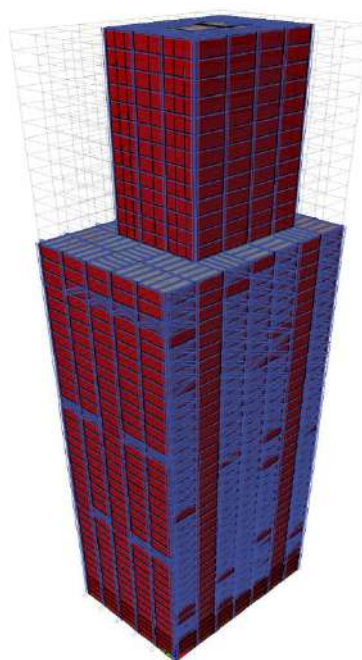




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



Σχεδιασμός και Στατική Ανάλυση Πολυώροφου Κτιρίου από Χάλυβα
με Πυρήνα Σκυροδέματος



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΖΩΓΡΑΦΑΚΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

EMK ME 2024 2

Επιβλέπων: Παύλος Θανόπουλος

Αθήνα, Ιούνιος 2024

Ζωγραφάκης Σπυρίδων (2024).
Σχεδιασμός και Στατική Ανάλυση Πολυώροφου Κτιρίου από
Χάλυβα με Πυρήνα Σκυροδέματος.
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΜΕ 2024 2
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Zografakis Spyridon (2024).
Design and Static analysis of a Multi-Storey Steel Building with
Concrete Core.
Thesis ΕΜΚ ΜΕ 2024 2
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
Ευχαριστίες.....	2
1 Εισαγωγή.....	3
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Στατικά συστήματα ουρανοξυστών.....	6
1.3 Τεχνική περιγραφή – Παρουσίαση του κτιρίου.....	8
2 Δράσεις στο κτίριο.....	28
2.1 Φορτία σχεδιασμού κτιρίου.....	28
2.2 Τιμές των δράσεων.....	30
2.3 Συνδυασμοί φορτίσεων.....	37
3 Έλεγχοι και υπολογισμοί.....	40
3.1 Έλεγχοι σε οριακές καταστάσεις.....	40
3.2 Σεισμική ανάλυση.....	45
3.3 Σεισμός κατά τη διεύθυνση Χ.....	51
3.4 Σεισμός κατά τη διεύθυνση Υ.....	55
3.5 Έλεγχος σύμμικτων πλακών.....	79
3.6 Έλεγχος στη φάση λειτουργίας.....	83
3.7 Απόδοση διατομών του φορέα.....	85
3.8 Διαστασιολόγηση δομικών μελών και στοιχείων του κτιρίου.....	92
3.9 Δομικό γυαλί-Glass façade-Διαστασιολόγηση.....	106
3.10 Σχεδιασμός με βάση το νέο Ευρωπαϊκό προσχέδιο prEN 13474.....	107
4 Θεμελίωση με ομάδα πασσάλων.....	109
5 Συνδέσεις μελών.....	114
6 Συμπεράσματα.....	121
7 Βιβλιογραφίες και αναφορές.....	122
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Θεωρία συνδέσεων.....	123

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός και Στατική Ανάλυση Πολυώροφου Κτιρίου από
Χάλυβα με Πυρήνα Σκυροδέματος.

Ζωγραφάκης Σπυρίδων (Επιβλέπων: Θανόπουλος Παύλος)

Περίληψη

Στόχος της μελέτης αυτής ήταν η σύλληψη και ο σχεδιασμός ενός κτιρίου 52 ορόφων μαζί με τα υπόγεια. Μελετάται ο τρόπος σχεδιασμού και η συμπεριφορά κάτω από φορτίσεις που θα δεχθεί κατά τη διάρκεια της ζωής του το κτίριο. Επιπρόσθετα, γίνεται διεξοδική αναφορά στον τρόπο παραλαβής των φορτίων καθώς επίσης παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κτιρίου και οι λεπτομέρειες και πίνακες της απόκρισής του.

Στόχος της εργασίας είναι να μπορέσει ο αναγνώστης/μηχανικός να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα για τον τρόπο μελέτης ενός πολυώροφου κτιρίου από πλευράς σύλληψης στατικού συστήματος μέχρι την τελική ανάλυση και τα τελικά αποτελέσματα.

Η ανάλυση και η αστασιολόγηση της κατασκευής πραγματοποιήθηκε με βάση τους Ευρωκώδικες (Ευρωκώδικας 1,2,3,4,8), χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ανάλυσης και διαστασιολόγησης ETABS 2020.

Τα προσδοκώμενα αποτελέσματα είναι η κατανόηση συμπεριφοράς των υψηλών κτιρίων, η κατάλληλη διάταξη και χρήση των δομικών στοιχείων αλλά και των στατικών συστημάτων.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURE
DIPLOMA THESIS

Design and Static Analysis of a Multi-Storied Steel Building with Concrete Core.

Zografakis Spyridon (supervised by Thanopoulos P.)

Abstract

The main object of this thesis is the design and the conception of the static system for tall buildings over 50 floors. The way of design and the behavior under loads that it will receive during its life are studied. A thorough reference is made to the method of receiving the loads, all the results of the analysis of the building are presented. Furthermore, details and tables of the structure response are presented.

The aim of the work is to enable the reader/engineer to have a complete picture of how to study a multi-storey building from the static system conception point to the final analysis results.

The analysis and dimensioning of the construction was carried out based on the Eurocodes (Eurocode 1,2,3,4,8), using the structural analysis program ETABS 2020.

The expected results are the understanding of the behavior of tall buildings, the appropriate layout and use of structural elements and static systems.

Ευχαριστίες

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους που με βοήθησαν ψυχικά να καταφέρω να ολοκληρώσω ακόμα ένα κύκλο σπουδών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αυτής της εργασίας τον καθηγητή κύριο Παύλο Θανόπουλο για την άπογη συνεργασία μας για την αποπεράτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά το ζήτημα της κατακόρυφης ανάπτυξης στην κατασκευαστική δραστηριότητα και επικεντρώνεται στο πολυώροφο κτίριο γραφείων, τον ουρανοξύστη. Αφετηρία και αφορμή υπήρξε ο συμβολικός χαρακτήρας του ύψους των κτιρίων, το οποίο, αποτέλεσε την κινητήρια δύναμη για την ανέγερση επιβλητικών έργων και κατασκευών, τόσο στο παρελθόν όσο και σήμερα.

Συγκεκριμένα, η εργασία πραγματεύεται αφενός τις ιδιότητες των υψηλών κτιρίων, οι οποίες εξελίχθηκαν με έναν ιδιαίτερο τρόπο σε κάθε περίπτωση, και αφετέρου, την ένταξή τους στον αστικό προγραμματισμό. Στην σύγχρονη εποχή, οι στρατηγικές ανάπτυξης των ουρανοξυστών επανακαθορίζουν το αστικό περιβάλλον, αλλά ταυτόχρονα συνυπάρχουν με έννοιες όπως η βιωσιμότητα και το ιστορικό αστικό τοπίο, γεγονός το οποίο προβάλλει την σχέση αλληλεπίδρασης και αλληλεξάρτησης που αναπτύσσεται.

Επομένως, τα ζητήματα αυτά οδηγούν και στην διάρθρωση της εργασίας. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται κάποια πολυώροφα κτίρια τα οποία επιδίωκαν να κυριαρχήσουν στον κατακόρυφο άξονα.

Το δεύτερο μέρος επικεντρώνεται στην εμφάνιση και εξέλιξη του ουρανοξύστη, το πολυώροφο κτίριο γραφείων το οποίο άλλαξε για πάντα το αστικό τοπίο. Η συνεχής αύξηση του ύψους των κτιρίων στις μέρες μας, αλλά και η διαφορά που υπάρχει σε κατασκευές είναι σημαντικοί λόγοι που κρίνουν απαραίτητη την αναζήτηση για έναν σύγχρονο ορισμό για το “ψηλό κτίριο” και τον “ουρανοξύστη”.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται οι τρόποι μελέτης και κατασκευής ενός πολυώροφου κτιρίου που πρόκειται να κατασκευαστεί στον Ελλαδικό χώρο και όλες οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη όπως ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα πιθανά σφάλματα που πάντα εγκυμονούν στην πορεία των εργασιών μίας σύνθετης κατασκευής.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα τέσσερα ψηλότερα κατασκευασμένα κτίρια στον κόσμο.



Εικόνα 1-1 Burj Khalifa Dubai, United Arab Emirates (Ύψος :828 m / Όροφοι : 163 / Έτος :2010)



Εικόνα 1-2 Shanghai Tower, Shanghai, China (Ύψος : 632 m / Όροφοι : 128 / Έτος : 2015)



Εικόνα 1-3 Ping An Finance Center, Shenzhen, China (Ύψος : 599 m / Όροφοι :115 / Έτος : 2017)



Εικόνα 1-4 Goldin Finance 117, Tianjin, China (Ύψος : 596.6 m / Όροφοι : 128 / Έτος : 2019)

1.2 Στατικά Συστήματα Ουρανοξυστών

Πίνακας 1.1 Στατικά συστήματα εσωτερικής κατασκευής

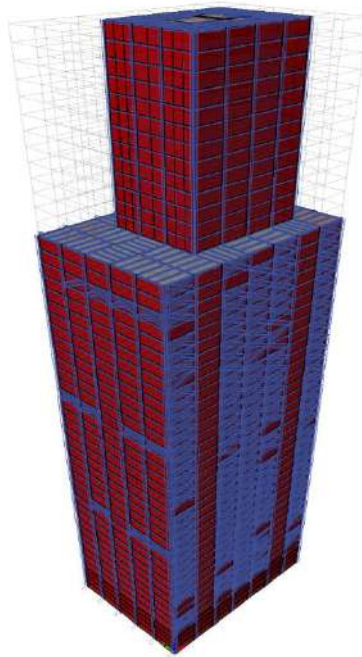
Category	Sub-Category	Material / Configuration	Efficient Height Limit	Advantages	Disadvantages	Building Examples
Rigid Frames	-	Steel	30	Provide flexibility in floor planning. Fast construction.	Expensive moment connections. Expensive fire proofing.	860 & 880 Lake Shore Drive Apartments (Chicago, USA, 26 stories, 82 m), Business Men's Assurance Tower (Kansas City, USA, 19 stories), Seagram Building, 30th to the top floor (New York, USA, 38 stories, 157 m)
		Concrete	20	Provide flexibility in floor planning. Easily moldable.	Expensive formwork. Slow construction.	Ingalls Building (Cincinnati, USA, 18 stories, 65 m)
Braced Hinged Frames	-	Steel Shear Trusses + Steel Hinged Frames	10	Efficiently resist lateral loads by axial forces in the shear truss members. Allows shallower beams compared with the rigid frames without diagonals.	Interior planning limitations due to diagonals in the shear trusses. Expensive diagonal connections.	Low-rise buildings
Shear Wall / Hinged Frames	-	Concrete Shear Wall + Steel Hinged Frame	35	Effectively resists lateral shear by concrete shear walls.	Interior planning limitations due to shear walls.	77 West Wacker Drive (Chicago, USA, 50 stories, 203.6 m), Casselden Place (Melbourne, Australia, 43 stories, 160 m)
Shear Wall (or Shear Truss) - Frame Interaction System	Braced Rigid Frames	Steel Shear Trusses + Steel Rigid Frames	40	Effectively resists lateral loads by producing shear truss - frame interacting system.	Interior planning limitations due to shear trusses.	Empire State Building (New York, USA, 102 stories, 381 m), Seagram Building, 17th to 29th floor (New York, USA, 38 stories, 157 m)
	Shear Wall / Rigid Frames	Concrete Shear Wall + Steel Rigid Frame	60	Effectively resists lateral loads by producing shear wall - frame interacting system.	Interior planning limitations due to shear walls.	Seagram Building, up to the 17th floor (New York, USA, 38 stories, 157 m)
		Concrete Shear Wall + Concrete Frame	70	"	"	311 South Wacker Drive (Chicago, USA, 75 stories, 284 m), Cook County Administration Building, former Brunswick Building (Chicago, USA, 38 stories, 145 m)
Outrigger Structures	-	Shear Cores (Steel Trusses or Concrete Shear Walls) + Outriggers (Steel Trusses or Concrete Walls) + (Belt Trusses) + Steel or Concrete Composite (Super) Columns	150	Effectively resists bending by exterior columns connected to outriggers extended from the core.	Outrigger structure does not add shear resistance.	Taipei 101 (Taipei, Taiwan, 101 stories, 509 m), Jin Mao Building (Shanghai, China, 88 stories, 421 m)

Πίνακας 1.2 Στατικά συστήματα εξωτερικής κατασκευής.

