχο παράθυρο διαλόγου Μέτρα (m) και KiloNewtons (kN).
- **ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ:** Στο παράθυρο διαλόγου «Ιδιότητες σταθμών» προστέθηκαν τρεις στάθμες (μια για το ισόγειο, μια για τον όροφο και μια για το δώμα).
- **ΠΡΟΦΙΛ ΔΙΑΤΟΜΩΝ:** Στο παράθυρο διαλόγου Steel Sections, από την λίστα European, επιλέχθηκαν οι επιθυμητές διατομές που αναφέρονται και παραπάνω.
- **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΝΝΑΒΟΥ:** Εισήχθη ο κάνναβος που χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός για την εισαγωγή των υποστυλωμάτων.
- **ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΣΤΑΘΜΕΣ:** Στο παράθυρο διαλόγου δίνεται η δυνατότητα επιλογής των ιδιοτήτων για τα μέλη που πρόκειται να εισαχθούν. Επιλέχθηκαν οι επιθυμητές διατομές και τα ύψη αυτών. Τα υποστυλώματα θεωρήθηκαν αμφίπακτα.
- **ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΟΚΩΝ ΣΤΙΣ ΣΤΑΘΜΕΣ:** Το μήνυμα «Σημείο αρχής (x, y, z)» που εμφανίζεται, ζητάει την εισαγωγή συντεταγμένων ή να γίνει κλικ σε ένα συγκεκριμένο σημείο στην οθόνη. Στο παράθυρο διαλόγου «3DR Μέλος» που εμφανίζεται, δίνεται η δυνατότητα επιλογής των ιδιοτήτων για τα μέλη που πρόκειται να εισαχθούν. Επιλέχθηκαν οι επιθυμητές διατομές, οι ελευθερώσεις είναι τύπου 11 Fix-Fix, ο τύπος σχεδιασμού είναι Δοκός και η γωνία β είναι 0.
- **ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΜΑΔΩΝ:** Δημιουργήθηκαν τέσσερις ομάδες (Υποστυλώματα, Δοκοί, Τεγίδες, Αντιανέμια). Στο παράθυρο διαλόγου «Ομάδες» εισήχθησαν τα ονόματα των τεσσάρων ομάδων και καταχωρήθηκαν με το κουμπί «Προσθήκη ομάδας».
- **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΤΙΩΝ:**
 - **Ίδιο βάρος:** Το ίδιο βάρος αποτελεί μια περίπτωση φόρτισης. Για την εισαγωγή της, κάνοντας κλικ στο κουμπί «Ίδιο βάρος» του ribbon, δόθηκε ένα όνομα στην περίπτωση φόρτισης (SW), μια περιγραφή (Self Weight),

επιλέχθηκε ο αρνητικός Z για την εφαρμογή των φορτίων παράλληλα στον καθολικό άξονα.

- Μόνιμα και κινητά φορτία σε κάθε στάθμη: Τα μόνιμα και κινητά φορτία μπορούν να δοθούν (με τη προϋπόθεση πως τα μέλη αποτελούν ένα συνεχές κλειστό περίγραμμα από μεταλλικά στοιχεία με τη δυνατότητα εφαρμογής επιφανειακής φόρτισης) από το μενού: Προσομοίωση > Στατικά Φορτία > Επιφάνεια Φόρτισης . Το παράθυρο διαλόγου άνοιξε και εισήχθησαν τα εξής για τα μόνιμα φορτία:
 - ID Φόρτισης: DLi
 - Περιγραφή: Dead Load (Η περιγραφή αποτελεί σχόλιο του Χρήστη) Φορτίο-Κατεύθυνση: -0.3
 - Τύπος: Μόνιμα
 - Καθολική διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο φόρτισης: Z
 - Υψόμετρο: Κόμβος ...
 - Ορισμός Περιγράμματος Περιοχής: Επιλέγετε τα μέλη της επιθυμητής περιοχής.

Για την εφαρμογή των κινητών φορτίων επιλέχθηκε η φόρτιση DLi (και άλλαξε το ID) όπου είναι ορισμένο το Περίγραμμα Περιοχής και εισήχθησαν τα εξής:

- ID Φόρτισης: LLi
 - Περιγραφή Live Load (Η περιγραφή αποτελεί σχόλιο του Χρήστη) Φορτίο>Τιμή :-5
 - Τύπος: Κινητά
 - Καθολική διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο φόρτισης: Z
 - Υψόμετρο: Κόμβος ...
 - Ορισμός Περιγράμματος Περιοχής: Είναι ορισμένο από τη φόρτιση DLi
- ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ: Για την επιλογή του αντισεισμικού κανονισμού σχεδιασμού και των παραμέτρων του ορίζεται από Υπολογισμοί> Κανονισμός Σχεδιασμού. Στο παράθυρο διαλόγου «Design Code» επιλέχθηκε «Eurocode 8 (EC8)» και εν συνεχεία έγινε ο καθορισμός των παραμέτρων του φάσματος σχεδιασμού. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα 29**, ορίστηκαν οι επιθυμητές τιμές για όλα τα μεγέθη που εμφανίζονται και εισήχθη η τιμή 1.5 (κατά X και Y) για τον συντελεστή q_0 , Soil: B Type 1, $T_x = T_y = 0.2$ και Πλαστιμότητα: Μέση.

EC8

Μέθοδοι Ανάλυσης

Ισοδύναμη Στατική Ανάλυση
 Φασματική

Εθνικό Προσάρτημα: Ελληνικό [EL]

Ιδιότητες Φάσματος

Ζώνη: Z2 agr=0.24
 Σπουδαιότητα: III
 Τύπος Εδάφους: Β Τύπος 1

Λόγος Απόσβεσης= 4.00 %

Δομικός Τύπος

	q0	au/a1	Kw	q
X-X	1.50	1.00	1.00	1.50
Y-Y	1.50	1.00	1.00	1.50

Αποτελέσματα

Sd(T) X-X 0.5760 g
 Sd(T) Y-Y 0.5760 g

Πλαστικότητα
 DCM Μέση

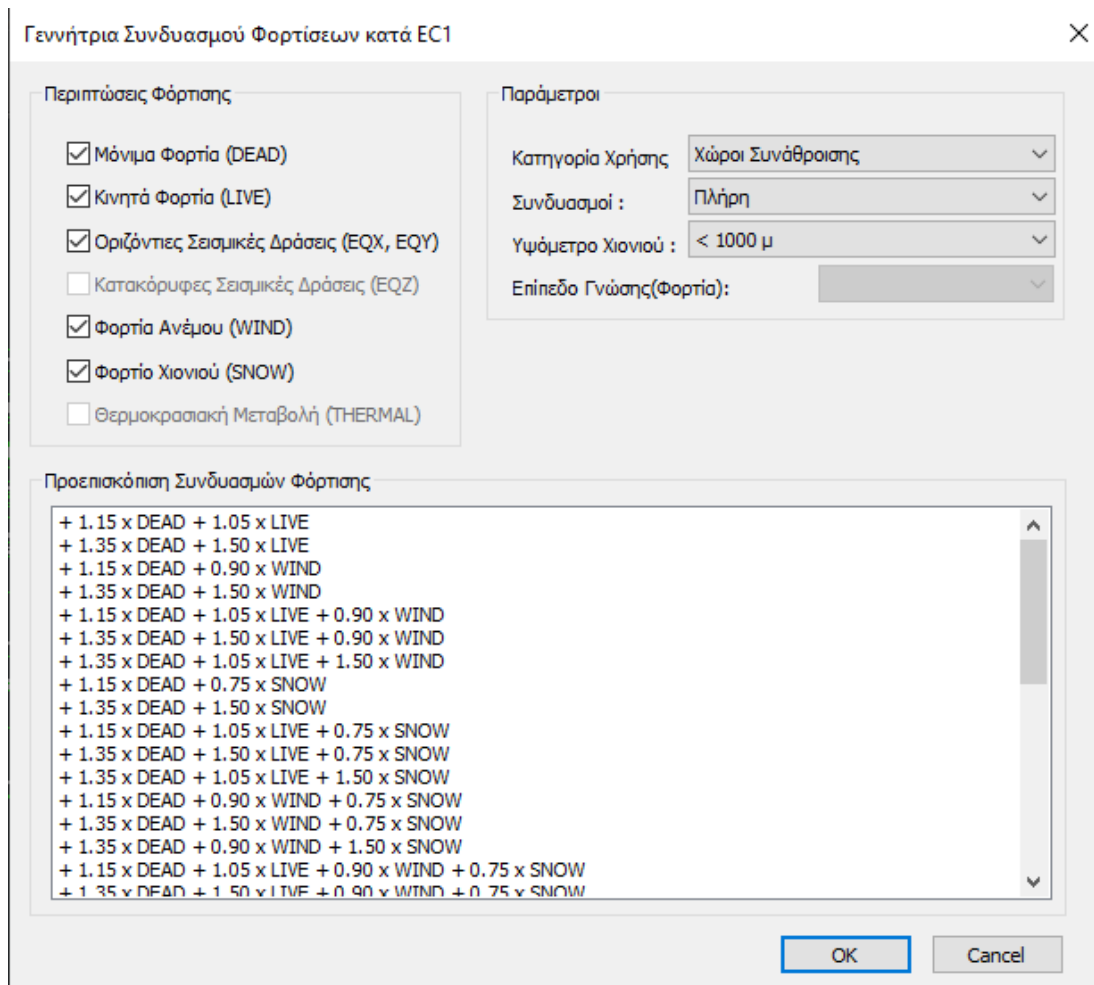
Υπολογισμός Sd(T)

Μορφή Φάσματος

OK Ακυρο

Εικόνα 29: Παράθυρο διαλόγου «Eurocode 8 (EC8)» [2]

- **ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ:** Οι συνδυασμοί φόρτισης μπορούν να καθοριστούν αυτόματα χρησιμοποιώντας την γεννήτρια συνδυασμών φόρτισης κατά EC1. Στο παράθυρο διαλόγου «Κανονισμός Σχεδιασμού» επιλέχθηκε: Συνδυασμοί Φόρτισης Φορέα > Αυτόματα, ανοίγει η Γεννήτρια Συνδυασμού Φορτίσεων κατά EC1 και επιλέχθηκαν τα ακόλουθα (Εικόνα 30):
 - Κατηγορία κτιρίου: Χώρος συνάθροισης
 - Μορφή συνδυασμών: Πλήρεις
 - Είδη δράσεων:
 - Μόνιμες δράσεις (DEAD_LOADS)
 - Κινητά Φορτία (LIVE)
 - Σεισμικές δράσεις (Y: EQX, X: EQY)



Εικόνα 30: Παράθυρο διαλόγου «Γεννήτρια Συνδυασμού Φορτίσεων κατά EC1» [2]

- **ΑΝΑΛΥΣΗ:** Για την ανάλυση του προσομοιώματος επιλέχθηκε από το μενού: Υπολογισμοί > Ανάλυση. Στο παράθυρο που ακολούθησε εμφανίστηκαν πληροφορίες για την επίλυση του φορέα μέχρι το τελικό μήνυμα επιτυχούς επίλυσης «Program Finished Successfully»
- **ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:**
 - Μετατοπίσεις κόμβων: Όπως δείχνει η **Εικόνα 31**, η εμφάνιση των αποτελεσμάτων για τις μετατοπίσεις των κόμβων (για κάθε περίπτωση φόρτισης) έγιναν από το μενού: Υπολογισμοί > Φύλλα Δεδομένων > Μετατοπίσεις Κόμβου.