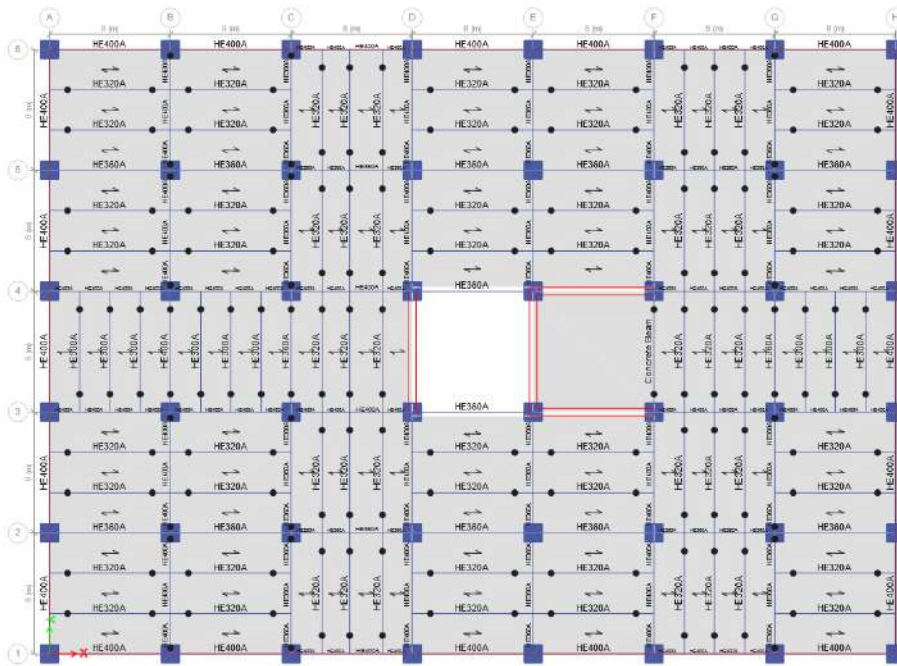
Category	Sub Category	Material / Configuration	Efficient Height Limit	Advantages	Disadvantages	Building Examples
Tube	Framed Tube	Steel	80	Efficiently resists lateral loads by locating lateral systems at the building perimeter.	Shear lag hinders true tubular behavior. Narrow column spacing obstructs the view.	Aon Center (Chicago, USA, 83 stories, 346 m)
		Concrete	60	"	"	Water Tower Place (Chicago, USA, 74 stories, 262 m)
	Braaced Tube	Steel	100 (With Interior Columns) – 150 (Without Interior Columns)	Efficiently resists lateral shear by axial forces in the diagonal members. Wider column spacing possible compared with framed tubes. Reduced shear lag.	Bracings obstruct the view.	John Hancock Center (Chicago, USA, 100 stories 344 m)
		Concrete	100	"	"	Onterie Center (Chicago, 58 stories, 174 m), 780 Third Avenue (New York, USA, 50 stories, 174 m)
	Bundled Tube	Steel	110	Reduced shear lag.	Interior planning limitations due to the bundled tube configuration.	Sears Tower (Chicago, USA, 108 stories, 442 m)
		Concrete	110	"	"	Carnegie Hall Tower (New York, USA, 62 stories, 230.7 m)
	Tube in Tube	Ext. Framed Tube (Steel or Concrete) + Int. Core Tube (Steel or Concrete)	80	Effectively resists lateral loads by producing interior shear core - exterior framed tube interacting system.	Interior planning limitations due to shear core.	181 West Madison Street (Chicago, USA, 50 stories, 207 m)
Diagrid	-	Steel	100	Efficiently resists lateral shear by axial forces in the diagonal members.	Complicated joints.	Hearst Building (New York, USA, 42 stories, 182 m), 30 St Mary Axe, also known as Swiss Re Building (London, UK, 41 stories, 181 m)
		Concrete	60	"	Expensive formwork. Slow construction.	Q-14 Building (Dubai)
Space Truss Structures	-	Steel	150	Efficiently resists lateral shear by axial forces in the space truss members.	Obstruct the view. May obstruct the view.	Bank of China (Hong Kong, China, 72 stories, 367 m)
Superframes	-	Steel	160	Could produce supertall buildings.	Building form depends to a great degree on the structural system.	Chicago World Trade Center (Chicago, USA, 168 stories, Unbuilt)
		Concrete	100	"	"	Parque Central Tower (Caracas, Venezuela, 56 stories, 221 m)
Exo-skeleton	-	Steel	100	Interior floor is never obstructed by perimeter columns.	Thermal expansion / contraction. Systemic thermal bridges.	Hotel de las Artes (Barcelona, Spain, 43 stories, 137 m)

1.3 Τεχνική Περιγραφή-Παρουσίαση του κτιρίου

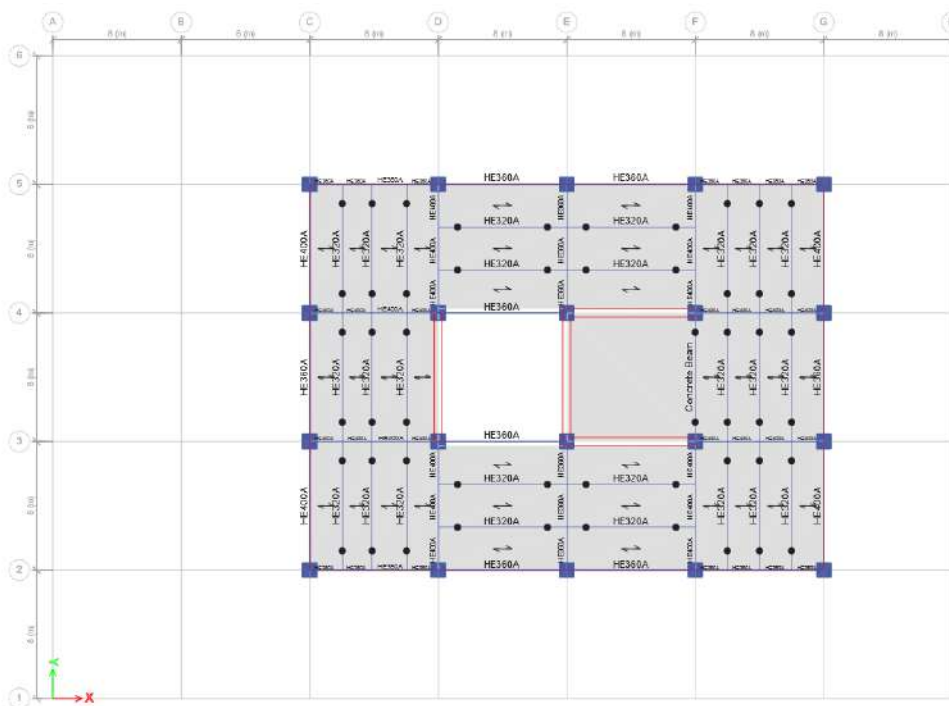
Το κτίριο αποτελείται από 48 ορόφους και 4 υπόγεια για χρήση στάθμευσης και στεγάζει γραφεία στην περιοχή του Ελληνικού. Στο Σχήμα 1.5 φαίνεται η ύπαρξη ενός πυρήνα από οπλισμένο σκυρόδεμα καθ' ύψος του κτιρίου (μέχρι τον όροφο 48) όπως επίσης και τοιχεία υπογείου στα 4 υπόγεια του κτιρίου περιμετρικά της κάτοψής του. Φαίνονται επίσης τα υποστυλώματα (σύμμικτα και μεταλλικά), τα στοιχεία διαγώνιων συνδέσμων δυσκαμψίας. Στα Σχήματα 1.6-1.10 παρατίθενται κατόψεις και τομές για την καλύτερη κατανόηση του φορέα. Από τον όροφο 22 και μετά έχουμε μείωση των διατομών των υποστυλωμάτων. Το κόκκινο περίγραμμα απεικονίζει το δομικό γυαλί-glass facade που τοποθετήθηκε. Στο σχήμα 1.5 μπορείτε να δείτε μία τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου.



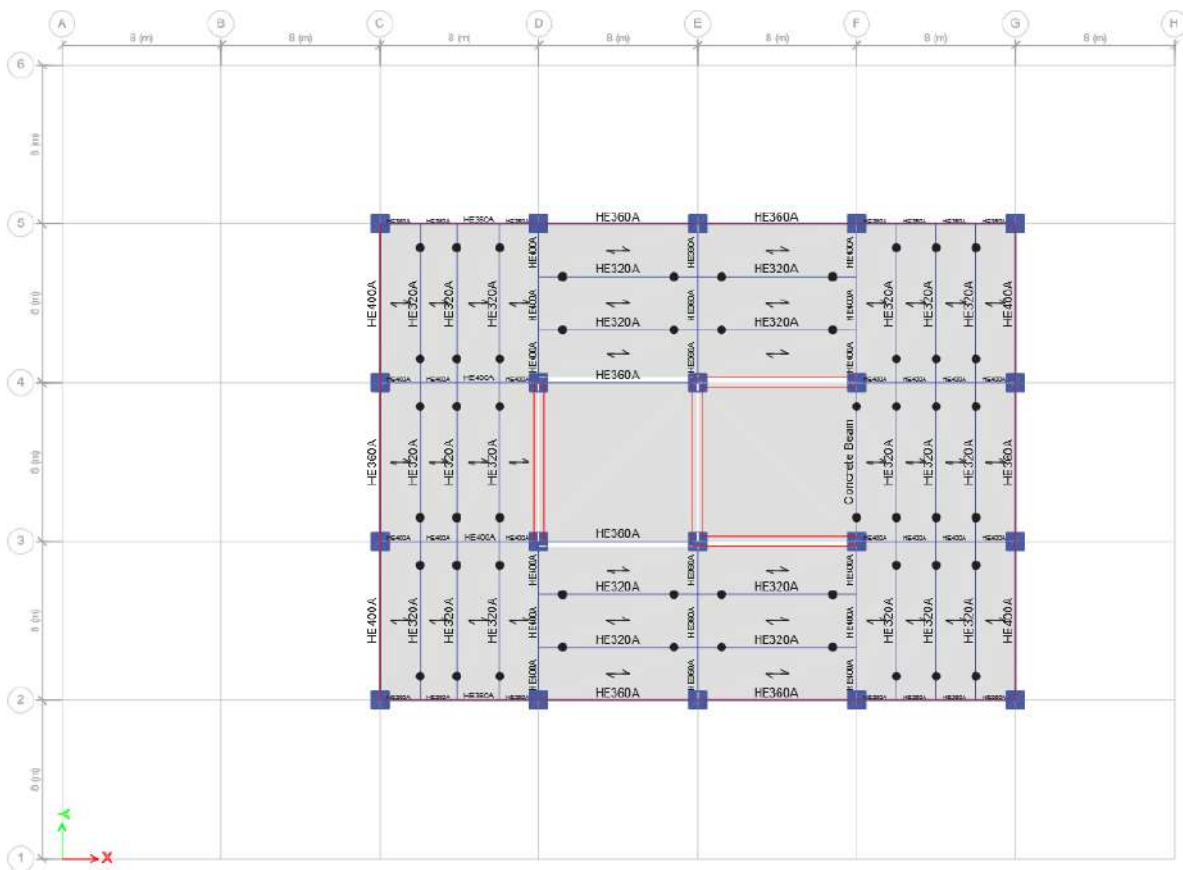
Σχήμα 1.1 Παρουσίαση της γενικής εικόνας του φορέα σε 3D (Etabs).



Σχήμα 1.4 Όροφος 22-35.

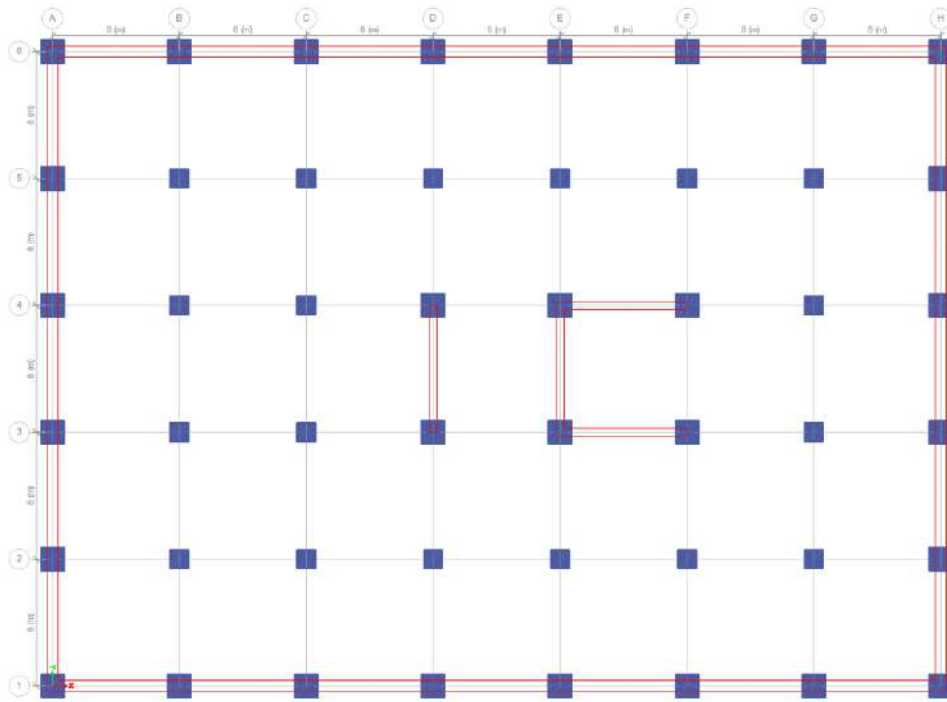


Σχήμα 1.5 Όροφος 36-47.

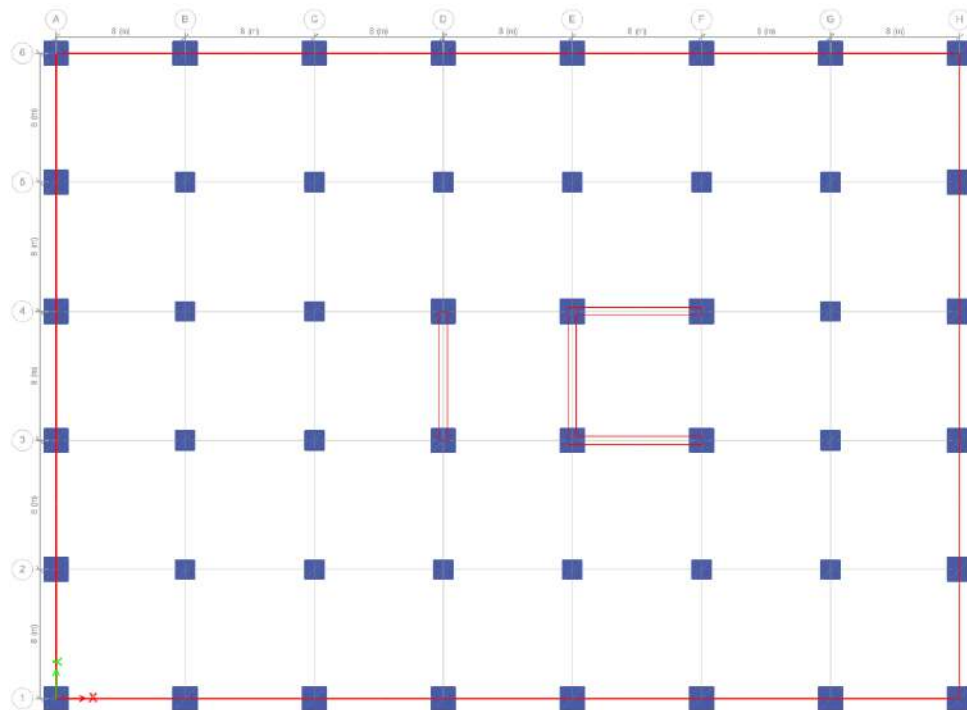


Σχήμα 1.6 Όροφος 48-Απόληξη ανεγκυστήρα.

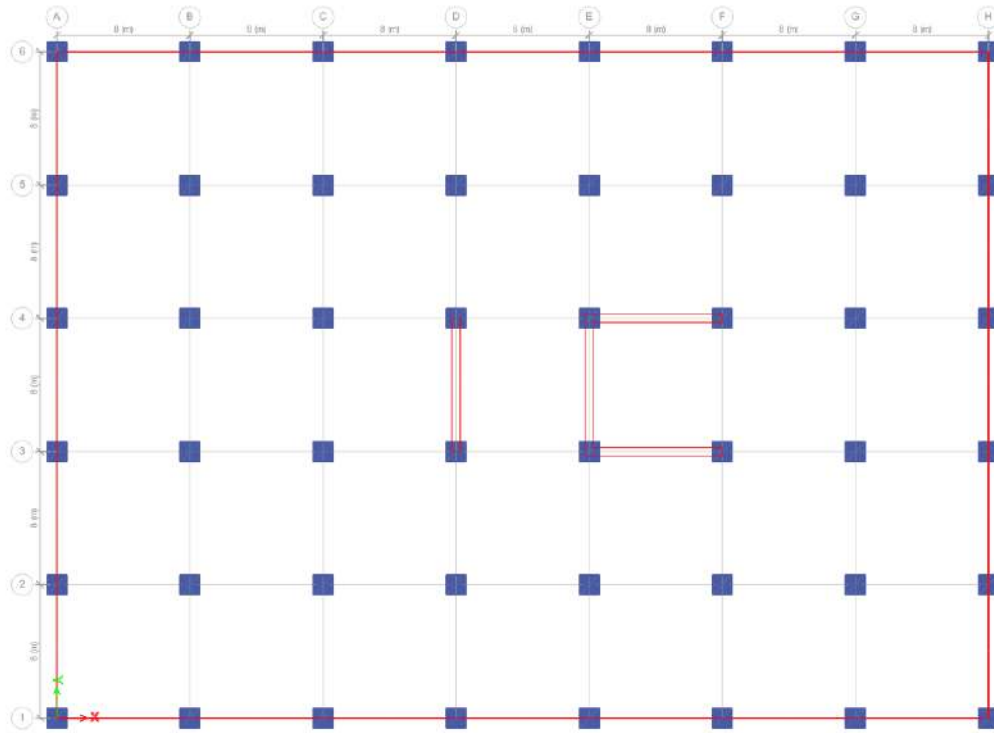
Στις προηγούμενες κατόψεις φαίνεται η διάταξη των δομικών στοιχείων του κτιρίου όπως επίσης και η κατεύθυνση των πλακών. Το κτίριο αποτελείται από 48 υποστυλώματα, 4 τοιχεία εκ των οποίων 2 στη διεύθυνση Y και 2 στη διεύθυνση X από το υπόγειο -4 μέχρι και την οροφή του 35^{ου} ορόφου. Από τον όροφο 36 μέχρι και την τελευταία στάθμη του κτιρίου έχουμε 20 υποστυλώματα και 4 τοιχεία. Επίσης υπάρχουν κατακόρυφοι κεντρικοί σύνδεσμοι δυσκαμψίας καθ' ύψος του κτιρίου τοποθετημένοι στη διεύθυνση X όπως και κάποιοι στην διεύθυνση Y οι οποίοι δημιουργούν μεγάλη δυσκαμψία στο κτίριο και καλύτερη αντιμετώπιση των οριζόντιων δυνάμεων που δέχεται ο φορέας (άνεμος και σεισμός). Η κάλυψη του κάθε ορόφου από το υπόγειο -4 μέχρι τον όροφο 35 ανέρχεται στα 2240 m² και στα 768 m² στους εναπομείναντες ορόφους.



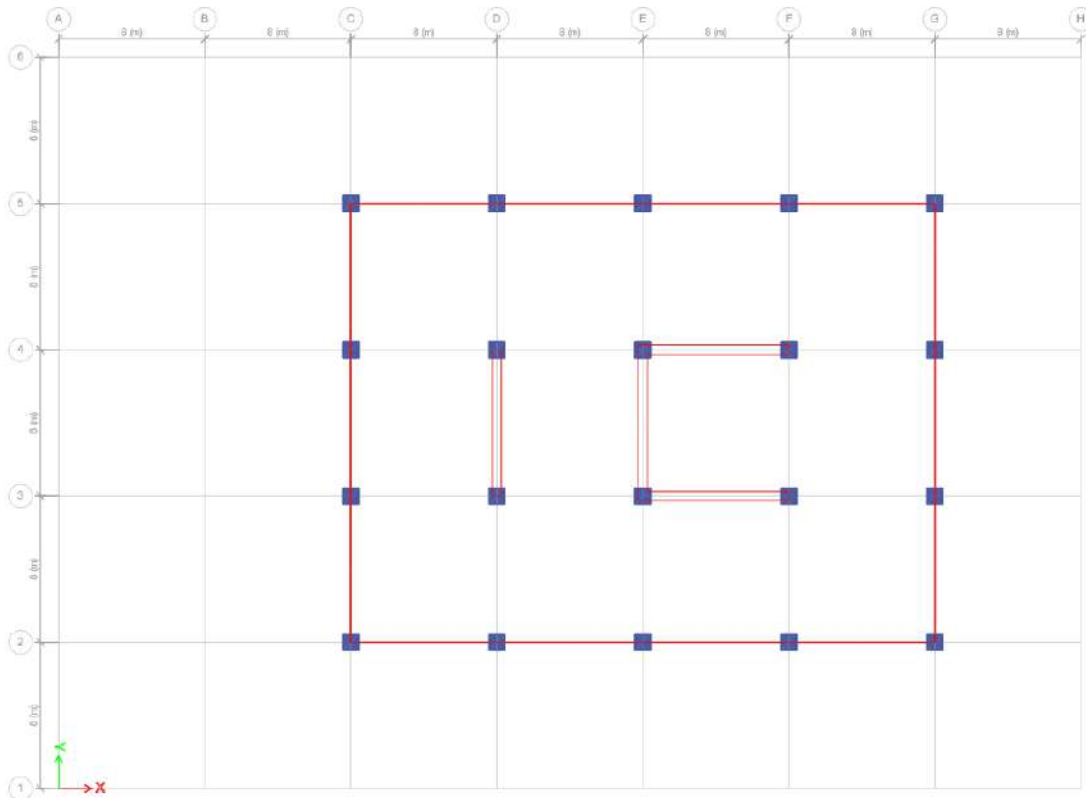
Σχήμα 1.7 Κάτοψη με εμφανή τη θέση των υποστυλωμάτων από το υπόγειο -4 έως το ισόγειο.



Σχήμα 1.8 Κάτοψη με εμφανή τη θέση των υποστυλωμάτων από τον όροφο 1 μέχρι τον 21.

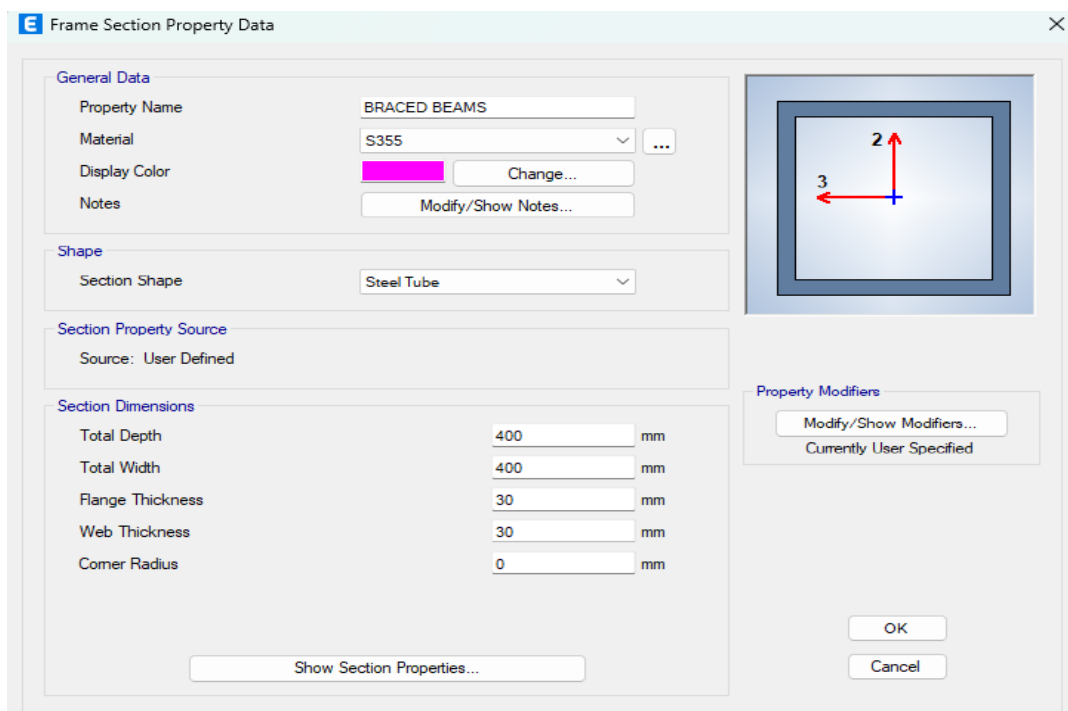


Σχήμα 1.9 Κάτοψη με εμφανή τη θέση των υποστυλωμάτων από τον όροφο 22 μέχρι τον 35.

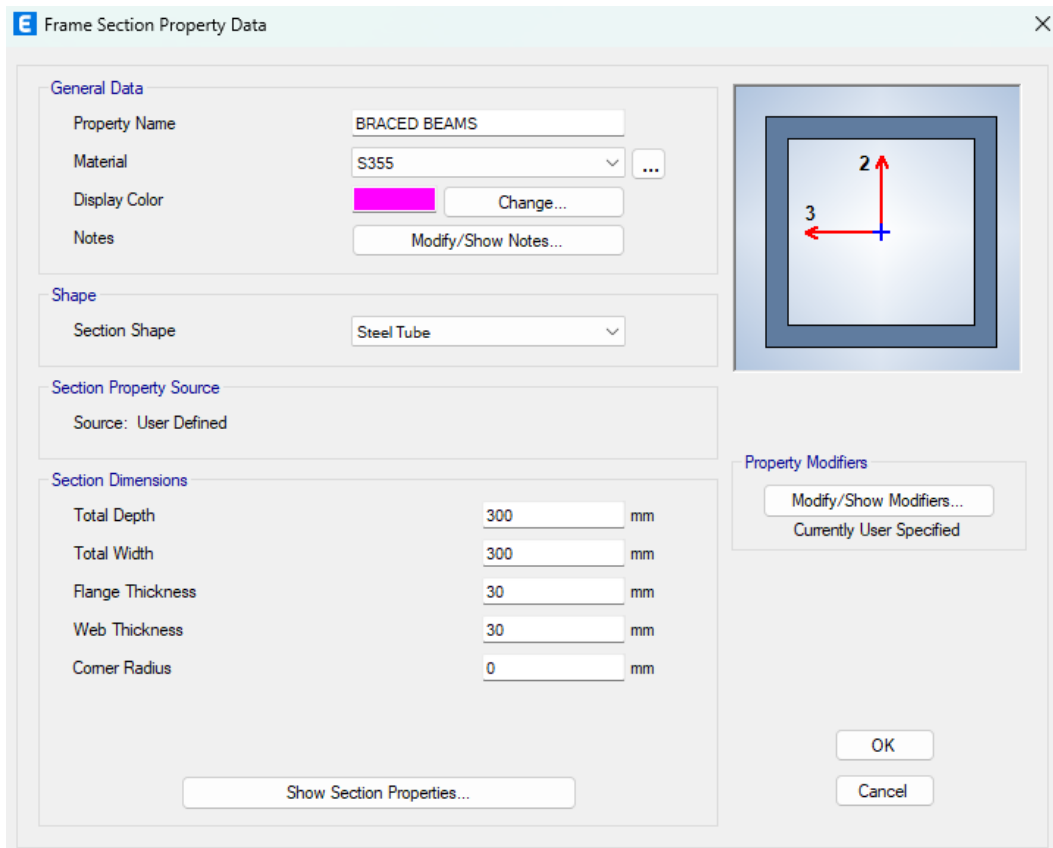


Σχήμα 1.10 Κάτοψη με εμφανή τη θέση των υποστυλωμάτων από τον όροφο 36 μέχρι τον 48.

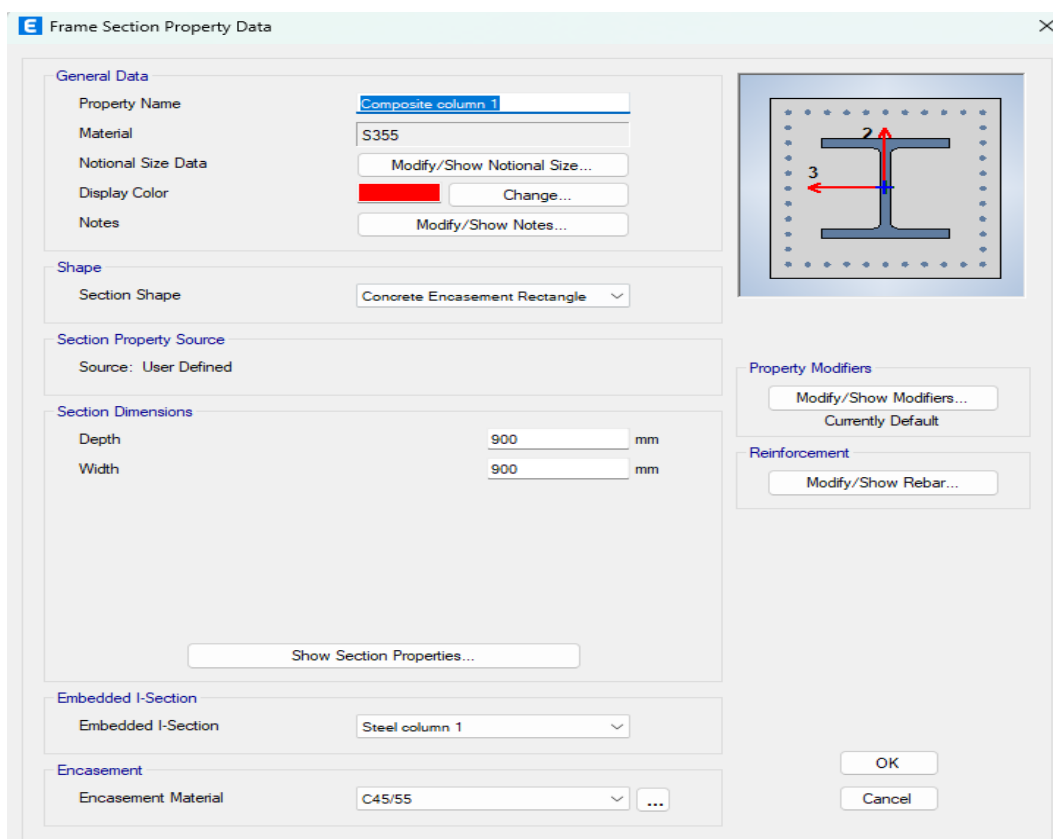
Στα σχήματα 1.11-1.18 παρουσιάζεται ένας πίνακας με τις διατομές που χρησιμοποιήθηκαν στους ορόφους :