Μετατοπίσεις Κόμβου M KN DEG CEN SEC

Joint	Load	Trans X	Trans Y	Trans Z	Rotation X	Rotation Y	Rotation Z
2	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	sw	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
27	sw	-7.7559e-05	-3.4939e-06	-3.9652e-05	-0.00076014	0.0012568	-0.00011506
28	sw	-7.6854e-05	-4.9094e-06	-6.7796e-05	-0.00097394	0.00085278	-1.8418e-05
29	sw	-7.1077e-05	-8.8343e-06	-5.4650e-05	0.0039670	-0.0054639	-0.00091548
30	sw	-5.3620e-05	-3.1058e-06	-4.9633e-05	-0.0023832	0.00065740	-9.4124e-05
31	sw	-5.3612e-05	-4.5868e-06	-9.9445e-05	-0.0019730	0.0053541	9.9944e-05
32	sw	-4.2510e-05	-5.5249e-07	-7.9887e-05	-0.0024618	-0.010923	-0.00027159
33	sw	-8.5325e-05	2.3166e-06	-4.7384e-05	-0.00011133	-0.00093838	-0.00034565
34	sw	-3.1133e-05	-4.2400e-06	-8.9470e-05	-0.00057537	0.0086816	0.00017328
35	sw	-2.1090e-05	4.5170e-06	-8.6713e-05	0.00050807	-0.010282	8.0494e-05
36	sw	-5.3698e-05	2.4813e-06	-4.1364e-05	0.0019152	-0.00012124	-0.00033140
37	sw	-5.2488e-05	-4.1152e-06	-7.7558e-05	0.0021571	0.0035986	0.00015940
38	sw	-4.5506e-05	4.8690e-06	-6.2508e-05	0.0017825	-0.0074515	0.00019879
39	sw	-7.7382e-05	-3.7594e-06	-0.00017510	-0.071449	0.0064326	3.0725e-06
40	sw	-7.7205e-05	-3.9696e-06	-0.00026041	-0.089338	2.4202e-05	-3.3302e-05
41	sw	-7.7030e-05	-4.4240e-06	-0.00017834	-0.070190	-0.0058848	-3.8542e-05
42	sw	-5.5523e-05	-1.3700e-06	-0.00017239	-0.0027526	0.24907	0.00041200
43	sw	-5.5240e-05	-4.4775e-06	-0.00021451	-0.0024870	-0.24894	-0.00020228

Εικόνα 31: Παράθυρο διαλόγου «Γεννήτρια Συνδυασμού Φορτίσεων κατά EC1» [2]

- Δυνάμεις μέλους στα άκρα: Στην **Εικόνα 32** παρουσιάζεται η εμφάνιση των αποτελεσμάτων για τις μετατοπίσεις των κόμβων (για κάθε περίπτωση φόρτισης) όπου έγινε από το μενού: Υπολογισμοί > Φύλλα Δεδομένων > Δυνάμεις Μέλους στα Άκρα

Τελικές Δυνάμεις Μέλους M KN DEG CEN SEC

Member	Load	Joint	Force X	Force Y	Force Z	Moment X	Moment Y	Moment Z
30	sw	2	-21.1632	-0.0435	0.4147	-0.0000	-0.9010	-0.0775
30	sw	27	-15.1604	-0.0435	0.4147	-0.0000	1.2286	0.1460
30	windX	2	3.3697	-0.0036	-4.3816	0.0001	10.1316	-0.0082
30	windX	27	3.3697	-0.0036	-0.2736	0.0001	-1.8205	0.0100
30	windY	2	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
30	windY	27	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000
30	dI1	2	-2.6461	-0.0418	0.2685	0.0000	-0.5029	-0.0676
30	dI1	27	-2.6461	-0.0418	0.2685	0.0000	0.8760	0.1468
30	II1	2	-44.1021	-0.6958	4.4756	0.0005	-8.3818	-1.1261
30	II1	27	-44.1021	-0.6958	4.4756	0.0005	14.6003	2.4471
30	dI2	2	-1.4672	0.0076	-0.0378	-0.0000	0.0498	0.0110
30	dI2	27	-1.4672	0.0076	-0.0378	-0.0000	-0.1443	-0.0279
30	II2	2	-24.4532	0.1260	-0.6299	-0.0005	0.8296	0.1827
30	II2	27	-24.4532	0.1260	-0.6299	-0.0005	-2.4048	-0.4642
30	dI3	2	0.0627	-0.0003	0.0089	-0.0000	-0.0176	-0.0008
30	dI3	27	0.0627	-0.0003	0.0089	-0.0000	0.0284	0.0005
30	dI3I	2	-1.3071	-0.0003	-0.0194	0.0001	0.0507	-0.0016
30	dI3I	27	-1.3071	-0.0003	-0.0194	0.0001	-0.0489	-0.0001
30	dI3r	2	0.0497	-0.0010	0.0344	-0.0000	-0.0875	-0.0030
30	dI3r	27	0.0497	-0.0010	0.0344	-0.0000	0.0893	0.0019
30	II3	2	0.0837	-0.0003	0.0119	-0.0000	-0.0234	-0.0010
30	II3	27	0.0837	-0.0003	0.0119	-0.0000	0.0378	0.0007
30	II3I	2	-1.7428	-0.0004	-0.0259	0.0001	0.0676	-0.0021
30	II3I	27	-1.7428	-0.0004	-0.0259	0.0001	-0.0652	-0.0001
30	II3r	2	0.0663	-0.0013	0.0459	-0.0000	-0.1167	-0.0040
30	II3r	27	0.0663	-0.0013	0.0459	-0.0000	0.1191	0.0025
30	EQ_X	2	29.0923	-0.0143	-13.1566	0.0012	51.3208	-0.0356
30	EQ_X	27	29.0923	-0.0143	-13.1566	0.0012	-16.2386	0.0381
30	EQ_Y	2	8.4047	1.8525	-0.7880	0.0165	3.2677	5.6669

Εικόνα 32: Παράθυρο διαλόγου «Δυνάμεις Μέλους στα Άκρα» [2]

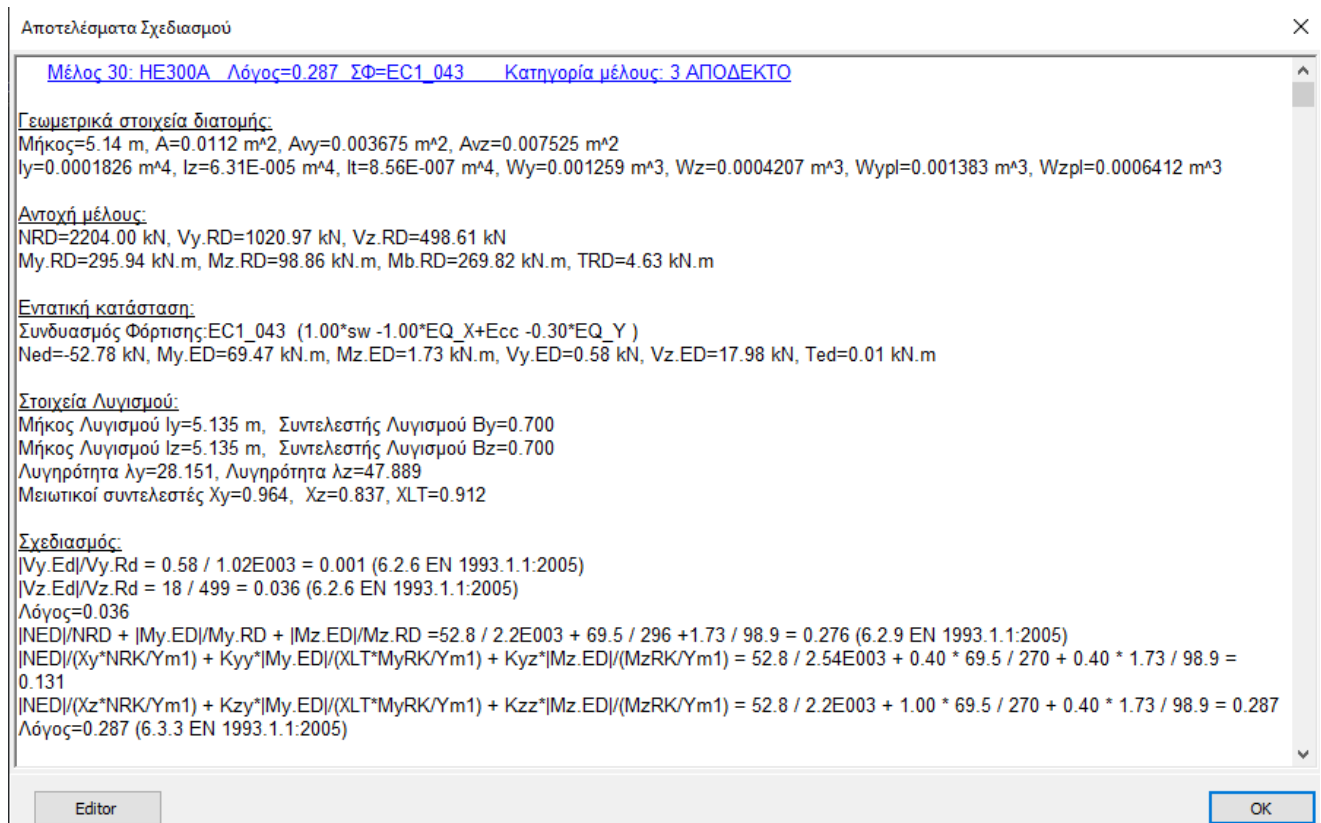
- Δυνάμεις διατομής: Στην **Εικόνα 33** φαίνεται η εμφάνιση των αποτελεσμάτων για τις δυνάμεις στις διατομές των μελών (για κάθε περίπτωση φόρτισης), όπου έγινε από το μενού: Υπολογισμοί > Φύλλα Δεδομένων > Δυνάμεις Διατομής,