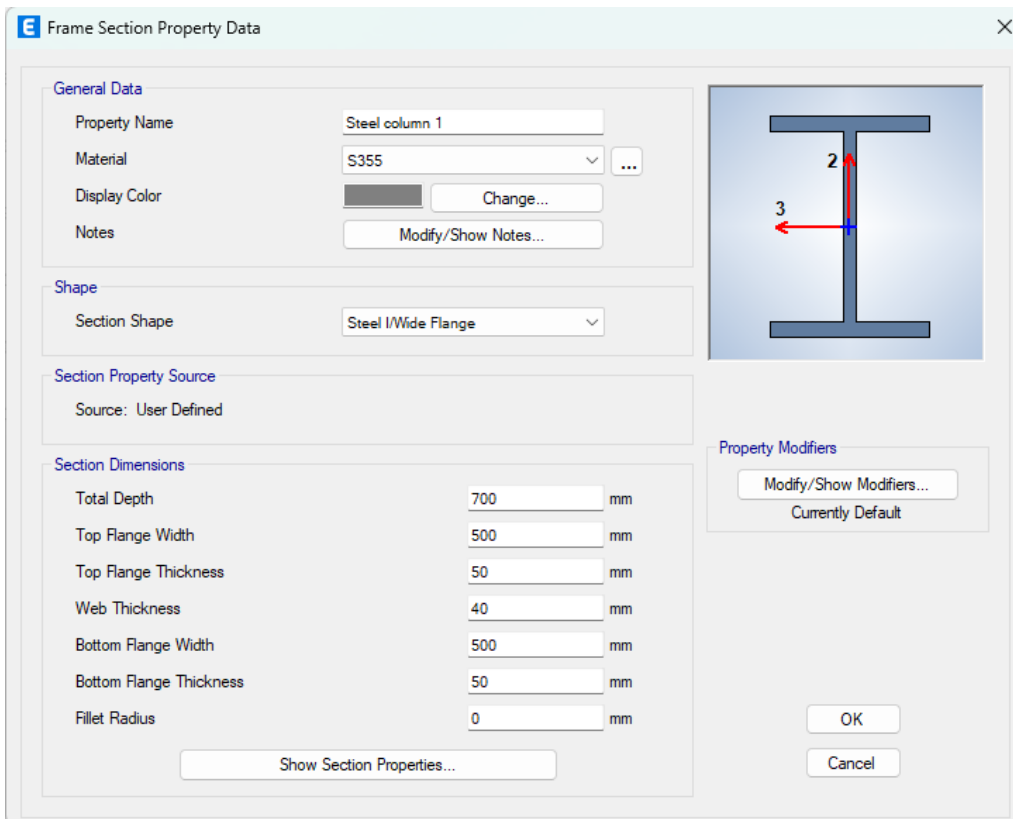
Σχήμα 1.11 RHS 400X400X30 – Διαγώνιος σύνδεσμος δυσκαμψίας εξωτερικά του κτιρίου.



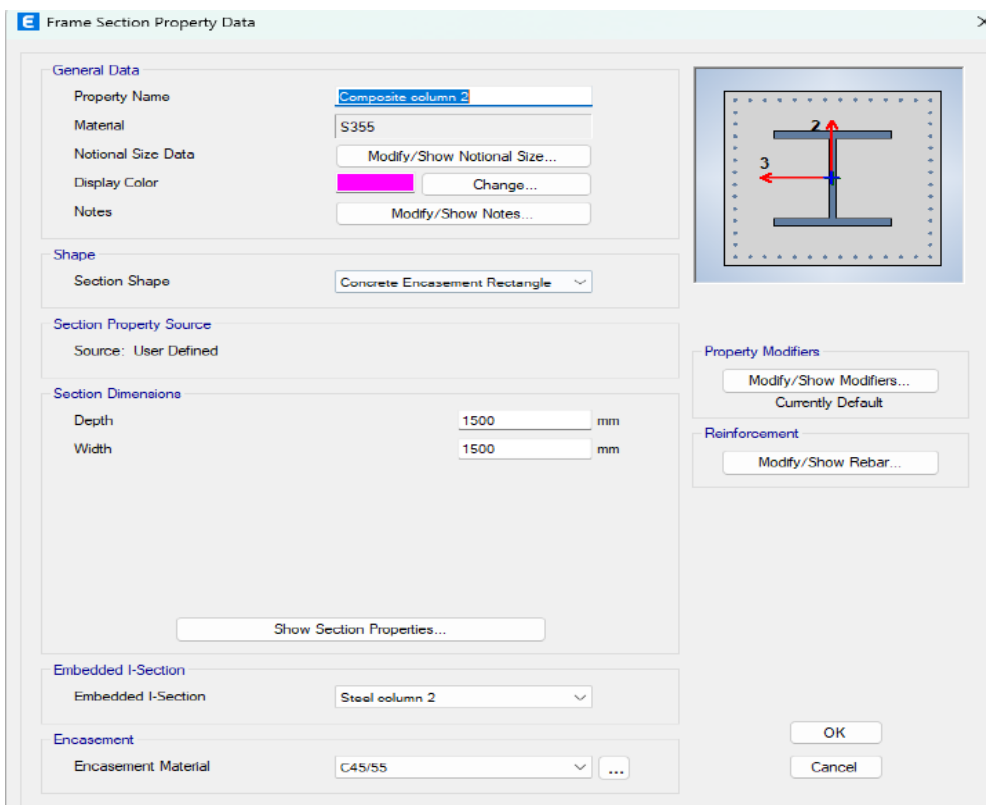
Σχήμα 1.12 RHS 300X300X30 – Διαγώνιος σύνδεσμος δυσκαμψίας εσωτερικά του κτιρίου στη σύνδεση με δικτύωμα του πυρήνα σκυροδέματος με τα περιμετρικά υποστυλώματα.



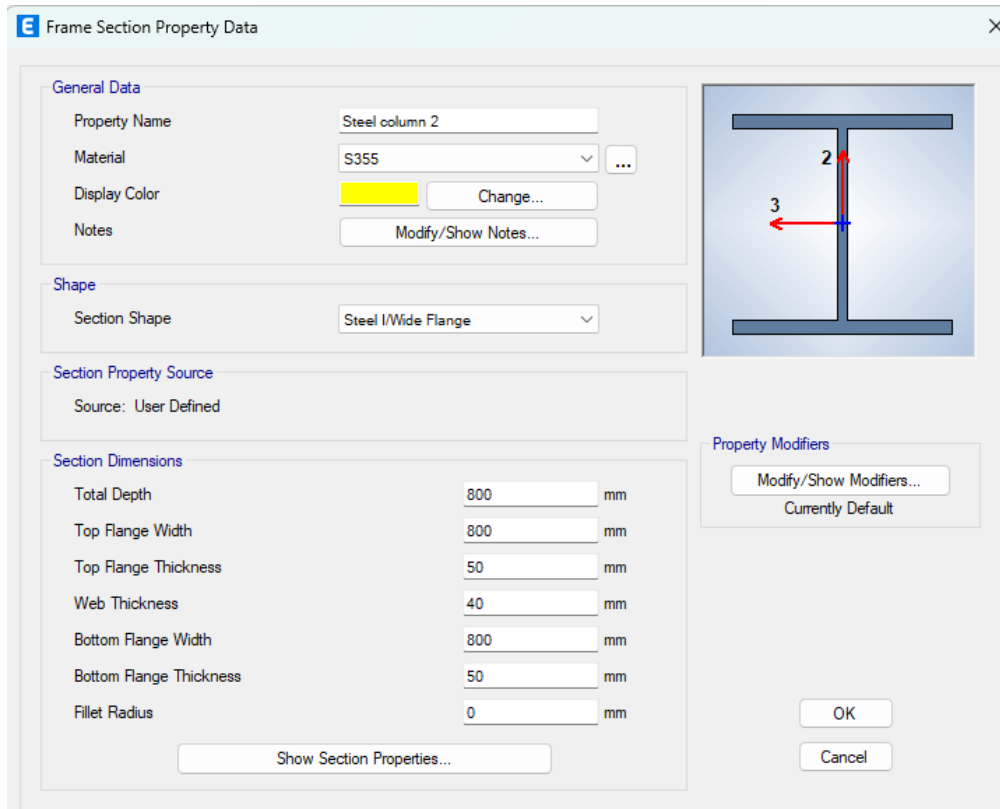
Σχήμα 1.13 Σύμμικτο υποστυλώμα που χρησιμοποιείται στους ορόφους 36-48.



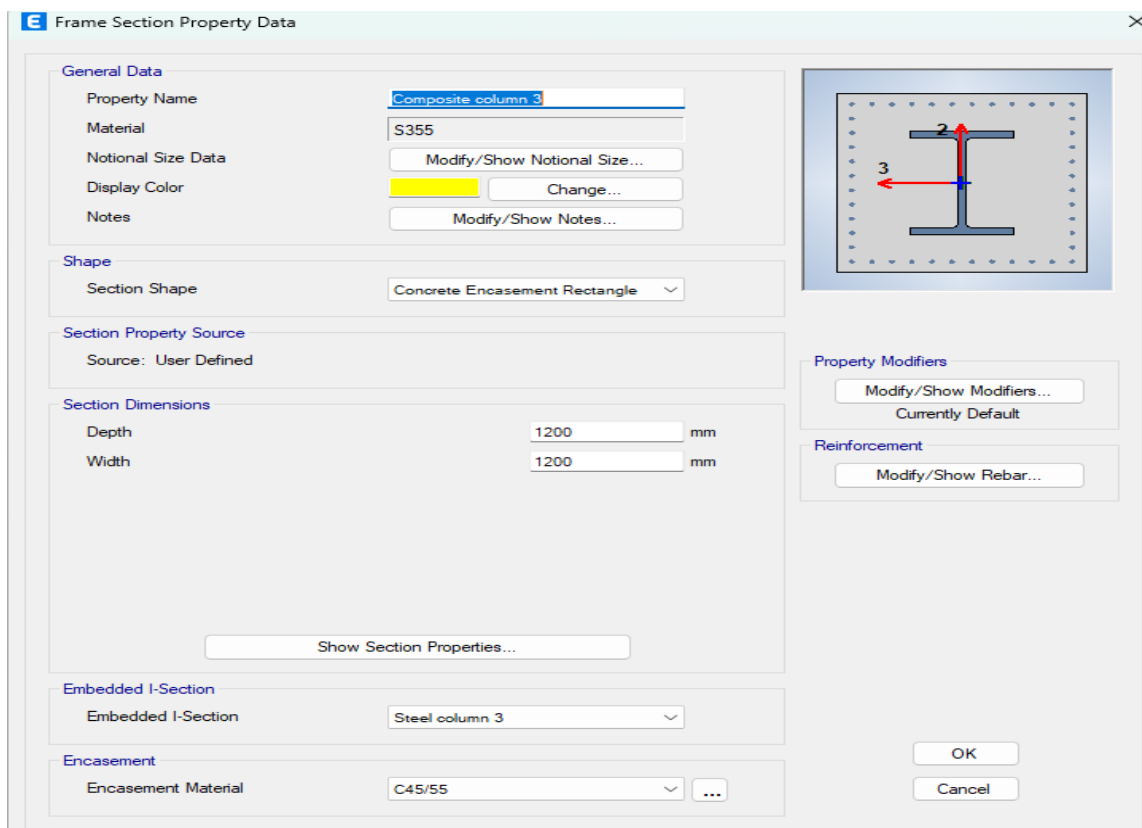
Σχήμα 1.14 Μεταλλική διατομή του σύμμικτου υποστυλώματος 1 (composite column 1).



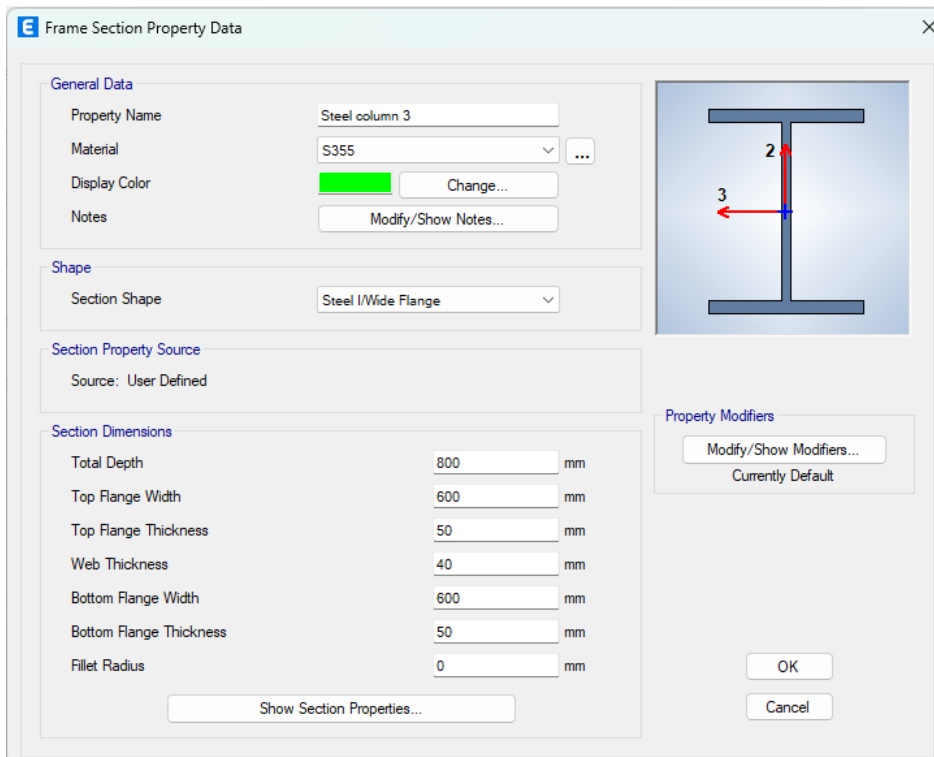
Σχήμα 1.15 Σύμμικτο υποστύλωμα που χρησιμοποιείται από το υπόγειο -4 μέχρι και τον όροφο 21.