■ Δυνάμεις Διατομής M KN DEG CEN SEC

Member	Load	Section	Axial	Y Shear	Z Shear	Torsion	Y Bending	Z Bending
30	sw	0.0000	-21.163	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	-0.90103	-0.077517
30	sw	0.51350	-20.563	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	-0.68806	-0.055166
30	sw	1.0270	-19.963	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	-0.47510	-0.032816
30	sw	1.5405	-19.362	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	-0.26213	-0.010465
30	sw	2.0540	-18.762	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	-0.049168	0.011885
30	sw	2.5675	-18.162	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	0.16380	0.034236
30	sw	3.0810	-17.562	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	0.37676	0.056586
30	sw	3.5945	-16.961	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	0.58973	0.078937
30	sw	4.1080	-16.361	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	0.80269	0.10129
30	sw	4.6215	-15.761	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	1.0157	0.12364
30	sw	5.1350	-15.160	-0.043526	0.41473	-2.7038e-05	1.2286	0.14599
30	windX	0.0000	3.3697	-0.0035509	-4.3816	0.00013814	10.132	-0.0081914
30	windX	0.51350	3.3697	-0.0035509	-3.9708	0.00013814	7.9871	-0.0063681
30	windX	1.0270	3.3697	-0.0035509	-3.5600	0.00013814	6.0536	-0.0045447
30	windX	1.5405	3.3697	-0.0035509	-3.1492	0.00013814	4.3310	-0.0027213
30	windX	2.0540	3.3697	-0.0035509	-2.7384	0.00013814	2.8194	-0.00089791
30	windX	2.5675	3.3697	-0.0035509	-2.3276	0.00013814	1.5187	-0.00092548
30	windX	3.0810	3.3697	-0.0035509	-1.9168	0.00013814	0.42895	0.0027489
30	windX	3.5945	3.3697	-0.0035509	-1.5060	0.00013814	-0.44984	0.0045722
30	windX	4.1080	3.3697	-0.0035509	-1.0952	0.00013814	-1.1177	0.0063956
30	windX	4.6215	3.3697	-0.0035509	-0.68437	0.00013814	-1.5746	0.0082190
30	windX	5.1350	3.3697	-0.0035509	-0.27357	0.00013814	-1.8205	0.010042
30	windY	0.0000	-1.0086e-17	-3.2974e-18	-1.5494e-18	5.9914e-21	6.0182e-18	-1.0542e-17
30	windY	0.51350	-1.0086e-17	-3.2974e-18	-1.5494e-18	5.9914e-21	5.2226e-18	-8.8488e-18
30	windY	1.0270	-1.0086e-17	-3.2974e-18	-1.5494e-18	5.9914e-21	4.4270e-18	-7.1555e-18
30	windY	1.5405	-1.0086e-17	-3.2974e-18	-1.5494e-18	5.9914e-21	3.6315e-18	-5.4623e-18
30	windY	2.0540	-1.0086e-17	-3.2974e-18	-1.5494e-18	5.9914e-21	2.8359e-18	-3.7691e-18
30	windY	2.5675	-1.0086e-17	-3.2974e-18	-1.5494e-18	5.9914e-21	2.0403e-18	-2.0759e-18
30	windY	3.0810	-1.0086e-17	-3.2974e-18	-1.5494e-18	5.9914e-21	1.2447e-18	-3.8263e-19

Εικόνα 33: Παράθυρο διαλόγου «Δυνάμεις διατομής» [2]

- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ:** Για το σχεδιασμό των μεταλλικών μελών στο παράθυρο διαλόγου «Σχεδιασμός Διατομών» που ακολούθησε δόθηκε η δυνατότητα εισαγωγής των παραμέτρων για τον σχεδιασμό των διατομών των μεταλλικών μελών του προσομοιώματος. Αφήνοντας τις προεπιλεγμένες τιμές και επιλογές, πατήθηκε το «OK» για να ξεκινήσει η διαδικασία σχεδιασμού των μεταλλικών μελών. Εν συνεχεία, στο παράθυρο διαλόγου «Αλλαγή συντελεστών λυγισμού» δίνεται η δυνατότητα αλλαγής των συντελεστών λυγισμού για το κάθε μέλος ξεχωριστά. Αφήνοντας τις προεπιλεγμένες τιμές, πατήθηκε το «OK» για να συνεχιστεί η διαδικασία σχεδιασμού. Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού εμφανίστηκε η ένδειξη της προόδου σχεδιασμού για κάθε μέλος του προσομοιώματος.
- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΛΩΝ:** Όπως φαίνεται στη **Εικόνα 34**, η εμφάνιση των αποτελεσμάτων ελέγχου μελών βάσει του κανονισμού σχεδιασμού έγινε από το μενού: Υπολογισμοί > Φύλλα Δεδομένων > Αποτελέσματα Ελέγχου Μελών.



Εικόνα 34: Παράθυρο διαλόγου «Αποτελέσματα Σχεδιασμού» [2]

- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ: Όπως φαίνεται στη **Εικόνα 35**, η εμφάνιση των αποτελεσμάτων ελέγχου Ισορροπίας Δυνάμεων του φορέα έγινε από το μενού: Υπολογισμοί > Φύλλα Δεδομένων > Έλεγχος Ισορροπίας

Ελεγχος Ισορροπίας M KN DEG CEN SEC

Load Case	Forces X	Forces Y	Forces Z	Reactions X	Reactions Y	Reactions Z	dFX	dFY	dFZ	Error
sw	0.0000	0.0000	-369.73	1.1000e-07	8.2000e-08	369.73	1.1000e-07	8.2000e-08	-6.9000e-07	
windX	28.856	0.0000	0.0000	-28.856	-7.7300e-09	8.0000e-08	1.0658e-14	-7.7300e-09	8.0000e-08	
windY	0.0000	0.0000	0.0000	1.4000e-25	1.3878e-16	-2.6500e-24	1.4000e-25	1.3878e-16	-2.6500e-24	
EQ_X	177.47	0.0000	0.0000	-177.47	4.5400e-08	3.0000e-07	3.0000e-07	4.5400e-08	3.0000e-07	
EQ_Y	0.0000	177.47	0.0000	-7.0000e-08	-177.47	-6.9900e-06	-7.0000e-08	-4.0000e-07	-6.9900e-06	
EQ_X+Ecc	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
EQ_X-Ecc	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
EQ_Y+Ecc	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
EQ_Y-Ecc	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
dl1	0.0000	0.0000	-44.024	-2.7000e-08	-6.0000e-10	44.024	-2.7000e-08	-6.0000e-10	-1.4000e-07	
ll1	0.0000	0.0000	-733.73	-5.0000e-07	-5.0000e-08	733.73	-5.0000e-07	-5.0000e-08	1.0100e-05	
dl2	0.0000	0.0000	-52.468	2.0000e-09	-7.0000e-10	52.468	2.0000e-09	-7.0000e-10	2.8422e-14	
ll2	0.0000	0.0000	-874.46	7.0000e-08	1.6000e-08	874.46	7.0000e-08	1.6000e-08	3.4000e-06	
dl3	-5.0000e-16	0.0000	-1.1375	-1.2000e-10	2.7000e-11	1.1375	-1.2000e-10	2.7000e-11	7.4000e-09	
dl3l	-1.2135e-13	0.0000	-21.056	6.0000e-10	3.0400e-09	21.056	5.9988e-10	3.0400e-09	9.1610e-08	
dl3r	3.0000e-15	3.9339e-12	-5.3323	8.9000e-10	-7.0000e-10	5.3323	8.9000e-10	-6.9607e-10	-6.3000e-09	
ll3	2.5000e-15	0.0000	-1.5167	-3.0000e-10	5.6000e-11	1.5167	-3.0000e-10	5.6000e-11	1.7200e-08	
ll3l	-7.9700e-15	0.0000	-28.075	-1.2700e-08	-1.3500e-09	28.075	-1.2700e-08	-1.3500e-09	7.2880e-08	
ll3r	-2.0000e-15	5.2451e-12	-7.1097	8.0000e-10	-2.9000e-09	7.1097	8.0000e-10	-2.8948e-09	-1.7000e-08	
EC1_001	-1.4422e-13	1.0022e-11	-2293.7	-3.6520e-07	5.5216e-08	2293.7	-3.6520e-07	5.5226e-08	1.3406e-05	
EC1_002	-1.7165e-13	1.3178e-11	-3133.9	-5.4670e-07	5.4849e-08	3133.9	-5.4670e-07	5.4863e-08	1.9364e-05	
EC1_003	-1.3638e-13	4.5142e-12	-566.58	9.9110e-08	9.5319e-08	566.58	9.9109e-08	9.5324e-08	-8.4604e-07	
EC1_004	-1.6045e-13	5.3108e-12	-666.56	1.1660e-07	1.1214e-07	666.56	1.1660e-07	1.1215e-07	-9.9534e-07	
EC1_005	-1.4422e-13	1.0022e-11	-2293.7	-3.6520e-07	5.5216e-08	2293.7	-3.6520e-07	5.5226e-08	1.3406e-05	
EC1_006	-1.7165e-13	1.3178e-11	-3133.9	-5.4670e-07	5.4849e-08	3133.9	-5.4670e-07	5.4863e-08	1.9364e-05	
EC1_007	-1.6829e-13	1.0818e-11	-2393.7	-3.4771e-07	7.2037e-08	2393.7	-3.4771e-07	7.2048e-08	1.3256e-05	
EC1_008	-1.3638e-13	4.5142e-12	-566.58	9.9110e-08	9.5319e-08	566.58	9.9109e-08	9.5324e-08	-8.4604e-07	
EC1_009	-1.6045e-13	5.3108e-12	-666.56	1.1660e-07	1.1214e-07	666.56	1.1660e-07	1.1215e-07	-9.9534e-07	
EC1_010	-1.6829e-13	1.0818e-11	-2393.7	-3.4771e-07	7.2037e-08	2393.7	-3.4771e-07	7.2048e-08	1.3256e-05	

Εικόνα 35: Παράθυρο διαλόγου «Έλεγχος Ισορροπίας» [2]

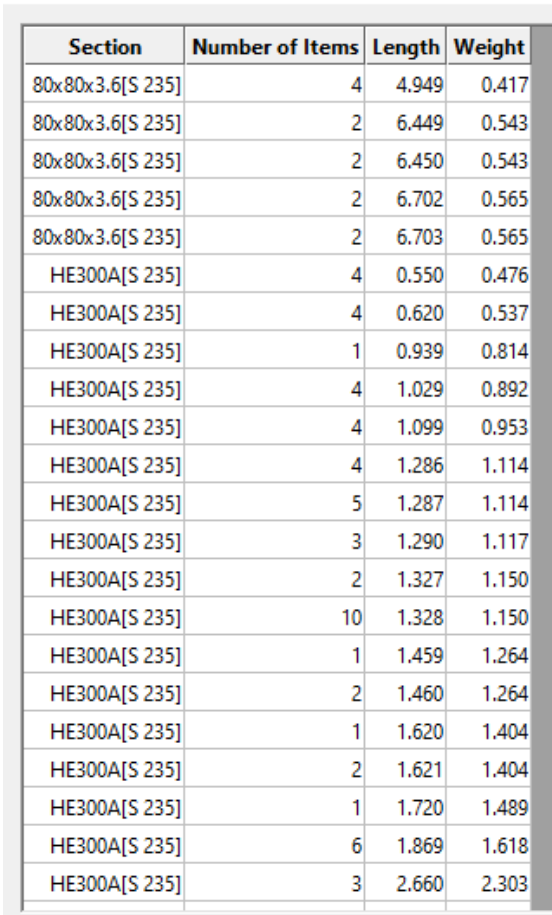
- ΠΡΟΜΕΤΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ:
 - Όπως δείχνει η **Εικόνα 36**, τα αποτελέσματα προμέτρησης των υλικών του φορέα έγιναν από το μενού: Υπολογισμοί > Προμέτρηση Υλικών > Ανά Μέλος, για την εμφάνιση δεδομένων για κάθε μέλος της μελέτης ως προς το υλικό της διατομής του, το συνολικό μήκος του κάθε μέλους αλλά και το βάρος του.