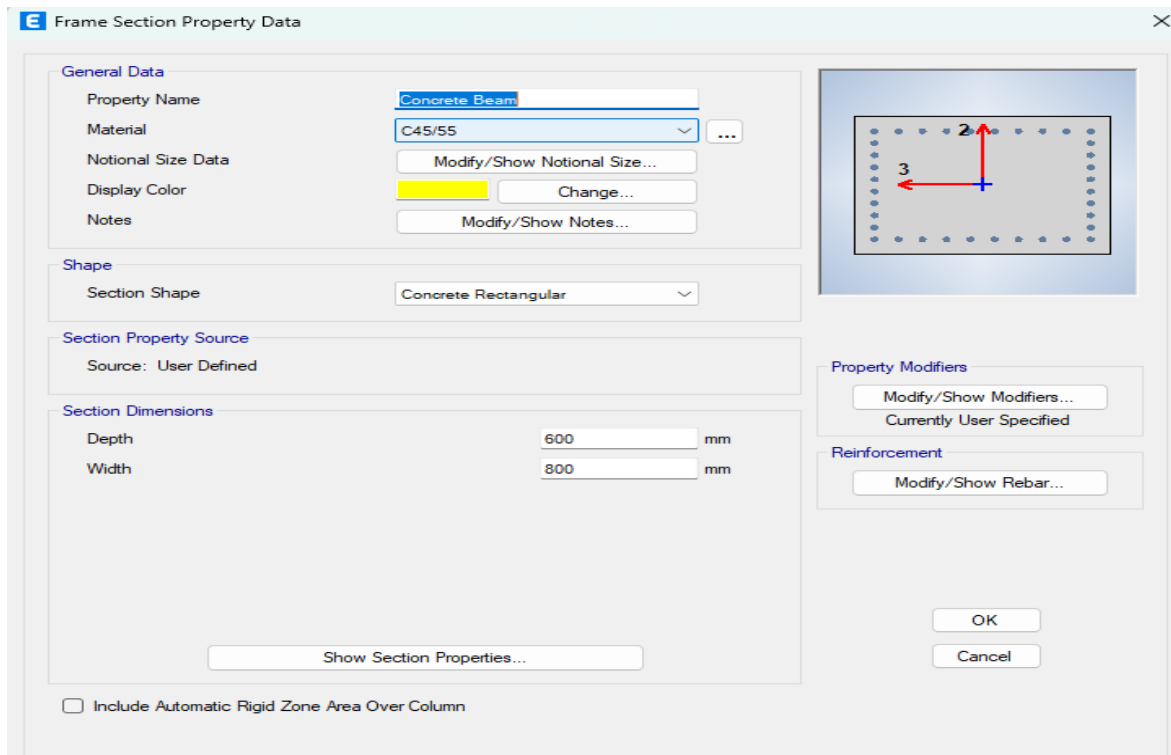
Σχήμα 1.16 Μεταλλική διατομή του σύμμικτου υποστυλώματος 2 (composite column 2).



Σχήμα 1.17 Σύμμικτο υποστυλωμα που χρησιμοποιείται από το υπόγειο -4 μέχρι και τον όροφο 35.



Σχήμα 1.18 Μεταλλική διατομή του σύμμικτου υποστυλώματος 3 (composite column 3).



Σχήμα 1.18 Διατομή δοκού ΟΣ.

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,7
Moment of Inertia about 3 axis	0,7
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Σχήμα 1.19 Απομείωση δυσκαμψίας δοκού ΟΣ.

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)
 M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: Rebar
 Confinement Bars (Ties): Rebar

Reinforcement Configuration

Rectangular
 Circular

Confinement Bars

Ties
 Spirals

Check/Design

Reinforcement to be Checked
 Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

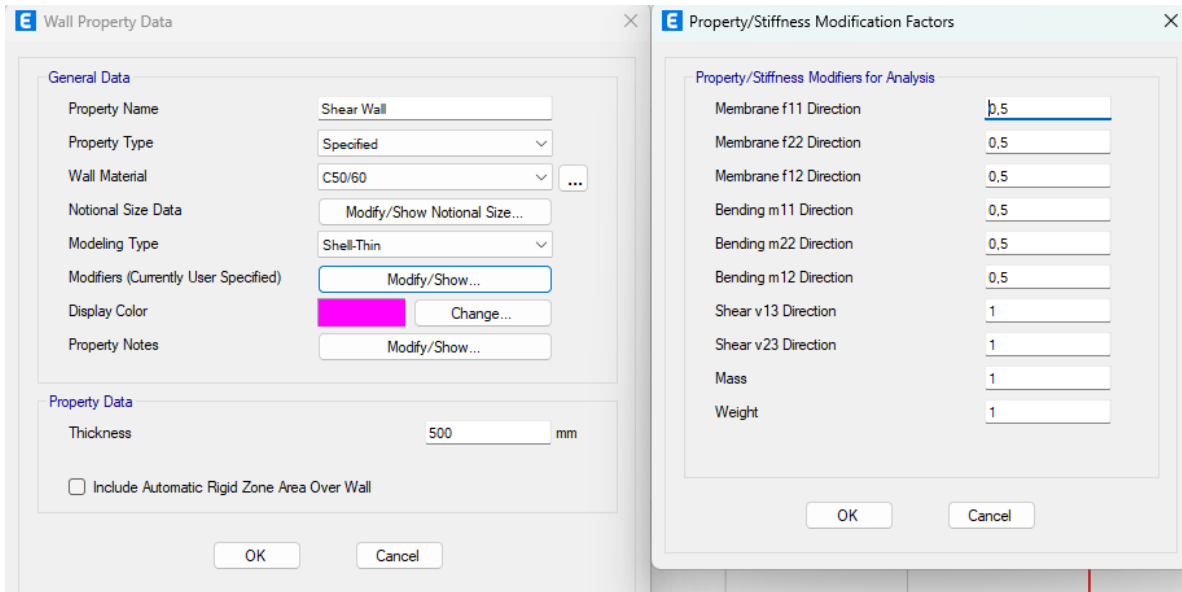
Clear Cover for Confinement Bars: 40 mm
 Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 11
 Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 11
 Longitudinal Bar Size and Area: 22 380 mm²
 Corner Bar Size and Area: 22 380 mm²

Confinement Bars

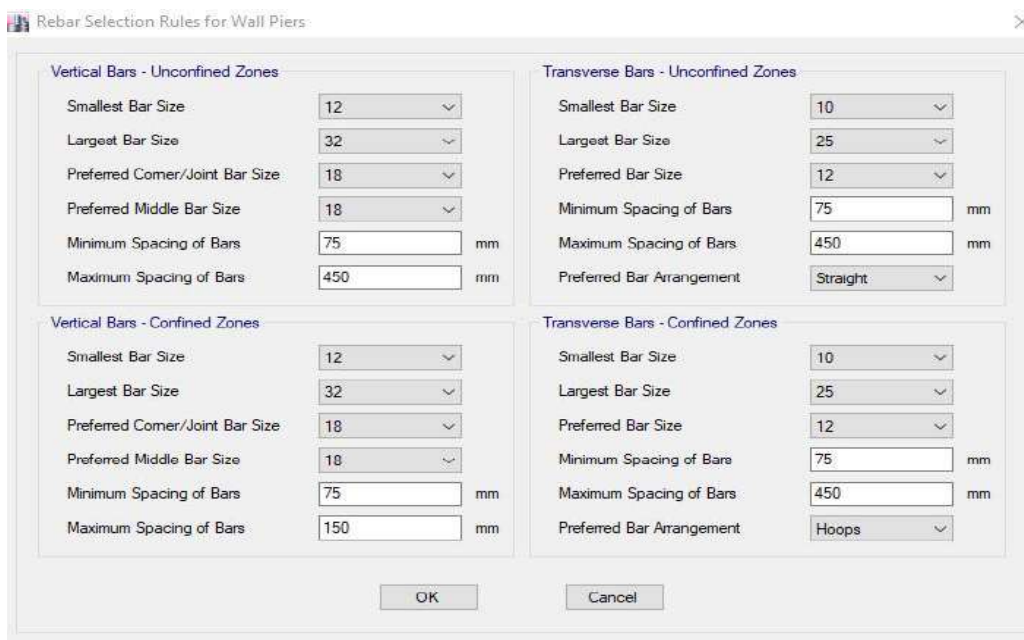
Confinement Bar Size and Area: 12 113 mm²
 Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 150 mm
 Number of Confinement Bars in 3-dir: 4
 Number of Confinement Bars in 2-dir: 4

OK Cancel

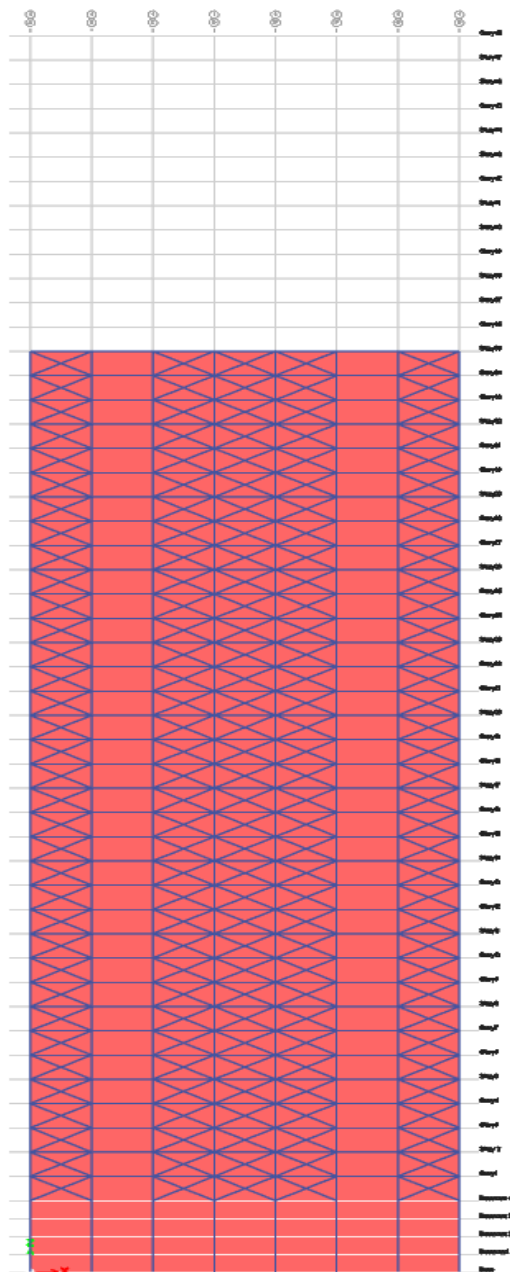
Σχήμα 1.20 Διαμήκης οπλισμός σύμμικτων υποστυλωμάτων διαμέτρου Φ22 και εγκάρσιος οπλισμός διαμέτρου Φ14.



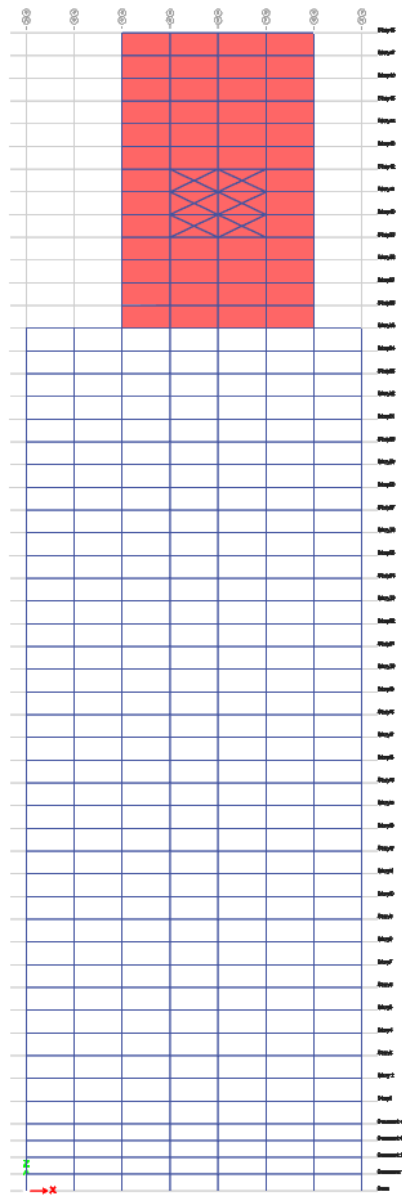
Σχήμα 1.21 Διατομή τοιχείου ΟΣ.



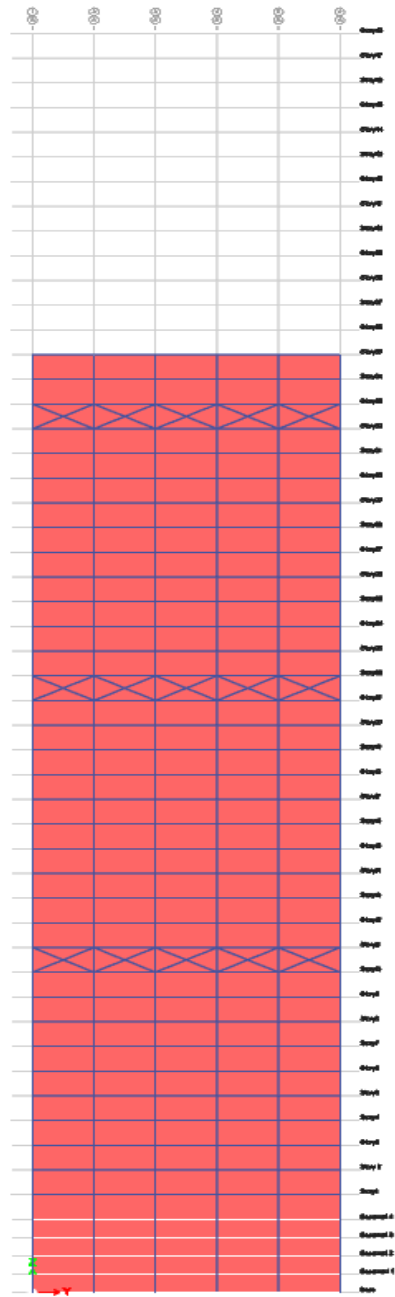
Σχήμα 1.22 Χαρακτηριστικά ράβδων οπλισμού τοιχείου ΟΣ.