Προμέτρηση ανά Μέλος M KN DEG CEN SEC

Member	Section	Material	Length	Weight
30	HE300A	S 235	5.135	4.447
31	HE300A	S 235	5.135	4.447
32	HE300A	S 235	5.135	4.447
33	HE300A	S 235	5.135	4.447
34	HE300A	S 235	5.135	4.447
35	HE300A	S 235	5.135	4.447
36	HE300A	S 235	5.135	4.447
37	HE300A	S 235	5.135	4.447
38	HE300A	S 235	5.135	4.447
39	HE300A	S 235	5.135	4.447
40	HE300A	S 235	5.135	4.447
41	HE300A	S 235	5.135	4.447
42	HE300A	S 235	4.326	3.746
43	HE300A	S 235	4.851	4.201
44	HE300A	S 235	4.326	3.746
45	HE300A	S 235	4.326	3.746
46	HE300A	S 235	4.309	3.731
47	HE300A	S 235	4.800	4.156
48	HE300A	S 235	4.800	4.156

Εικόνα 36: Παράθυρο διαλόγου «Προμέτρηση υλικών ανά μέλος» [2]

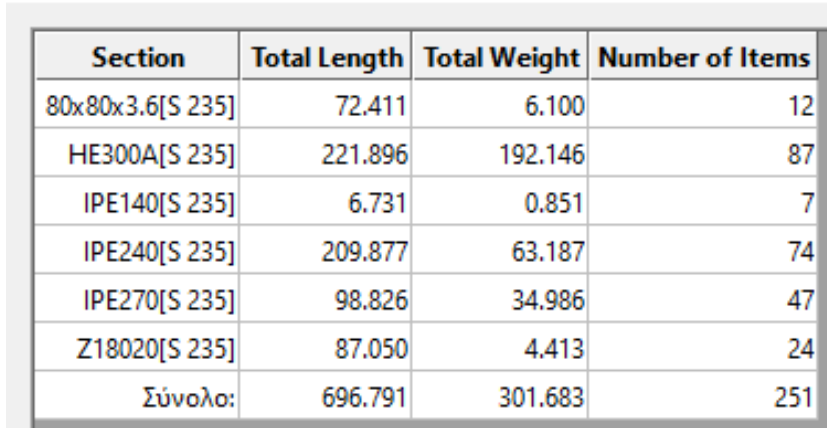
- Όπως δείχνει η **Εικόνα 37**, από Υπολογισμοί > Προμέτρηση Υλικών > Ανά Διατομή για την εμφάνιση δεδομένων για κάθε διατομή που επιλέχθηκε στη μελέτη εμφανίζοντας το συνολικό αριθμό κάθε τύπου διατομής που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη, το συνολικό μήκος της κάθε διατομής και το βάρος της.



Section	Number of Items	Length	Weight
80x80x3.6[S 235]	4	4.949	0.417
80x80x3.6[S 235]	2	6.449	0.543
80x80x3.6[S 235]	2	6.450	0.543
80x80x3.6[S 235]	2	6.702	0.565
80x80x3.6[S 235]	2	6.703	0.565
HE300A[S 235]	4	0.550	0.476
HE300A[S 235]	4	0.620	0.537
HE300A[S 235]	1	0.939	0.814
HE300A[S 235]	4	1.029	0.892
HE300A[S 235]	4	1.099	0.953
HE300A[S 235]	4	1.286	1.114
HE300A[S 235]	5	1.287	1.114
HE300A[S 235]	3	1.290	1.117
HE300A[S 235]	2	1.327	1.150
HE300A[S 235]	10	1.328	1.150
HE300A[S 235]	1	1.459	1.264
HE300A[S 235]	2	1.460	1.264
HE300A[S 235]	1	1.620	1.404
HE300A[S 235]	2	1.621	1.404
HE300A[S 235]	1	1.720	1.489
HE300A[S 235]	6	1.869	1.618
HE300A[S 235]	3	2.660	2.303

Εικόνα 37: Παράθυρο διαλόγου «Προμέτρηση υλικών ανά διατομή» [2]

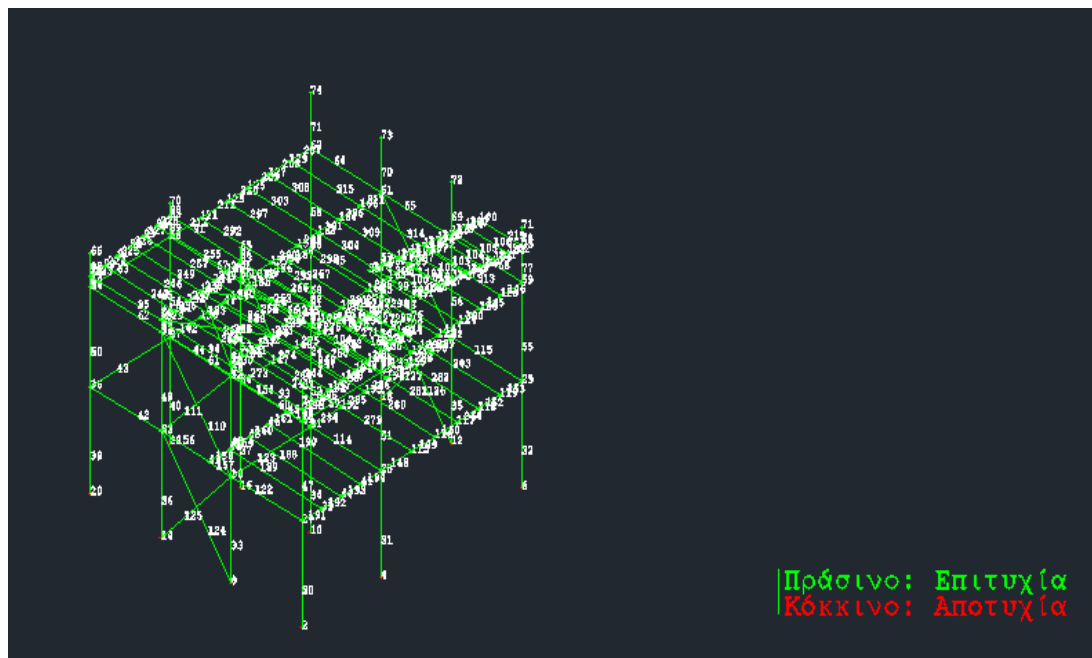
- Τέλος, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 38**, από Υπολογισμοί > Προμέτρηση Υλικών > Συγκεντρωτικά για την εμφάνιση του συνολικού αριθμού διατομών, συνολικού βάρους και συνολικών μηκών όλων των διατομών.



Section	Total Length	Total Weight	Number of Items
80x80x3.6[S 235]	72.411	6.100	12
HE300A[S 235]	221.896	192.146	87
IPE140[S 235]	6.731	0.851	7
IPE240[S 235]	209.877	63.187	74
IPE270[S 235]	98.826	34.986	47
Z18020[S 235]	87.050	4.413	24
Σύνολο:	696.791	301.683	251

Εικόνα 38: Παράθυρο διαλόγου «Προμέτρηση υλικών συνοπτικά» [2]

- **ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΩΝ ΜΕΛΩΝ ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ:** Για τον έλεγχο μελών με χρωματική απεικόνιση επιλέχθηκε από τη καρτέλα Εμφάνιση> Ανεπάρκειες. Στο πλαίσιο που ανοίγει επιλέχθηκε «Λόγος τάσεων» και στο πεδίο «Τιμές» μεγαλύτερο από 1.00. Πατήθηκε «Εμφάνιση». Όσα μέλη ανεπαρκούν εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα ενώ όσα έχουν επάρκεια με πράσινο.



Εικόνα 39: Χρωματική απεικόνιση μελών της κατασκευής που βρίσκονται σε επάρκεια και ανεπάρκεια [2]

3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Πίνακας 3: Δομικοί Έλεγχοι

Πεδίο	Περιγραφή
A/A	Αύξων αριθμός στάθμης
h	Ύψος στάθμης
ΣΝ	Συνολικό κατακόρυφο φορτίο στάθμης
ΣVx, ΣVy	Τέμνουσα στάθμης κατά τον αντίστοιχο άξονα
Δx, Δy	Σχετική μετατόπιση στάθμης κατά τον αντίστοιχο άξονα
qx, qy	Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς κατά τον αντίστοιχο άξονα
θx, θy	Δείκτης σχετικής μεταθετότητας στάθμης κατά τον αντίστοιχο άξονα
Δx/h, Δy/h	Σχετικό βέλος κάμψης στάθμης κατά τον αντίστοιχο άξονα
γx, γy	Γωνιακή παραμόρφωση στάθμης κατά τον αντίστοιχο άξονα

Πίνακας 4: Έλεγχος Σχετικής Μεταθετότητας θ

A/A	h	ΣΝ	ΣVx	ΣVy	Δx	Δy	qx	qy	θx	θy
	m	kN	kN	kN	m	m				
1	8.00	369.73	177.47	177.47	0.0096	0.0056	1.50	1.50	0.0037	0.0022
2	4.80	185.53	118.85	118.85	0.0100	0.0051	1.50	1.50	0.0049	0.0025
3	1.03	58.27	40.50	40.50	0.0018	0.0041	1.50	1.50	0.0038	0.0085

Πίνακας 5: Έλεγχος Περιορισμού Βλαβών

A/A	h	ΣΝ	ΣVx	ΣVy	Δx	Δy	Δx/h	Δy/h	qx	qy	γx	γy
	m	kN	kN	kN	m	m						
1	8.00	369.73	177.47	177.47	0.0096	0.0056	0.0012	0.0007	1.50	1.50	0.0009	0.0005
2	4.80	185.53	118.85	118.85	0.0100	0.0051	0.0021	0.0011	1.50	1.50	0.0016	0.0008
3	1.03	58.27	40.50	40.50	0.0018	0.0041	0.0017	0.0039	1.50	1.50	0.0013	0.0030

Σχεδιασμός Μεταλλικών Μελών

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν ενδεικτικά μέλη από κάθε ομάδα και διατομή

- Υποστυλώματα:

Μέλος 30: HE300A Λόγος=0.287 ΣΦ=EC1_043 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=5.14 m, A=0.0112 m², A_{vy}=0.003675 m², A_{vz}=0.007525 m²
 I_y=0.0001826 m⁴, I_z=6.31E-005 m⁴, I_t=8.56E-007 m⁴, W_y=0.001259 m³, W_z=0.0004207 m³,
 W_{yp}=0.001383 m³, W_{zp}=0.0006412 m³

Αντοχή μέλους:

NRD=2204.00 kN, V_y.RD=1020.97 kN, V_z.RD=498.61 kN
 M_y.RD=295.94 kN.m, M_z.RD=98.86 kN.m, M_b.RD=269.82 kN.m, TRD=4.63 kN.m

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_043 (1.00*sw -1.00*EQ_X+Ecc -0.30*EQ_Y)
 Ned=-52.78 kN, M_y.ED=69.47 kN.m, M_z.ED=1.73 kN.m, V_y.ED=0.58 kN, V_z.ED=17.98 kN, Ted=0.01 kN.m

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού I_y=5.135 m, Συντελεστής Λυγισμού B_y=0.700
 Μήκος Λυγισμού I_z=5.135 m, Συντελεστής Λυγισμού B_z=0.700
 Λυγηρότητα λ_y=28.151, Λυγηρότητα λ_z=47.889
 Μειωτικοί συντελεστές X_y=0.964, X_z=0.837, XLT=0.912

Σχεδιασμός:

|V_y.Ed|/V_y.Rd = 0.58 / 1.02E003 = 0.001 (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

|V_z.Ed|/V_z.Rd = 18 / 499 = 0.036 (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

Λόγος=0.036

|NED|/NRD + |M_y.ED|/M_y.RD + |M_z.ED|/M_z.RD = 52.8 / 2.2E003 + 69.5 / 296 + 1.73 / 98.9 = 0.276
 (6.2.9 EN 1993.1.1:2005)

|NED|/(X_y*NRK/Ym1) + K_{yy}*|M_y.ED|/(XLT*M_yRK/Ym1) + K_{yz}*|M_z.ED|/(M_zRK/Ym1) = 52.8 /
 2.54E003 + 0.40 * 69.5 / 270 + 0.40 * 1.73 / 98.9 = 0.131

|NED|/(X_z*NRK/Ym1) + K_{zy}*|M_y.ED|/(XLT*M_yRK/Ym1) + K_{zz}*|M_z.ED|/(M_zRK/Ym1) = 52.8 / 2.2E003
 + 1.00 * 69.5 / 270 + 0.40 * 1.73 / 98.9 = 0.287

Λόγος=0.287 (6.3.3 EN 1993.1.1:2005)

Μέλος 76: IPE240 Λόγος=0.861 ΣΦ=EC1_050 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=1.43 m, A=0.00391 m², A_{vy}=0.001913 m², A_{vz}=0.001997 m²
 I_y=3.89E-005 m⁴, I_z=2.84E-006 m⁴, I_t=1.29E-007 m⁴, W_y=0.0003242 m³, W_z=4.733E-005 m³,
 W_{yp}=0.0003666 m³, W_{zp}=7.392E-005 m³

Αντοχή μέλους:

NRD=872.55 kN, V_y.RD=270.98 kN, V_z.RD=259.52 kN
 M_y.RD=76.18 kN.m, M_z.RD=11.12 kN.m, M_b.RD=72.08 kN.m, TRD=1.07 kN.m

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_050 (1.00*sw + 0.30*EQ_X + 1.00*EQ_Y + Ecc)

Ned=-3.56 kN, My.ED=3.30 kN.m, Mz.ED=9.02 kN.m, Vy.ED=3.74 kN, Vz.ED=1.21 kN, Ted=0.08 kN.m

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού $l_y=1.430$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_y=0.700$

Μήκος Λυγισμού $l_z=1.430$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_z=0.600$

Λυγηρότητα $\lambda_y=10.036$, Λυγηρότητα $\lambda_z=31.836$

Μειωτικοί συντελεστές $\chi_y=1.000$, $\chi_z=0.950$, $\chi_{LT}=0.946$

Σχεδιασμός:

$|V_y.Ed|/V_y.Rd = 3.74 / 271 = 0.014$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

$|V_z.Ed|/V_z.Rd = 1.21 / 260 = 0.005$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

Λόγος=0.014

$|NED|/NRD + |My.ED|/My.RD + |Mz.ED|/Mz.RD = 3.56 / 873 + 3.3 / 76.2 + 9.02 / 11.1 = 0.858$ (6.2.9 EN 1993.1.1:2005)

$|NED|/(\chi_y \cdot NRK/Ym1) + K_{yy} \cdot |My.ED|/(\chi_{LT} \cdot MyRK/Ym1) + K_{yz} \cdot |Mz.ED|/(MzRK/Ym1) = 3.56 / 919 + 1.00 \cdot 3.3 / 72.1 + 1.00 \cdot 9.02 / 11.1 = 0.861$

$|NED|/(\chi_z \cdot NRK/Ym1) + K_{zy} \cdot |My.ED|/(\chi_{LT} \cdot MyRK/Ym1) + K_{zz} \cdot |Mz.ED|/(MzRK/Ym1) = 3.56 / 873 + 1.00 \cdot 3.3 / 72.1 + 1.00 \cdot 9.02 / 11.1 = 0.861$

Λόγος=0.861 (6.3.3 EN 1993.1.1:2005)

- Δοκοί:

[Μέλος 273: HE300A](#) Λόγος=0.278 ΣΦ=EC1_034 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=1.87 m, $A=0.0112$ m², $A_{vy}=0.003675$ m², $A_{vz}=0.007525$ m²

$I_y=0.0001826$ m⁴, $I_z=6.31E-005$ m⁴, $I_t=8.56E-007$ m⁴, $W_y=0.001259$ m³, $W_z=0.0004207$ m³,

$W_{ypl}=0.001383$ m³, $W_{zpl}=0.0006412$ m³

Αντοχή μέλους:

NRD=2632.00 kN, $V_y.RD=1020.97$ kN, $V_z.RD=498.61$ kN

$My.RD=295.94$ kN.m, $Mz.RD=98.86$ kN.m, TRD=4.63 kN.m

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_034 (1.00*sw -1.00*EQ_X + Ecc + 0.30*EQ_Y)

Ned=1.93 kN, My.ED=69.79 kN.m, Mz.ED=4.05 kN.m, Vy.ED=3.06 kN, Vz.ED=23.17 kN, Ted=0.01 kN.m

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού $l_y=1.869$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_y=0.500$

Μήκος Λυγισμού $l_z=1.869$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_z=0.500$

Λυγηρότητα $\lambda_y=7.319$, Λυγηρότητα $\lambda_z=12.451$

Μειωτικοί συντελεστές $\chi_y=1.000$, $\chi_z=1.000$, $\chi_{LT}=1.000$

Σχεδιασμός:

$|V_y.Ed|/V_y.Rd = 3.06 / 1.02E003 = 0.003$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

$|V_z.Ed|/V_z.Rd = 23.2 / 499 = 0.046$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

Λόγος=0.046

$|NED|/NRD + |My.ED|/My.RD + |Mz.ED|/Mz.RD = 1.93 / 2.63E003 + 69.8 / 296 + 4.05 / 98.9 = 0.278$ (6.2.9 EN 1993.1.1:2005)

[Μέλος 272: IPE240](#) Λόγος=0.147 ΣΦ=EC1_050 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=4.31 m, $A=0.00391$ m², $A_{vy}=0.001913$ m², $A_{vz}=0.001997$ m²

$I_y=3.89E-005$ m⁴, $I_z=2.84E-006$ m⁴, $I_t=1.29E-007$ m⁴, $W_y=0.0003242$ m³, $W_z=4.733E-005$ m³,

$W_{ypl}=0.0003666$ m³, $W_{zpl}=7.392E-005$ m³

Αντοχή μέλους:

NRD=636.12 kN, Vy.RD=270.98 kN, Vz.RD=259.52 kN
 My.RD=76.18 kN.m, Mz.RD=11.12 kN.m, Mb.RD=50.99 kN.m, TRD=1.07 kN.m

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_050 (1.00*sw + 0.30*EQ_X + 1.00*EQ_Y+Ecc)
 Ned=-0.03 kN, My.ED=1.68 kN.m, Mz.ED=1.39 kN.m, Vy.ED=0.64 kN, Vz.ED=1.36 kN, Ted=0.00 kN.m

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού $l_y=4.309$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_y=0.500$
 Μήκος Λυγισμού $l_z=4.309$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_z=0.500$
 Λυγηρότητα $\lambda_y=21.600$, Λυγηρότητα $\lambda_z=79.940$
 Μειωτικοί συντελεστές $\chi_y=0.993$, $\chi_z=0.692$, $\chi_{LT}=0.669$

Σχεδιασμός:

$|V_y.Ed|/V_y.Rd = 0.644 / 271 = 0.002$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
 $|V_z.Ed|/V_z.Rd = 1.36 / 260 = 0.005$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
 Λόγος=0.005
 $|NED|/NRD + |M_y.ED|/M_y.RD + |M_z.ED|/M_z.RD = 0.0282 / 636 + 1.68 / 76.2 + 1.39 / 11.1 = 0.147$
 (6.2.9 EN 1993.1.1:2005)
 $|NED|/(\chi_y * NRK/Ym1) + K_{yy} * |M_y.ED|/(\chi_{LT} * MyRK/Ym1) + K_{yz} * |M_z.ED|/(MzRK/Ym1) = 0.0282 / 913 + 0.97 * 1.68 / 51 + 0.40 * 1.39 / 11.1 = 0.082$
 $|NED|/(\chi_z * NRK/Ym1) + K_{zy} * |M_y.ED|/(\chi_{LT} * MyRK/Ym1) + K_{zz} * |M_z.ED|/(MzRK/Ym1) = 0.0282 / 636 + 1.00 * 1.68 / 51 + 0.40 * 1.39 / 11.1 = 0.083$
 Λόγος=0.083 (6.3.3 EN 1993.1.1:2005)