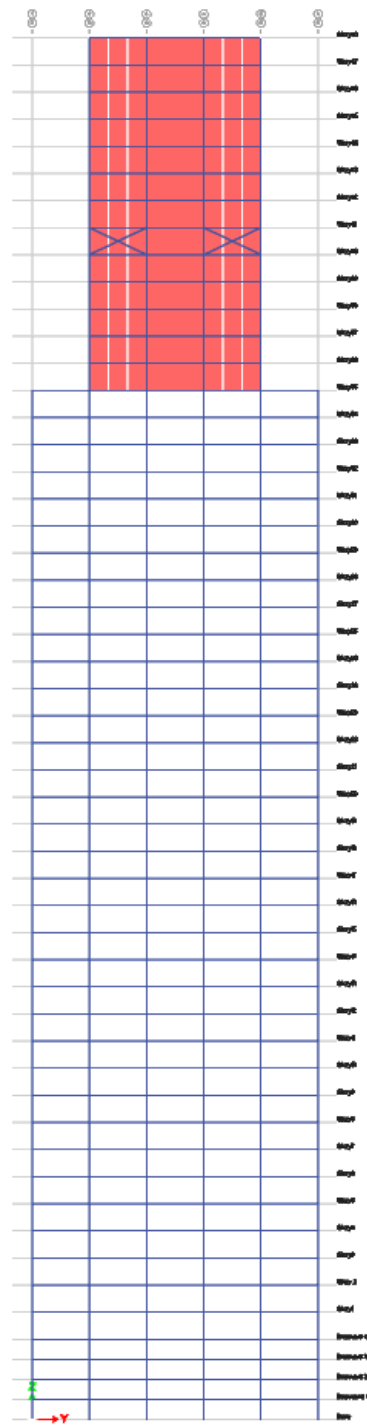
Σχήμα 1.23 ΤΟΜΗ 1,6 (το κόκκινο χρώμα καθ' ύψος του κτιρίου συμβολίζει το δομικό γυαλί και στα υπόγεια τα τοιχώματα υπογείου).



Σχήμα 1.24 ΤΟΜΗ 2,5.



Σχήμα 1.25 TOMH A,H.

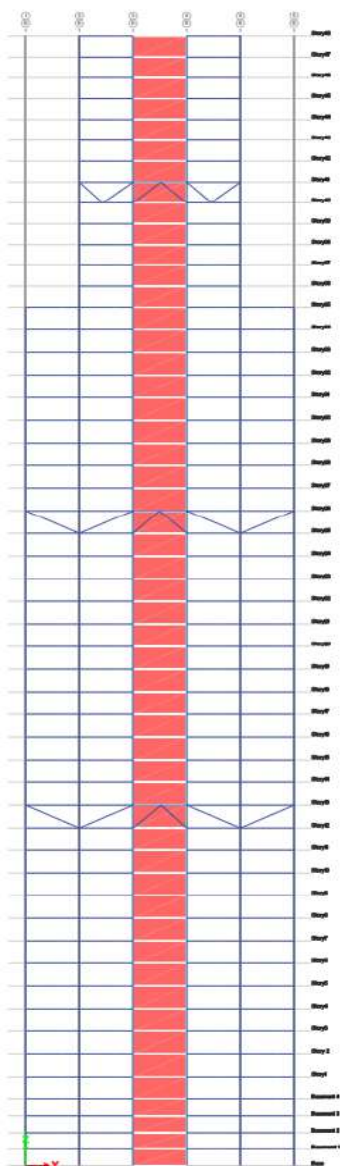


Σχήμα 1.26 ΤΟΜΗ Β,Γ (αλλαγή της κάτοψης του κτιρίου-μείωση διαστάσεων).

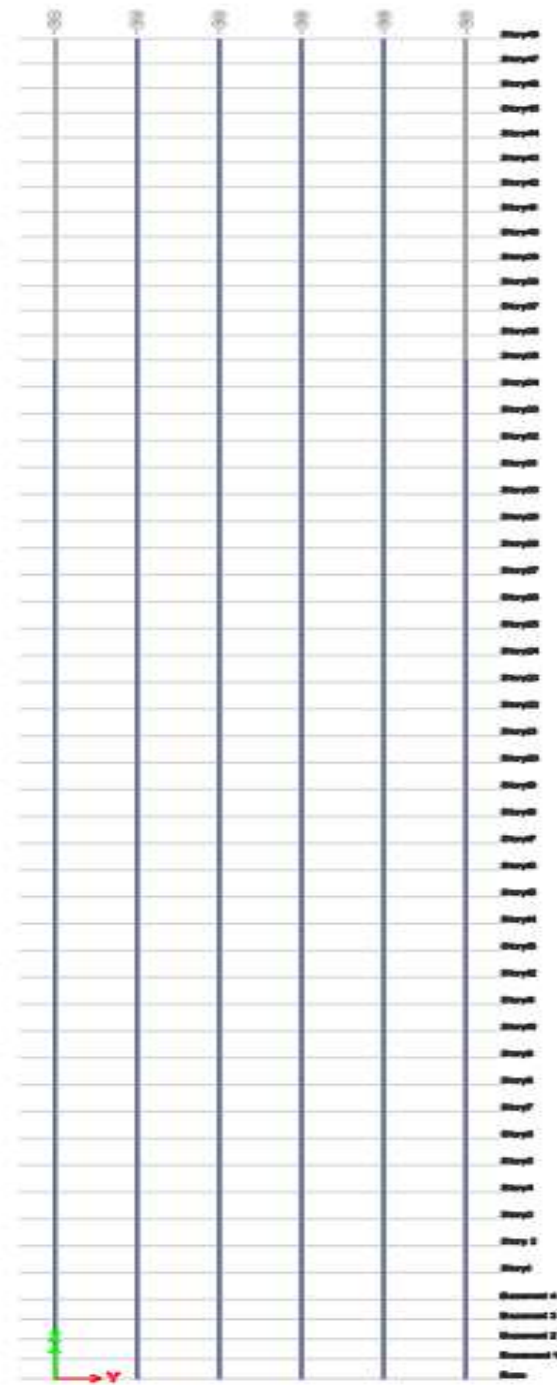
Με κόκκινο χρώμα εσωτερικά του κτιρίου-ανελευστήρας είναι ο πυρήνας σκυροδέματος της κατασκευής και αναπαριστάται η χρήση δικτυώματος (belt truss system) με στόχο την κατακόρυφη σύνδεση του τοιχείου με τις περιμετρικές κολώνες.

Μέσω αυτού του συστήματος σύνδεσης μεταξύ των τοιχείων και των περιμετρικών υποστλωμάτων αυξάνεται σημαντικά η αντίσταση του κτιρίου στην επιβολή οριζόντιων δυνάμεων αλλά και η καλύτερη κατανομή των δυνάμεων και μείωση των μετατοπίσεων με απώτερο σκοπό μία ασφαλέστερη τελική κατασκευή αλλά και μεγαλύτερη ασφάλεια καθώς κατασκευάζεται.

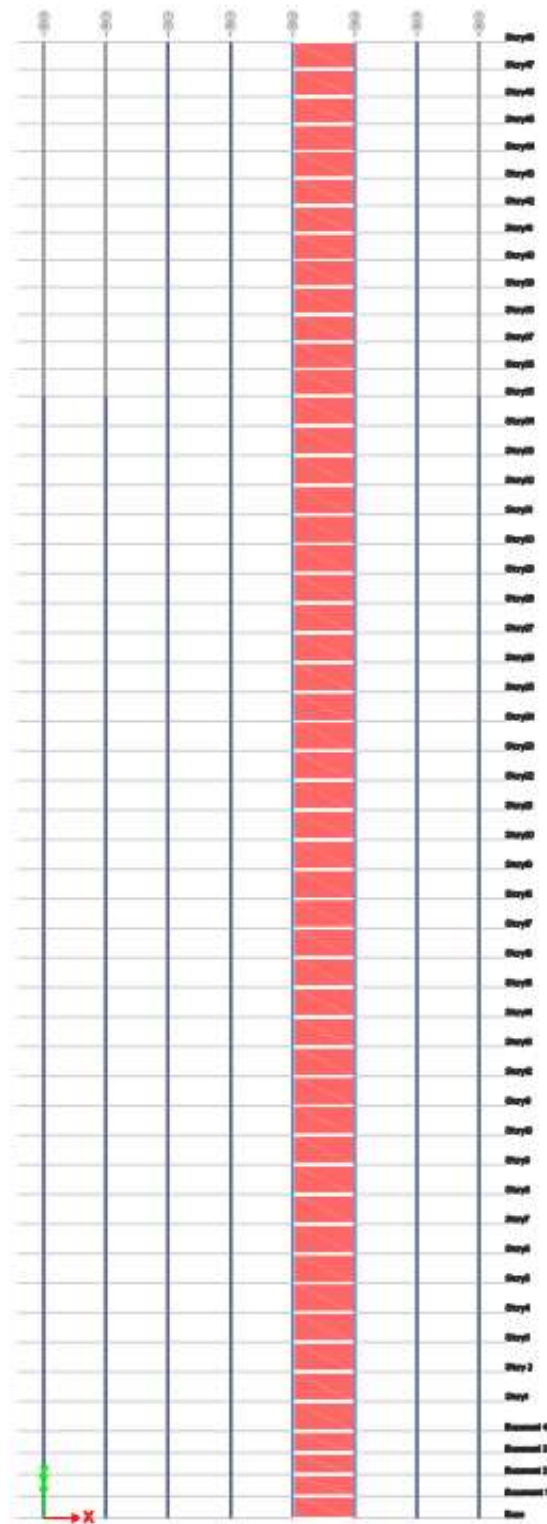
Το σύστημα αυτό τοποθετήθηκε στο $\frac{1}{4}$ ύψος του κτιρίου, στο $\frac{1}{2}$ και στα $\frac{3}{4}$ του ύψους καθώς είναι τα πιο αποδοτικά σημεία τοποθέτησης.



Σχήμα 1.27 TOMH D,E.



Σχήμα 1.28 ΤΟΜΗ F.



Σχήμα 1.29 ΤΟΜΗ 3,4 Πυρήνας σκυροδέματος με το κόκκινο χρώμα εσωτερικά του κτιρίου-ανεγκυστήρας.

2 Δράσεις στο κτίριο

2.1 Φορτία σχεδιασμού κτιρίου

Ο προσδιορισμός των φορτίων, είτε πρόκειται για μόνιμες δράσεις, είτε για μεταβλητές και σεισμικές δράσεις γίνεται με βάση τον Ευρωκώδικα 1 και τα προσαρτήματα αυτού που αφορούν στην εφαρμογή του για τα δεδομένα της Ελλάδας. Ο προσδιορισμός των απαιτήσεων που τίθενται με βάση τα φορτία που ο φορέας καλείται να παραλάβει, είναι απαραίτητος προκειμένου να γίνει ο σχεδιασμός των μελών του κτιρίου.

Μόνιμες Δράσεις (G) :

Στις μόνιμες δράσεις συγκαταλέγονται τα φορτία που ασκούνται διαρκώς στην κατασκευή, όπως κυρίως το βάρος των δομικών στοιχείων της κατασκευής ή και άλλα πρόσθετα βάρη.

Ίδια Βάρη

Τα ίδια βάρη των μελών της κατασκευής, είναι δυνατό να υπολογιστούν ως γινόμενο του εμβαδού της διατομής τους, του μήκους τους και του ειδικού βάρους του χάλυβα που λαμβάνεται ίσο με $\gamma_a=78.5\text{kN/m}^3$. Ωστόσο, στις αναλύσεις και στους ελέγχους των μελών, τα οποία έγιναν με το πρόγραμμα (CSI ETABS), τα ίδια βάρη προσδιορίστηκαν αυτόματα από το πρόγραμμα.

Μεταβλητές Δράσεις (Q) :Ακολουθεί απόσπασμα από τον Ευρωκώδικα

Υποστυλώματα και τοίχοι :

(1) Για το σχεδιασμό υποστυλωμάτων, που δέχονται φόρτιση από πολλαπλούς ορόφους, τα συνολικά επιβαλλόμενα φορτία στο δάπεδο κάθε ορόφου θα πρέπει να λαμβάνονται ως ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία.

(2) Οι χώροι σε κατοικίες και σε κοινωνικά, εμπορικά και διοικητικά κτήρια θα διαιρούνται σε κατηγορίες σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα ανάλογα με τις χρήσεις τους οι οποίες απεικονίζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Κατηγορίες χρήσης.

Κατηγορία	Συγκεκριμένη Χρήση	Παράδειγμα
A	Χώροι διαμονής	Δωμάτια σε κτήρια κατοικιών και σπίτια. Θάλαμοι και πτέρυγες σε νοσοκομεία. Υπνοδωμάτια σε ξενοδοχεία και ξενώνες, κουζίνες και τουαλέτες.
B	Χώροι γραφείων	
C	Χώροι στους οποίους οι άνθρωποι μπορεί να συναθροισθούν (με εξαίρεση τους χώρους που κατατάσσονται στις κατηγορίες A, B, και D ¹⁾)	C1: Χώροι με τραπέζια κλπ. Π.χ. σχολικοί χώροι, νηπιαγωγεία, καφενεία, εστιατόρια, αίθουσες φαγητού, αναγνωστήρια, χώροι υποδοχής C2: Χώροι με σταθερά καθίσματα, Π.χ. χώροι σε εκκλησίες, θέατρα ή κινηματογράφους, αίθουσες συνεδριάσεων, αίθουσες ομιλίας, αίθουσες συγκεντρώσεων, χώροι αναμονής, χώροι αναμονής σε σιδηροδρομικούς σταθμούς. C3: Χώροι χωρίς εμπόδια στη διακίνηση του κοινού, π.χ. χώροι

2.2 Τιμές των δράσεων

- Οι κατηγορίες των φορτιζόμενων επιφανειών, όπως αυτές προσδιορίζονται στον πίνακα 2.2, θα σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας τις χαρακτηριστικές τιμές q_k (ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο) και Q_k (συγκεντρωμένο φορτίο).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές για τα q_k και Q_k δίδονται στον πίνακα 2.2 που ακολουθεί. Όπου ο πίνακας περιέχει ένα φάσμα τιμών, η τιμή μπορεί να ορισθεί στο Εθνικό Προσάρτημα. Οι προτεινόμενες τιμές, οι οποίες προορίζονται για ξεχωριστή εφαρμογή, είναι υπογραμμισμένες. Το q_k προορίζεται για τον προσδιορισμό των γενικών εντατικών μεγεθών και το Q_k για τα τοπικά εντατικά μεγέθη.

Πίνακας 2.2 – Επιβαλλόμενα φορτία σε δάπεδα, μπαλκόνια και σκάλες (Ευρωκώδικας 1).

Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών	q_k [kn/m]	Q_k [kn/m]
Κατηγορία Α		
<input type="checkbox"/> Δάπεδα	1,5 έως 2,0	2,0 έως 3,0
<input type="checkbox"/> Σκάλες	2,0 έως 4,0	2,0 έως 4,0
<input type="checkbox"/> Μπαλκόνια	2,5 έως 4,0	2,0 έως 3,0
Κατηγορία Β	2,0 έως 3,0	1,5 έως 4,5
Κατηγορία C		
<input type="checkbox"/> C1	2,0 έως 3,0	3,0 έως 4,0
<input type="checkbox"/> C2	3,0 έως 4,0	2,5 έως 7,0 (4,0)
<input type="checkbox"/> C3	3,0 έως 5,0	4,0 έως 7,0
<input type="checkbox"/> C4	4,5 έως 5,0	3,5 έως 7,0
<input type="checkbox"/> C5	5,0 έως 7,5	3,5 έως 4,5
Κατηγορία D		
<input type="checkbox"/> D1	4,0 έως 5,0	3,5 έως 7,0 (4,0)
<input type="checkbox"/> D2	4,0 έως 5,0	3,5 έως 7,0

- Όπου είναι απαραίτητο οι τιμές των q_k και Q_k θα πρέπει να αυξηθούν κατά τον σχεδιασμό (π.χ. στις σκάλες και τα μπαλκόνια ανάλογα με τη χρήση και τις διαστάσεις)
- Για τους τοπικούς ελέγχους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ένα συγκεντρωμένο φορτίο Q_k το οποίο να δρα μόνο του.

Για τα διάφορα χωρίσματα τα οποία θα τοποθετηθούν στους χώρους των ορόφων υπολογίστηκαν τα παρακάτω φορτία με βάση τον Ευρωκώδικα 1 :

- για μετακινήσιμα χωρίσματα με ίδιον βάρος $\leq 1,0$ kN/m μήκους τοίχου: $q_k=0,5$ kN/m² .
- για μετακινήσιμα χωρίσματα με ίδιον βάρος $\leq 2,0$ kN/m μήκους τοίχου: $q_k=0,8$ kN/m² .
- για μετακινήσιμα χωρίσματα με ίδιον βάρος $\leq 3,0$ kN/m μήκους τοίχου: $q_k=1,2$ kN/m² .

- Όσον αφορά στα φορτία που χρησιμοποιήθηκαν στις σύμμικτες πλάκες των ορόφων του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε $Q = 3,5$ kN / m² για κινητά φορτία και $G = 3,5$ kN / m² για μόνιμα σε όλους τους ορόφους του κτιρίου εκτός από τους ορόφους των 4 υπογείων που χρησιμοποιήθηκε κινητό φορτίο ίσο με $Q = 5$ kN / m² λόγω της χρήσης των υπογείων ως χώροι στάθμευσης οχημάτων οπότε επιβάλλονται στον φορέα μεγαλύτερα κινητά φορτία.

- *Δράσεις Ανέμου και Χιονιού :*

Το κτίριο θεωρείται ότι βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα, με αποτέλεσμα η θεμελιώδης βασική ταχύτητα του ανέμου να λαμβάνεται ίση με $V_{b0}=33$ m/s. Η τιμή του ανέμου δόθηκε σε κάθε διάφραγμα σαν οριζόντια δύναμη μεταβαλλόμενη καθ' ύψος του κτιρίου. Ενδεικτικά η δύναμη του ανέμου στον τελευταίο όροφο έφτασε περίπου τα 610 kN στην διεύθυνση Y και 480 KN στη διεύθυνση X. Απλοποιητικά, οι κατακόρυφες επιφάνειες του κτιρίου (glass facade) θεωρείται ότι εκτίθενται σε ανεμοπίεση ομοιόμορφα κατανεμημένη καθ' ύψος τους. Όσον αφορά στα φορτία λόγω χιονιού δε λήφθηκαν υπόψη λόγω της γεωγραφικής θέσης του κτιρίου οπότε και δεν αναμένεται να επηρεάσουν τον σχεδιασμό που έγινε. Για τον υπολογισμό των δυνάμεων ανέμου στους ορόφους χρησιμοποιήθηκε ένα φύλλο Excel. Τα βήματα υπολογισμού του ανέμου φαίνονται στον Πίνακα 2.3.

1ο βήμα : $V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0}$			
basic wind velocity	$C_{dir} =$		1
	$C_{season} =$		1
	$V_{b,0} =$	33m/s	
	$V_b =$	33m/s	
2ο βήμα : $V_m(z) = C_r(z) * C_o(z) * V_b$			
βρίσκουμε ότι			
3ο βήμα : $C_r(z) = K_r * \ln(z/z_0)$ αν $z_{min} \leq z \leq z_{max}$			
$C_r(z) = C_r(z_{min})$ αν $z \leq z_{min}$			
στη συνέχεια βρίσκουμε			
4ο βήμα : $K_r = 0.19 * (z_0/z_{0,II})^{0.07}$			
Terrain factor	terrain category =		0
	z_0	0.003m	
	z_{min}	1m	
	z_{max}	200m	
	z	200m	
	$z_{0,II}$	0.05m	
	K_r	0.1560	
	$C_r(z)$	1.75	
	$C_o(z)$		1
	$V_m(z)$	56.53m/s	
5ο βήμα : $I_v(z) = \sigma_v / V_m(z) = k_1 / [C_o(z) * \ln(z/z_0)]$	αν $z_{min} \leq z \leq z_{max}$		
$I_v(z) = I_v(z_{min})$	αν $z \leq z_{min}$		
από τα οποία βρίσκουμε			
6ο βήμα : $\sigma_v = k_1 * V_b * K_r$			
	K_1		1
	σ_v	5.129 m/s	
	$I_v(z)$	0.0900	
7ο βήμα : $q_p(z) = [1+7*I_v(z)]^{1/2} * \rho * (V_m(z))^2$			
πυκνότητα αέρα	ρ	1.25 kg/m ³	
	$q_p(z)$	3.33m/s	
Κατηγορία εδάφους	$z_0(m)$	$z_{min}(m)$	
	0	0.003m	1
I	0.01		1
II	0.05		
III	0.3		
IV		1	10
structural factor $C_s C_d$		1	1
Min structural factor min $C_s C_d$	0.87	0.87	
Force coefficient C_o		2	2
Force coefficient Ψ			
Force coefficient C_r		2	2
Longitudinal direction	$q_p(z) =$	6,35kN/m ²	
Transverse direction	$q_p(z) =$	6,35kN/m ³	

Πίνακας 2.3 Υπολογισμός ανέμου.

Πίνακας 2.4 Συνολικές δυνάμεις ανέμου ανά όροφο.

		WY		WX
cf=1,4		KN		KN
Story48		608,09		477,78
Story47		606,30		476,38
Story46		604,47		474,95
Story45		602,62		473,48
Story44		600,72		472,00
Story43		598,79		470,48
Story42		596,82		468,93
Story41		594,81		467,35
Story40		592,76		465,74
Story39		590,66		464,09
Story38		588,52		462,11
Story37		586,14		460,25
Story36		584,08		458,92
Story35		415,56		332,44
Story34		413,87		331,10
Story33		412,15		329,72
Story32		410,38		328,30
Story31		408,56		326,84
Story30		406,69		325,35
Story29		404,76		323,81
Story28		402,78		322,22
Story27		400,73		320,58
Story26		398,63		318,89
Story25		396,44		317,15
Story24		394,18		315,34
Story23		391,83		313,47
Story22		389,41		311,53
Story21		386,88		309,50
Story20		384,24		307,39
Story19		381,49		305,19
Story18		378,62		302,89
Story17		375,60		300,48
Story16		372,42		297,94
Story15		295,63		221,44
Story14		292,42		219,32
Story13		289,40		217,05
Story12		286,18		214,63
Story11		282,71		202,79
Story10		278,96		199,03
Story9		274,88		194,78

Πίνακας 2.5 (συνεχίζεται):

Story8			270,38			189,87
Story7			265,38			184,04
Story6			259,71			176,77
Story5			253,17			167,02
Story4			245,38			151,57
Story3			235,69			148,45
Story2			222,69			146,58
Story1			202,09			143,44

Σεισμικές Δράσεις :

Ο σεισμός αποτελεί μια δράση η οποία αναμένεται να είναι καθοριστική για τον σχεδιασμό του κτιρίου, λόγω της μεγάλης μάζας της ανωδομής της κατασκευής, η οποία βρίσκεται σε μεγάλο ύψος από το έδαφος (το κέντρο βάρους της συνολικής κατασκευής βρίσκεται σε ύψος $Z = 96,8$ m). Σε αυτό το πλαίσιο έγινε εκτίμηση των σεισμικών χαρακτηριστικών από τους αντίστοιχους πίνακες του Ευρωκώδικα 8 με βάση φυσικά και τα Εθνικά Προσαρτήματα. Έτσι, ορίστηκε σεισμός σχεδιασμού (και για τις δύο κύριες διευθύνσεις του σεισμού) με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Σεισμική ζώνη I με $a_{gR} = 0.16 * g$
- Κατηγορία Σπουδαιότητας 1 και
- Κατηγορία Εδάφους B, καθώς θεωρείται ότι η θεμελίωση του κτιρίου θα πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο βάθος από αυτό του κτιρίου (με χρήση πασσάλων), με αποτέλεσμα η έδραση των θεμελίων να γίνεται σε βράχο και όχι στις επιφανειακές αποσαθρωμένες εδαφικές στρώσεις.
- Συντελεστής Συμπεριφοράς $q = 2,0$ για σεισμό και προς τις δύο διευθύνσεις.

Εδώ να σημειωθεί ότι αρχικά πραγματοποιήθηκε ανάλυση με συντελεστή συμπεριφοράς $q=4$ αλλά δεν ήταν επιθυμητά για αυτό και προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί μικρότερος συντελεστής.

Γενικά, η επιλογή του μεγέθους του συντελεστή συμπεριφοράς q για έναν ουρανοξύστη εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής, τα δομικά υλικά και συστήματα που χρησιμοποιούνται, το κόστος κατασκευής και συντήρησης, καθώς και οι απαιτήσεις ασφάλειας και λειτουργικότητας του κτιρίου. Η επιλογή μεγάλου συντελεστή συμπεριφοράς θα ήταν σημαντική στην περίπτωση που βρισκόμασταν σε μία περιοχή με έντονη σεισμική δραστηριότητα πράγμα που στην περιοχή του Ελληνικού δεν συμβαίνει.

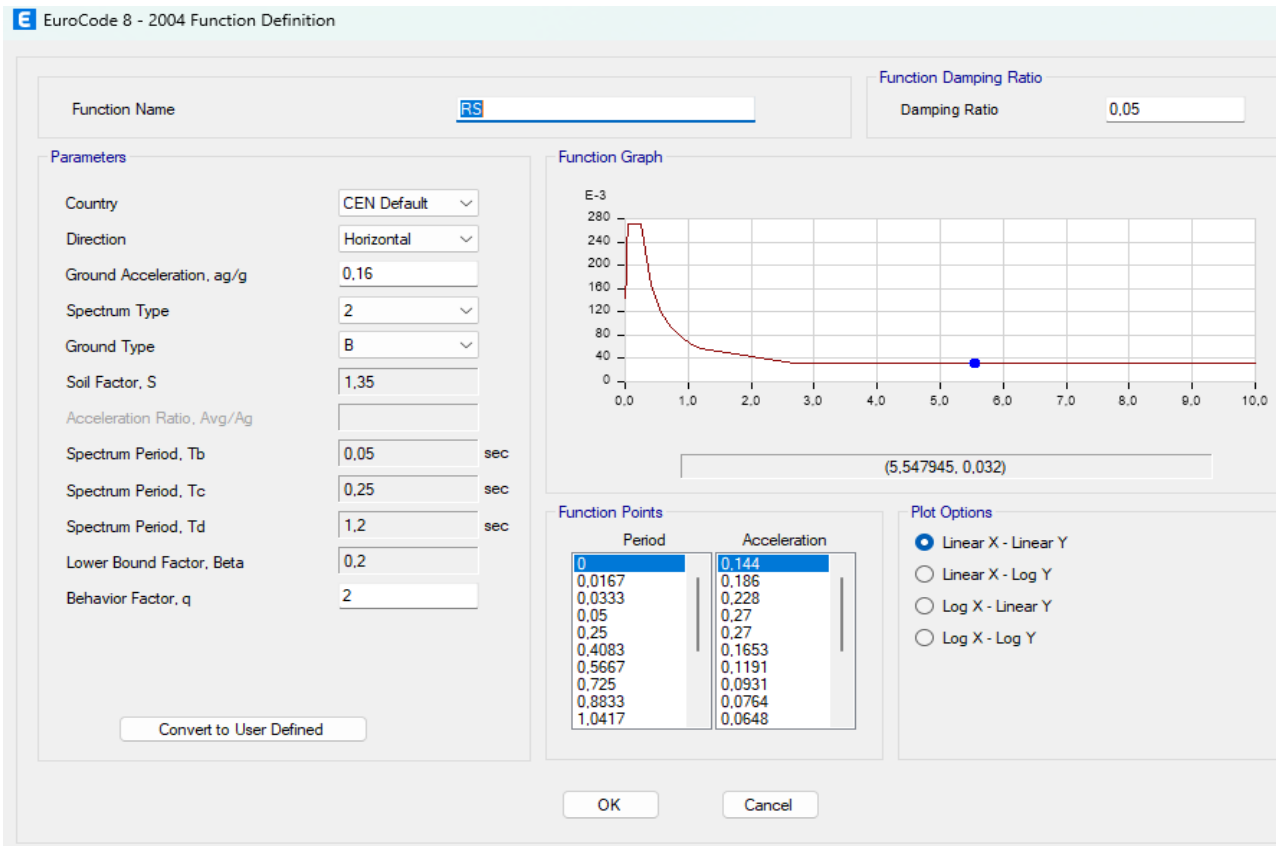
Τέλος, με την επιλογή του μικρού συντελεστή ασφαλείας ο σχεδιασμός του κτιρίου πραγματοποιείται με μεγαλύτερες σεισμικές δυνάμεις με αποτέλεσμα την κατασκευή πιο ανθεκτικού και άκαμπτου κτιρίου, μειώνοντας παράλληλα σε μεγάλο βαθμό την εμφάνιση σοβαρών βλαβών στο μέλλον.