[Μέλος 159: IPE140 Λόγος=0.335 ΣΦ=EC1_050 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ](#)

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=1.20 m, $A=0.00164$ m², $A_{vy}=0.0007616$ m², $A_{vz}=0.0008784$ m²
 $I_y=5.41E-006$ m⁴, $I_z=4.49E-007$ m⁴, $I_t=2.45E-008$ m⁴, $W_y=7.729E-005$ m³, $W_z=1.23E-005$ m³,
 $W_{ypl}=8.834E-005$ m³, $W_{zpl}=1.925E-005$ m³

Αντοχή μέλους:

NRD=385.40 kN, Vy.RD=119.17 kN, Vz.RD=103.34 kN
 My.RD=18.16 kN.m, Mz.RD=2.89 kN.m, Mb.RD=16.58 kN.m, TRD=0.33 kN.m

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_050 (1.00*sw + 0.30*EQ_X + 1.00*EQ_Y+Ecc)
 Ned=1.42 kN, My.ED=3.27 kN.m, Mz.ED=0.44 kN.m, Vy.ED=0.70 kN, Vz.ED=0.55 kN, Ted=0.00 kN.m

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού $l_y=1.200$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_y=0.500$
 Μήκος Λυγισμού $l_z=1.200$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_z=0.500$
 Λυγηρότητα $\lambda_y=10.443$, Λυγηρότητα $\lambda_z=36.251$
 Μειωτικοί συντελεστές $\chi_y=1.000$, $\chi_z=0.932$, $\chi_{LT}=0.913$

Σχεδιασμός:

$|V_y.Ed|/V_y.Rd = 0.697 / 119 = 0.006$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
 $|V_z.Ed|/V_z.Rd = 0.555 / 103 = 0.005$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
 Λόγος=0.006
 $|NED|/NRD + |M_y.ED|/M_y.RD + |M_z.ED|/M_z.RD = 1.42 / 385 + 3.27 / 18.2 + 0.438 / 2.89 = 0.335$ (6.2.9 EN 1993.1.1:2005)
 $|M_y.ED|/M_b.RD = 3.27 / 16.6 = 0.266$ (6.3.2.1 EN 1993.1.1:2005)

[Μέλος 156: IPE270 Λόγος=0.105 ΣΦ=EC1_050 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ](#)

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=2.93 m, $A=0.00459 \text{ m}^2$, $A_{vy}=0.002209 \text{ m}^2$, $A_{vz}=0.002381 \text{ m}^2$
 $I_y=5.79\text{E}-005 \text{ m}^4$, $I_z=4.2\text{E}-006 \text{ m}^4$, $I_t=1.6\text{E}-007 \text{ m}^4$, $W_y=0.0004289 \text{ m}^3$, $W_z=6.222\text{E}-005 \text{ m}^3$,
 $W_{ypl}=0.000484 \text{ m}^3$, $W_{zpl}=9.695\text{E}-005 \text{ m}^3$

Αντοχή μέλους:

$NRD=1078.65 \text{ kN}$, $V_y.RD=323.00 \text{ kN}$, $V_z.RD=299.75 \text{ kN}$
 $M_y.RD=100.79 \text{ kN.m}$, $M_z.RD=14.62 \text{ kN.m}$, $M_b.RD=84.76 \text{ kN.m}$, $TRD=1.32 \text{ kN.m}$

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_050 (1.00*sw + 0.30*EQ_X + 1.00*EQ_Y+Ecc)
 $N_{ed}=0.95 \text{ kN}$, $M_y.ED=3.35 \text{ kN.m}$, $M_z.ED=1.03 \text{ kN.m}$, $V_y.ED=0.36 \text{ kN}$, $V_z.ED=2.74 \text{ kN}$, $T_{ed}=0.02 \text{ kN.m}$

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού $l_y=2.927 \text{ m}$, Συντελεστής Λυγισμού $B_y=0.500$
Μήκος Λυγισμού $l_z=2.927 \text{ m}$, Συντελεστής Λυγισμού $B_z=0.500$
Λυγηρότητα $\lambda_y=13.030$, Λυγηρότητα $\lambda_z=48.381$
Μειωτικοί συντελεστές $\chi_y=1.000$, $\chi_z=0.877$, $\chi_{LT}=0.841$

Σχεδιασμός:

$|V_y.Ed|/V_y.Rd = 0.359 / 323 = 0.001$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
 $|V_z.Ed|/V_z.Rd = 2.74 / 300 = 0.009$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
Λόγος=0.009
 $|N_{ED}|/NRD + |M_y.ED|/M_y.RD + |M_z.ED|/M_z.RD = 0.947 / 1.08\text{E}003 + 3.35 / 101 + 1.03 / 14.6 = 0.105$
(6.2.9 EN 1993.1.1:2005)
 $|M_y.Ed|/M_b.RD = 3.35 / 84.8 = 0.040$ (6.3.2.1 EN 1993.1.1:2005)

- Τεγίδες:

[Μέλος 252: Z18020 Λόγος=0.165 ΣΦ=EC1_059 ΑΠΟΔΕΚΤΟ](#)

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=4.33 m, $A=0.000654 \text{ m}^2$, $A_{vy}=0.000422 \text{ m}^2$, $A_{vz}=0.000232 \text{ m}^2$
 $A_{eff}=0.0004968 \text{ m}^2$, $I_{yeff}=2.87\text{E}-006 \text{ m}^4$, $I_{zeff}=5.138\text{E}-007 \text{ m}^4$
 $I_y=3.59\text{E}-006 \text{ m}^4$, $I_z=2.6\text{E}-007 \text{ m}^4$, $I_t=9.2\text{E}-010 \text{ m}^4$, $W_y=3.533\text{E}-005 \text{ m}^3$, $W_z=8.51\text{E}-006 \text{ m}^3$

Γεωμετρικές Αναλογίες EC3.1-3 5.2

$b/t \leq 60.00 \Rightarrow 31.500 \leq 60.00$ OK
 $c/t \leq 50.00 \Rightarrow 11.000 \leq 50.00$ OK
 $h/t \leq 500.00$ ($\phi=90$) $\Rightarrow 90.000 \leq 500.00$ OK

Αντοχή μέλους:

$NRD=96.26 \text{ kN}$, $V_y.RD=31.48 \text{ kN}$, $V_z.RD=38.98 \text{ kN}$
 $M_y.RD=7.35 \text{ kN.m}$, $M_z.RD=2.18 \text{ kN.m}$, $M_b.RD=7.64 \text{ kN.m}$, $TRD=0.02 \text{ kN.m}$

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_059 (1.00*sw + 0.30*EQ_X -1.00*EQ_Y+Ecc)
 $N_{ed}=-2.94 \text{ kN}$, $M_y.ED=0.05 \text{ kN.m}$, $M_z.ED=0.20 \text{ kN.m}$, $V_y.ED=0.09 \text{ kN}$, $V_z.ED=0.15 \text{ kN}$, $T_{ed}=0.00 \text{ kN.m}$

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού $l_y=4.328 \text{ m}$, Συντελεστής Λυγισμού $B_y=0.500$
Μήκος Λυγισμού $l_z=4.328 \text{ m}$, Συντελεστής Λυγισμού $B_z=0.500$
Λυγηρότητα $\lambda_y=28.474$, Λυγηρότητα $\lambda_z=67.295$
Μειωτικοί συντελεστές $\chi_y=0.977$, $\chi_z=0.825$, $\chi_{LT}=1.000$

Σχεδιασμός:

$|V_z.Ed|/V_z.Rd = 0.155 / 39 = 0.004$ (6.1.5 EN 1993.1.3:2006)
Λόγος=0.004

$$|N_{ed}|/N_{cRd} + (|M_{yEd}|+|\Delta M_{yED}|)/M_{yRd} + (|M_{zEd}|+|\Delta M_{zED}|)/M_{zRd} = 2.9369/116.7464 + (0.0523+0.2592)/7.3518 + (0.1971+0.0034)/2.1820 = 0.1647$$

$$(|M_{yEd}|+|\Delta M_{yED}|)/M_{yRd} + (|M_{zEd}|+|\Delta M_{zED}|)/M_{zRd} - |N_{ed}|/N_{cRd} = (0.0523+0.2592)/7.3518 + (0.1971+0.0034)/2.1820 - 2.9369/116.7464 = 0.039$$

$$|N_{ED}|/(X_y \cdot N_{RK}/Y_{m1}) + K_{yy} \cdot (|M_{y,ED}|+|\Delta M_{yED}|)/(X_{LT} \cdot M_{yRK}/Y_{m1}) + K_{yz} \cdot (|M_{z,ED}|+|\Delta M_{zED}|)/(M_{zRK}/Y_{m1}) = 2.9369 / 103.7005 + 0.90 \cdot (0.0523 + 0.2592) / 6.9458 + 0.40 \cdot (0.1971 + 0.0034) / 96.1259 = 0.070$$

$$|N_{ED}|/(X_z \cdot N_{RK}/Y_{m1}) + K_{zy} \cdot (|M_{y,ED}|+|\Delta M_{yED}|)/(X_{LT} \cdot M_{yRK}/Y_{m1}) + K_{zz} \cdot (|M_{z,ED}|+|\Delta M_{zED}|)/(M_{zRK}/Y_{m1}) = 2.9369 / 87.5079 + 1.00 \cdot (0.0523 + 0.2592) / 6.9458 + 0.40 \cdot (0.1971 + 0.0034) / 96.1259 = 0.079$$

Λόγος=0.088 (6.3.3 EN 1993.1.1:2005)

- Αντιανέμια:

[Μέλος 110: 80x80x3.6 Λόγος=0.281 ΣΦ=EC1_058 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ](#)

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=6.45 m, A=0.00109 m², A_{vy}=0.000545 m², A_{vz}=0.000545 m²
 I_y=1.06E-006 m⁴, I_z=1.06E-006 m⁴, I_t=1.64E-006 m⁴, W_y=2.65E-005 m³, W_z=2.65E-005 m³,
 W_{yp1}=3.13E-005 m³, W_{zp1}=3.13E-005 m³

Αντοχή μέλους:

NRD=152.44 kN, V_{y,RD}=73.94 kN, V_{z,RD}=73.94 kN
 M_{y,RD}=6.23 kN.m, M_{z,RD}=6.23 kN.m, TRD=1.06 kN.m

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_058 (1.00*sw + 0.30*EQ_X -1.00*EQ_Y)
 N_{ed}=-35.20 kN, M_{y,ED}=0.25 kN.m, M_{z,ED}=0.06 kN.m, V_{y,ED}=0.02 kN, V_{z,ED}=0.24 kN, T_{ed}=0.03 kN.m

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού l_y=6.450 m, Συντελεστής Λυγισμού B_y=0.500
 Μήκος Λυγισμού l_z=6.450 m, Συντελεστής Λυγισμού B_z=0.500
 Λυγηρότητα λ_y=103.412, Λυγηρότητα λ_z=103.412
 Μειωτικοί συντελεστές X_y=0.595, X_z=0.595, X_{LT}=1.000

Σχεδιασμός:

|V_{y,Ed}|/V_{y,Rd} = 0.0169 / 73.9 = 0.000 (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
 |V_{z,Ed}|/V_{z,Rd} = 0.243 / 73.9 = 0.003 (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)
 Λόγος=0.003
 |N_{ED}|/NRD + |M_{y,ED}|/M_{y,RD} + |M_{z,ED}|/M_{z,RD} = 35.2 / 152 + 0.255 / 6.23 + 0.0565 / 6.23 = 0.281 (6.2.9 EN 1993.1.1:2005)

[Μέλος 259: 80x80x3.6 Λόγος=0.137 ΣΦ=EC1_076 Κατηγορία μέλους: 3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ](#)

Γεωμετρικά στοιχεία διατομής:

Μήκος=4.95 m, A=0.00109 m², A_{vy}=0.000545 m², A_{vz}=0.000545 m²
 I_y=1.06E-006 m⁴, I_z=1.06E-006 m⁴, I_t=1.64E-006 m⁴, W_y=2.65E-005 m³, W_z=2.65E-005 m³,
 W_{yp1}=3.13E-005 m³, W_{zp1}=3.13E-005 m³

Αντοχή μέλους:

NRD=196.96 kN, V_{y,RD}=73.94 kN, V_{z,RD}=73.94 kN
 M_{y,RD}=6.23 kN.m, M_{z,RD}=6.23 kN.m, TRD=1.06 kN.m

Εντατική κατάσταση:

Συνδυασμός Φόρτισης: EC1_076 (1.00*sw -0.30*EQ_X -1.00*EQ_Y)
 N_{ed}=-13.13 kN, M_{y,ED}=0.34 kN.m, M_{z,ED}=0.09 kN.m, V_{y,ED}=0.02 kN, V_{z,ED}=0.32 kN, T_{ed}=0.02 kN.m

Στοιχεία Λυγισμού:

Μήκος Λυγισμού $l_y=4.949$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_y=0.500$

Μήκος Λυγισμού $l_z=4.949$ m, Συντελεστής Λυγισμού $B_z=0.500$

Λυγηρότητα $\lambda_y=79.358$, Λυγηρότητα $\lambda_z=79.358$

Μειωτικοί συντελεστές $\chi_y=0.769$, $\chi_z=0.769$, $\chi_{LT}=1.000$

Σχεδιασμός:

$|V_y.Ed|/V_y.Rd = 0.0161 / 73.9 = 0.000$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

$|V_z.Ed|/V_z.Rd = 0.321 / 73.9 = 0.004$ (6.2.6 EN 1993.1.1:2005)

Λόγος=0.004

$|N_{ED}|/N_{RD} + |M_y.ED|/M_y.R$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΦΟΡΕΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3 (EC3): ΕΝ 1993

4.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3 (EC3): EN 1993

Πίνακας 6: Όρια διαρροής ENV(3.2.2.1-3.3.2.1)

	t<40mm		40<t<100 mm	
	fy(N/mm ²)	fu(N/mm ²)	fy(N/mm ²)	fu(N/mm ²)
S235	235	360	215	340

(Χάλυβας όλων των μερών της κατασκευής και αγκύρια).

ΓΙΑ ΚΟΧΛΙΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΟΣ 8.8: fy=640 N/mm² και fu=800 N/mm²

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

- Μέτρο Ελαστικότητας: $E = 210000.0 \text{ N/mm}^2$
- Λόγος Poisson: $\nu = 0.3$
- Σταθερά διάτμησης: $G = E / \{ 2 * (1+\nu) \} \Rightarrow G \simeq 81000 \text{ N/mm}^2$
- Συντελεστής ε : $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$

Κατάταξη Διατομών

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3: EN 1993^[5], «οι διατομές κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την επίδραση του τοπικού λυγισμού στην αντοχή και τη στροφική τους ικανότητα:

- **Κατηγορία 1:** Οι διατομές αυτής της κατηγορίας μπορούν να σχηματίσουν πλαστική άρθρωση και να διατηρήσουν την απαιτούμενη στροφική ικανότητα από την πλαστική ανάλυση χωρίς να μειωθεί η αντοχή τους.
- **Κατηγορία 2:** Οι διατομές αυτής της κατηγορίας μπορούν να αναπτύξουν την πλαστική τους ροπή αντοχής, αλλά η στροφική τους ικανότητα είναι περιορισμένη λόγω τοπικού λυγισμού.
- **Κατηγορία 3:** Οι διατομές αυτής της κατηγορίας μπορούν να φτάσουν την τάση του ορίου διαρροής στην ακραία θλιβόμενη ίνα του χαλύβδινου μέλους, με την προϋπόθεση ελαστικής κατανομής των τάσεων, αλλά ο τοπικός λυγισμός μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη της πλαστικής ροπής αντοχής.
- **Κατηγορία 4:** Οι διατομές αυτής της κατηγορίας υφίστανται τοπικό λυγισμό πριν την ανάπτυξη της τάσης διαρροής σε ένα ή περισσότερα μέρη της διατομής».

Για την κατάταξη των διατομών της κατασκευής σε κατηγορίες, χρησιμοποιήθηκαν οι Εικόνες 40.α, 40.β, 40.γ κατάταξης πέλματος και κορμού.

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

Εικόνα 40.α: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα στοιχεία [8]

Προεξέχοντα πέλματα

Ελατές διατομές

Συγκολλητές διατομές

Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη				
		Άκρο σε θλίψη	Άκρο σε εφελκυσμό			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_s}$ Για k_s βλέπε EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Εικόνα 40.β: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα στοιχεία [8]

Γωνιακά

Αναφορά επίσης στα "Προεξέχοντα πέλματα" (βλέπε φύλο 2 από 3)

Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα στοιχεία

Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη					
Κατανομή τάσεων στη διατομή (θλίψη θετική)						
3	$h/t \leq 15\epsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$					
Σωληνωτές διατομές						
Κατηγορία	Διατομή σε κάμψη και/ή θλίψη					
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$					
ΣΗΜΕΙΩΣΗ Για $d/t > 90\epsilon^2$ βλέπε EN 1993-1-6.						
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Εικόνα 40.γ: Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος για θλιβόμενα στοιχεία [8]

Συντελεστές Ασφαλείας

Με βάση τον Ευρωκώδικα EN 1993^[5], «οι αντοχές σχεδιασμού R_d προσδιορίζονται από τη διαίρεση των χαρακτηριστικών τιμών R_k με τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας του υλικού γ_M , οι οποίοι διαφέρουν ανάλογα με την εξεταζόμενη μορφή αστοχίας ως εξής:

- **Αντοχή διατομών έναντι διαρροής**, ανεξαρτήτως της κατηγορίας της διατομής: $\gamma_{M0}=1.00$
- **Αντοχή μελών έναντι απώλειας ευστάθειας**: $\gamma_{M1}=1.10$
- **Αντοχή διατομών έναντι εφελκυστικής θραύσης**: $\gamma_{M2}=1.25$

ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Αντοχή σε εφελκυσμό

Η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής δύναμης N_{ED} σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί:

$$N_{ED} < N_{RD}$$

Για διατομές χωρίς οπές, οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα μέχρι το όριο διαρροής και η αντοχή τους είναι ίση με την πλαστική αντοχή σχεδιασμού της πλήρους διατομής.

$$N_{RD} = N_{pIRd} = A f_y / \gamma_{M0}$$

Όπου

- A : το εμβαδό της πλήρους διατομής
- f_y : όριο διαρροής χάλυβα
- γ_{M0} : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα

Αντοχή σε μονοαξονική κάμψη

Η τιμή σχεδιασμού της μονοαξονικής κάμψης M_{ED} σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί:

$$M_{ED} < M_{RD}$$

Η καμπτική αντοχή σχεδιασμού γύρω από ένα κύριο άξονα της διατομής είναι:

- Για διατομές κατηγορίας 1 ή 2: $M_{RD} = M_{pIRd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$
- Για διατομές κατηγορίας 3: $M_{RD} = M_{elIRd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0}$
- Για διατομές κατηγορίας 4: $M_{RD} = W_{eff} f_y / \gamma_{M0}$

Αντοχή σε τέμνουσα

Η τιμή σχεδιασμού σε τέμνουσα V_{ED} σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί:

$$V_{ED} < V_{RD}$$

Για πλαστικό σχεδιασμό, η V_{RD} είναι ίση με την πλαστική διατμητική αντοχή $V_{pl,RD}$ (χωρίς παρουσία στρεπτικής καταπόνησης), όπως δίνεται από τη σχέση:

$$V_{pl,RD} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Όπου: A_v είναι η επιφάνεια διάτμησης. Για ελατές διατομές I και H, $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$

- A είναι η επιφάνεια της διατομής
- b είναι το συνολικό πλάτος
- h είναι το συνολικό ύψος
- t_f είναι το πάχος του πέλματος
- t_w είναι το πάχος του κορμού
- r η ακτίνα συναρμογής κορμού-πέλματος»

4.2 ΕΛΕΓΧΟΙ ΣΤΟ ΦΟΡΕΑ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα επιλυθεί ενδεικτικά μια διατομή από κάθε ομάδα μελών του φορέα με βάση τον Ευρωκώδικα 3 (EC3) EN 1993^[5].

Έλεγχος κύριων υποστλωμάτων HEA300

Πίνακας 7: Στοιχεία διατομής HEA300

$h(m)$	0.29
$b(m)$	0.3
$t_w(m)$	0.0085
$t_f(m)$	0.014
$r(m)$	0.027
$A(m^2)$	0.0112
$d(m)$	0.208
$W_{pl,y}(m^3)$	0.001383
$h_w(m)$	0.262

Κατάταξη Διατομής

- Κορμός: $c/t_w = d/t_w = 208/8.5 = 24.47 < 33 \cdot \epsilon = 33 \Rightarrow$ κατηγορία 1

- Πέλμα: $c/t_f = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{300}{2} - \frac{8.5}{2} - 27}{14} = 8.48 < 9 \cdot \epsilon = 9 \Rightarrow$ κατηγορία 1

Άρα η διατομή ανήκει στην κατηγορία 1.

Έλεγχος αντοχής διατομής σε τέμνουσα

- Τιμή σχεδιασμού τέμνουσας: $V_{ED} = 17.98 \text{ kN}$
- Επιφάνεια διάτμησης: $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 0.0112 - 2 \cdot 0.3 \cdot 0.014 + (0.0085 + 2 \cdot 0.027) \cdot 0.014 \Rightarrow A_v = 0.001925 \text{ m}^2$
Πλαστική διατμητική αντοχή: $V_{pl,RD} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0.001925 \cdot 235 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 1} = 261.18 \text{ kN} > V_{ED}$

Ικανοποιείται ο έλεγχος σε τέμνουσα.

Έλεγχος απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσία διάτμησης

Πρέπει $V_{ED} < V_{plRD}/2 \Rightarrow 261.18/2 = 130,59 \text{ kN} > V_{ED}=17.98 \text{ kN}$.

Άρα δεν απαιτείται απομείωση της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω της παρουσίας διάτμησης.

Επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής γύρω από τον άξονα y'y

- Τιμή σχεδιασμού αξονικής δύναμης: $N_{ED} = -52.78 \text{ kN}$
- $N_{plRD} = A f_y / \gamma_{M0} = 0.0112 \cdot 235 \cdot 1000 / 1 \Rightarrow N_{plRD} = 2632 \text{ kN}$

Πρέπει:

1. $N_{ED} < 0.25 N_{plRD} \Rightarrow 0.25 \cdot 2632 = 658 \text{ kN} > N_{ED}$. Ισχύει!
2. $N_{ED} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \frac{0.5 \cdot 26.2 \cdot 0.85 \cdot 23.5}{1} = 261.67 \text{ kN} > N_{ED}$. Ισχύει!

Αφού ικανοποιούνται και τα δύο κριτήρια, δεν χρειάζεται να γίνει έλεγχος για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής $M_{y,Rd}$.

Έλεγχος κύριων δοκών IPE270

Πίνακας 8: Στοιχεία διατομής IPE270

h(m)	0.27
b(m)	0.135
t _w (m)	0.0066
t _f (m)	0.0102
r(m)	0.015
A(m ²)	0.00459
d(m)	0.2196
W _{pl,y} (m ³)	0.000484
h _w (m)	0.2496

Κατάταξη Διατομής

- Κορμός: $c/t_w = d/t_w = 219.6/6.6 = 33.27 < 72 \cdot \epsilon = 72 \Rightarrow$ κατηγορία 1

- Πέλμα: $c/t_f = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{135}{2} - \frac{6.6}{2} - 15}{10.2} = 4.82 < 9 \cdot \epsilon = 9 \Rightarrow$ κατηγορία 1

Άρα η διατομή ανήκει στην κατηγορία 1.

Έλεγχος αντοχής διατομής σε τέμνουσα

- Τιμή σχεδιασμού τέμνουσας: $V_{ED} = 2.74 \text{ kN}$
 - Επιφάνεια διάτμησης: $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 0.00459 - 2 \cdot 0.135 \cdot 0.0102 + (0.0066 + 2 \cdot 0.015) \cdot 0.0102 \Rightarrow A_v = 0.001463 \text{ m}^2$
- Πλαστική διατμητική αντοχή: $V_{plRD} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0.001463 \cdot 235 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 1} = 198.45 \text{ kN} > V_{ED}$

Ικανοποιείται ο έλεγχος σε τέμνουσα.

Έλεγχος απομείωσης της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω παρουσία διάτμησης

Πρέπει $V_{ED} < V_{plRd}/2 \Rightarrow 198.45/2 = 99.225 \text{ kN} > V_{ED} = 2.74 \text{ kN}$.

Άρα δεν απαιτείται απομείωση της αντοχής σε ροπή κάμψης λόγω της παρουσίας διάτμησης.

Επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής γύρω από τον άξονα y'y

- Τιμή σχεδιασμού αξονικής δύναμης: $N_{ED} = 0.95 \text{ kN}$
- $N_{plRd} = Af_y/\gamma_{M0} = 0.00459 \cdot 235 \cdot 1000/1 \Rightarrow N_{plRd} = 1078.65 \text{ kN}$

Πρέπει:

1. $N_{ED} < 0.25 N_{plRd} \Rightarrow 0.25 \cdot 1078.65 = 269.6625 \text{ kN} > N_{ED}$. Ισχύει!
2. $N_{ED} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \frac{0.5 \cdot 24.96 \cdot 0.66 \cdot 23.5}{1} = 193.56 \text{ kN} > N_{ED}$. Ισχύει!

Αφού ικανοποιούνται και τα δύο κριτήρια, δεν χρειάζεται να γίνει έλεγχος για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής $M_{y,Rd}$.

Έλεγχος αντιανέμων SHS 80×3.6

Πίνακας 9: Στοιχεία διατομής SHS 80×3.6

h(m)	0.08
t(m)	0.0035
r _o (m)	0.007
r _i (m)	0.0035
d(m)	0.066
A(m ²)	0.00109
W _{pl} (m ³)	3.13·10 ⁻⁵

Κατάταξη διατομής

Κορμός: $d/t = 66/3.5 = 18.86 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \Rightarrow$ κατηγορία 1.

Άρα η διατομή είναι κατηγορίας 1.

Έλεγχος λυγισμού

Πρέπει $N_{ED} < N_{b,RD}$, όπου:

$N_{ED} = -13.13 \text{ kN}$ η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης και $N_{b,RD}$ η αντοχή του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό.

Για διατομές κατηγορίας 1,2 και 3, $N_{b,RD} = \chi Af_y/\gamma_{M1}$, όπου: χ ο μειωτικός συντελεστής για τη συγκεκριμένη μορφή λυγισμού και δίνεται ως εξής:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \leq 1$$

Όπου:

- $L_{cr} = 4.95 \text{ m}$
- $N_{cr} = \pi^2 EI/L_{cr}^2 = 89.66$

- $\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 1.69$

- Επειδή είναι κοίλη διατομή από χάλυβα S235 τότε ορίζεται καμπύλη λυγισμού α και άρα ο συντελεστής ατελειών είναι $\alpha = 0.21$
- $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2] = 2.084$

Επομένως, $\chi = 0.3 < 1 \Rightarrow N_{b,RD} = 70 \text{ kN} > N_{ED}$.

Ισχύει ο έλεγχος.

Έλεγχος σε εφελκυσμό

- Τιμή σχεδιασμού αξονικής δύναμης: $N_{ED} = -13.13 \text{ kN}$

- $N_{Rd} = Af_y/\gamma_{M0} = 0.00109 \cdot 235 \cdot 1000/1 \Rightarrow N_{Rd} = 256.15 \text{ kN} > N_{ED}$

Ισχύει ο έλεγχος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: EN 1991-1-3(2003): Eurocode 1: Actions on structures –Part 1-3: General actions –Snow loads, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.3.2003.pdf>
- [2]: EN 1990 : Βάσεις Σχεδιασμού των Φερουσών Κατασκευών EN 1991: Δράσεις επί των κατασκευών, ΙΕΚΕΜ-ΤΕΕ ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ, Συντακτική Ομάδα Νίκος Μαλακάτας, Δρ ΠΜ, Πρόεδρος CEN/TC250/SC1 Κώστας Τρέζος, Δρ ΠΜ, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011, https://www.teetas.gr/sites/default/files/seminaria/trezos_eurocodesiteaec0ec1.pdf
- [3]: EN 1991-1-4(2005): Eurocode 1: Actions on structures –Part 1-4: General actions –Wind actions, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.4.2005.pdf>
- [4]: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, BSi, <https://www.confinedmasonry.org/wp-content/uploads/2009/09/Eurocode-8-1-Earthquakes-general.pdf>
- [5]: Ευρωκώδικας EN 1993 Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών, Χάρης Ι. Γαντές Αναπληρωτής Καθηγητής Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, https://www.ergan.gr/files/03_EC3_Kerkyra_June2009.pdf
- Ο χάλυβας ως δομικό στοιχείο, 2024 Skoutaris Steel LTD, <https://skoutarissteel.com/technika/o-chalivas-os-doimiko-stoixeio/>
- Πλεονεκτήματα χάλυβα, 2024 Skoutaris Steel LTD, <https://skoutarissteel.com/technika/pleonektimata/>
- Σεισμικά Κύματα και Διάδοση Αυτών στο Εσωτερικό της Γης, Καθ. Π.Μ. Χατζηδημητρίου, Καθ. Γ.Φ. Καρακαϊσής, Dr. Αλέξανδρος Σταμπολίδης, Τομέας Γεωφυσικής, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 541 24 Θεσσαλονίκη, http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp211y/pdf/Mathima_5_Seismika_%20kymata_compressed.pdf
- Cross-Section Properties, Dlubal Software GmbH, <https://www.dlubal.com/en/cross-section-properties/>
- Γιαννόπουλος Α. (2008). Μεταλλικές Κατασκευές, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
- Βάγια Ι. (2001). Σύμμικτες Κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (2000). Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ. - 2000), Εκδόσεις Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα
- Εγχειρίδια προγράμματος 3DR.STEEL

ΕΙΚΟΝΕΣ

- [1]: Science Learning Hub – Pokapū Akoranga Pūtaiao, The University of Waikato Te Whare Wānanga o Waikato, <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/340-seismic-waves>
- [2]: Ελήφθη από το περιβάλλον του προγράμματος 3DR.STEEL
- [3]: EN 1991-1-3 (2003) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC], <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.3.2003.pdf>

- [4]: EN 1991-1-4 (2005) (English): Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC], <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.4.2005.pdf>
- [5]: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, BSi, <https://www.confinedmasonry.org/wp-content/uploads/2009/09/Eurocode-8-1-Earthquakes-general.pdf>
- [6]: ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ. ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ. 15967, https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/1154B_03.pdf
- [7]: ΙΕΚΕΜ-ΤΕΕ ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ EN, 1990 : Βάσεις Σχεδιασμού των Φερουσών Κατασκευών, EN 1991: Δράσεις επί των κατασκευών, Συντακτική Ομάδα: Νίκος Μαλακάτας, Δρ ΠΜ, Πρόεδρος CEN/TC250/SC1 Κώστας Τρέζος, Δρ ΠΜ, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2011, https://www.teetas.gr/sites/default/files/seminaria/trezos_eurocodesiteaec0ec1.pdf
- [8]: Ευρωκώδικας EN 1993 Σχεδιασμός Μεταλλικών Κατασκευών, Χάρης Ι. Γαντές Αναπληρωτής Καθηγητής Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, https://www.ergan.gr/files/03_EC3_Kerkyra_June2009.pdf