Seismic - Structural System Characteristics

System		Seismic Design R	Non-Linear Drift	Cyclic Behavior	Energy Dissipation	Post EQ Repair Cost
UR Masonry Walls		1.5	Medium to Collapse	Unstable	Low	High
Timber Framing		5.5	Medium	Stable	Medium to High	Medium
Steel Frame URM Wall		(3.5)	Medium	Stable	Medium	Medium
Steel Frame + R/C Walls		5.5	Medium	Stable	Medium	Medium
Non-Ductile R/C MF		3.5	Large to Collapse	Unstable	Low	High
Steel Frame + Braces		4.5	Large to Collapse	Unstable	Low	High
R/C Shear Walls		4.5	Medium	Stable to Unstable	Medium to High	Medium to High
R/C Masonry Walls		4.5	Medium to Large	Stable to Unstable	Medium	Medium to High
Non-Ductile Steel MF		4.5	Medium to Large	Unstable	Medium	High
Composite Timber & Steel		4.4	Medium	Stable	Medium to High	Low

Σχήμα 2.1 Συντελεστές συμπεριφοράς ανάλογα με το στατικό σύστημα που χρησιμοποιείται.

- Το φάσμα σχεδιασμού φαίνεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.2 Φάσμα σχεδιασμού.

2.3 Συνδυασμοί φορτίσεων

Ο σχεδιασμός των συνδυασμών φορτίσεων πραγματοποιήθηκε κατά Ευρωκώδικα 1 με βάση συγκεκριμένους συντελεστές ασφαλείας για τις εκάστοτε καταστάσεις για τις οποίες έγινε ο σχεδιασμός.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνδυασμοί για τους οποίους ελέγχθηκε ο φορέας.

- *Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ):*

Στην οριακή κατάσταση αστοχίας έγινε έλεγχος της κατασκευής ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν θα καταρρεύσει υπό το βάρος του μέγιστου φορτίου που τυχόν εμφανιστεί σε αυτή, αφήνοντας παράλληλα και τα απαραίτητα περιθώρια ασφαλείας.

Οι συνδυασμοί λοιπόν που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο, λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία του ανέμου είναι οι εξής :

- $q_E = 1.35 G$

- $q_E = 1.35 G + 1.5 Q$

$$- q_E = 1.35 G + 0.75 W_x$$

$$- q_E = 1.35 G - 0.75 W_x$$

$$- q_E = 1.35 G + 0.75 W_y$$

$$- q_E = 1.35 G - 0.75 W_y$$

$$- q_E = 1.35 G - 0.75 W_y$$

$$- q_E = 1.35 G + 1.05 Q + 1.5 W_x$$

$$- q_E = 1.35 G + 1.05 Q - 1.5 W_x$$

$$- q_E = 1.35 G + 1.05 Q + 1.5 W_y$$

$$- q_E = 1.35 G + 1.05 Q - 1.5 W_y$$

- Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ):

Στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας βασικό μέλημα είναι να διασφαλιστεί ότι ο φορέας δεν παρουσιάζει προβλήματα κατά τη λειτουργία του, όπως σημαντικές παραμορφώσεις σε δομικά στοιχεία ,ταλαντώσεις κλπ. Στόχος του σχεδιασμού αυτού είναι να εξασφαλίσει στους χρήστες μίας κατασκευής ότι υπό κανονικές συνθήκες χρήσης η κατασκευή θα λειτουργεί σωστά.

Οι συνδυασμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο αυτό είναι:

$$q_E = 1.00 G$$

$$q_E = 1.00 G + 1.00 Q + 1.00 W_x$$

$$q_E = 1.00 G + 1.00 Q + 1.00 W_y$$

- Σεισμικοί Συνδυασμοί

Στην περίπτωση του σεισμού πλην του τρόπου με τον οποίο θα ληφθεί υπ' όψη σε σχέση με τα υπόλοιπα φορτία της κατασκευής, θα πρέπει να εξεταστούν και οι ανάλογες περιπτώσεις σχετικά με την κατεύθυνση του.

Οι συνδυασμοί λοιπόν που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση είναι αυτοί που φαίνονται παρακάτω:

$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q + 1.00 E_x + 0.30 E_y$$

$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q + 1.00 E_x - 0.30 E_y$$

$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q + 0.30 E_x + 1.00 E_y$$

$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q + 0.30 E_x - 1.00 E_y$$

$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q - 1.00 E_x - 0.30 E_y$$

$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q - 1.00 E_x + 0.30 E_y$$

$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q - 0.30 E_x - 1.00 E_y$$

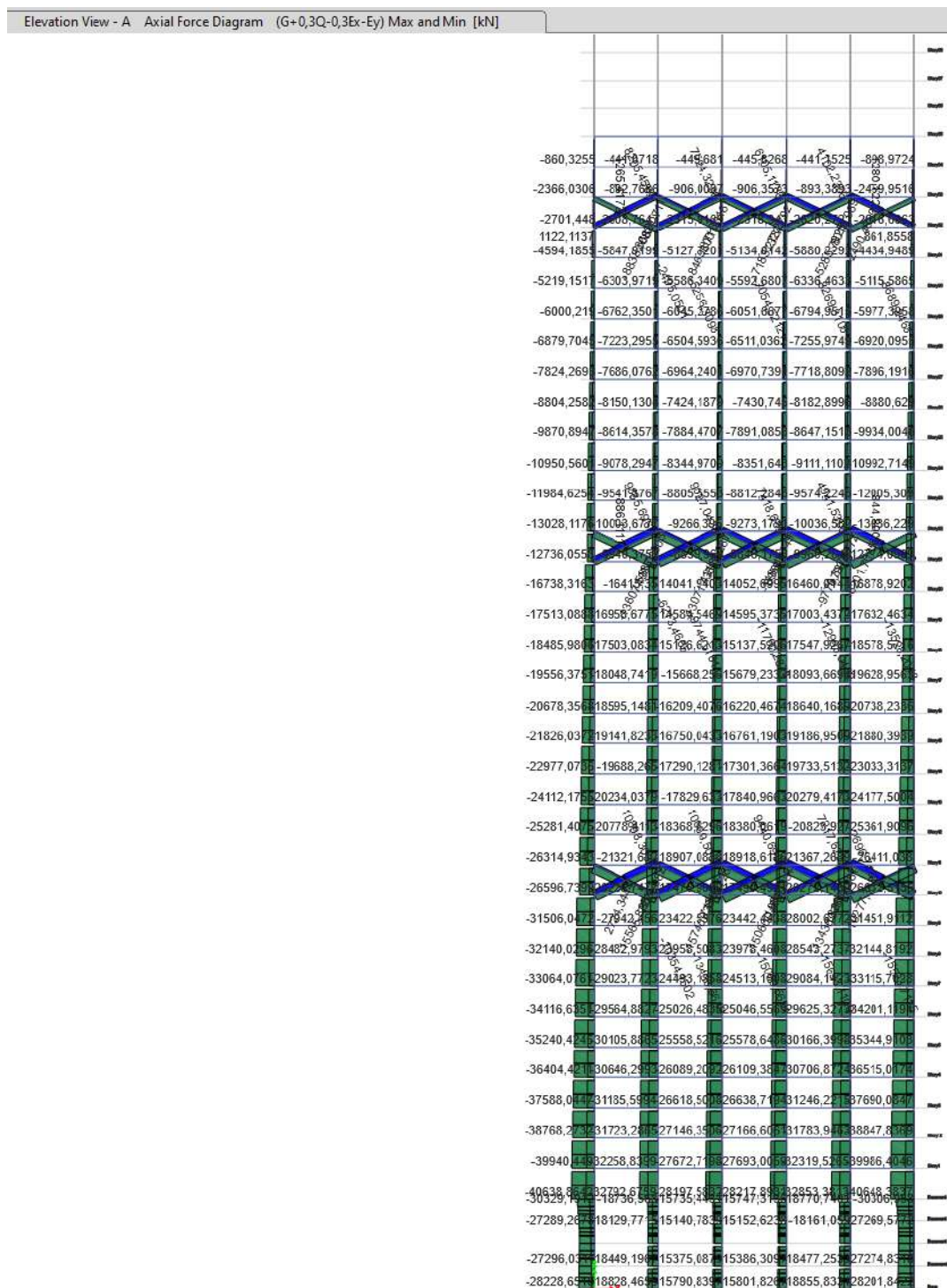
$$q_E = 1.00 G + 0.3 Q - 0.30 E_x + 1.00 E_y$$

Οι παραπάνω συνδυασμοί πρέπει να ελεγχθούν όλοι προκειμένου να ανταποκρίνεται ο σχεδιασμός στα αντίστοιχα κανονιστικά πλαίσια και να προκύψει η επάρκεια του φορέα σε ότι έχει να κάνει με τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Επιπρόσθετα, όταν πραγματοποιήθηκε η ανάλυση του συγκεκριμένου φορέα οι συνδυασμοί αυτοί προσδιορίστηκαν και λήφθηκαν υπ' όψη και στο πρόγραμμα ανάλυσης (ETABS) που χρησιμοποιήθηκε.

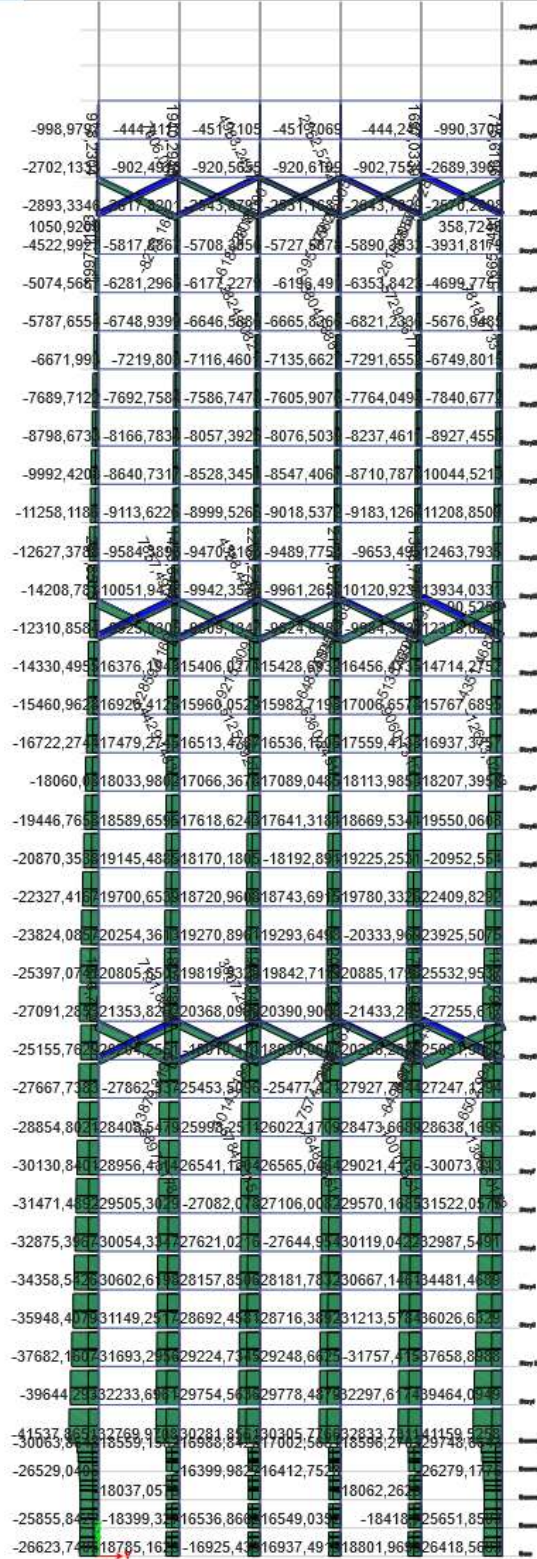
3 Έλεγχοι και υπολογισμοί

3.1 Έλεγχοι σε οριακές καταστάσεις

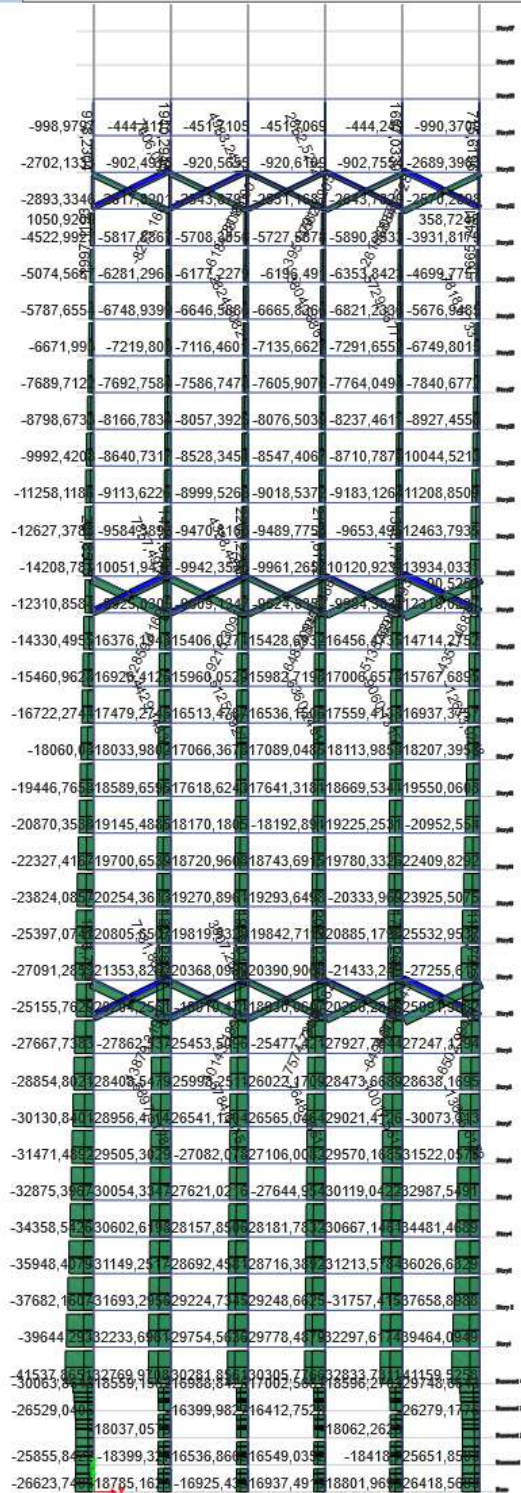
- Η μέγιστη αξονική δύναμη είναι 40683,86 kN.



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων για συνδυασμό φόρτισης G+0.3Q-0.3Ex+Ey.

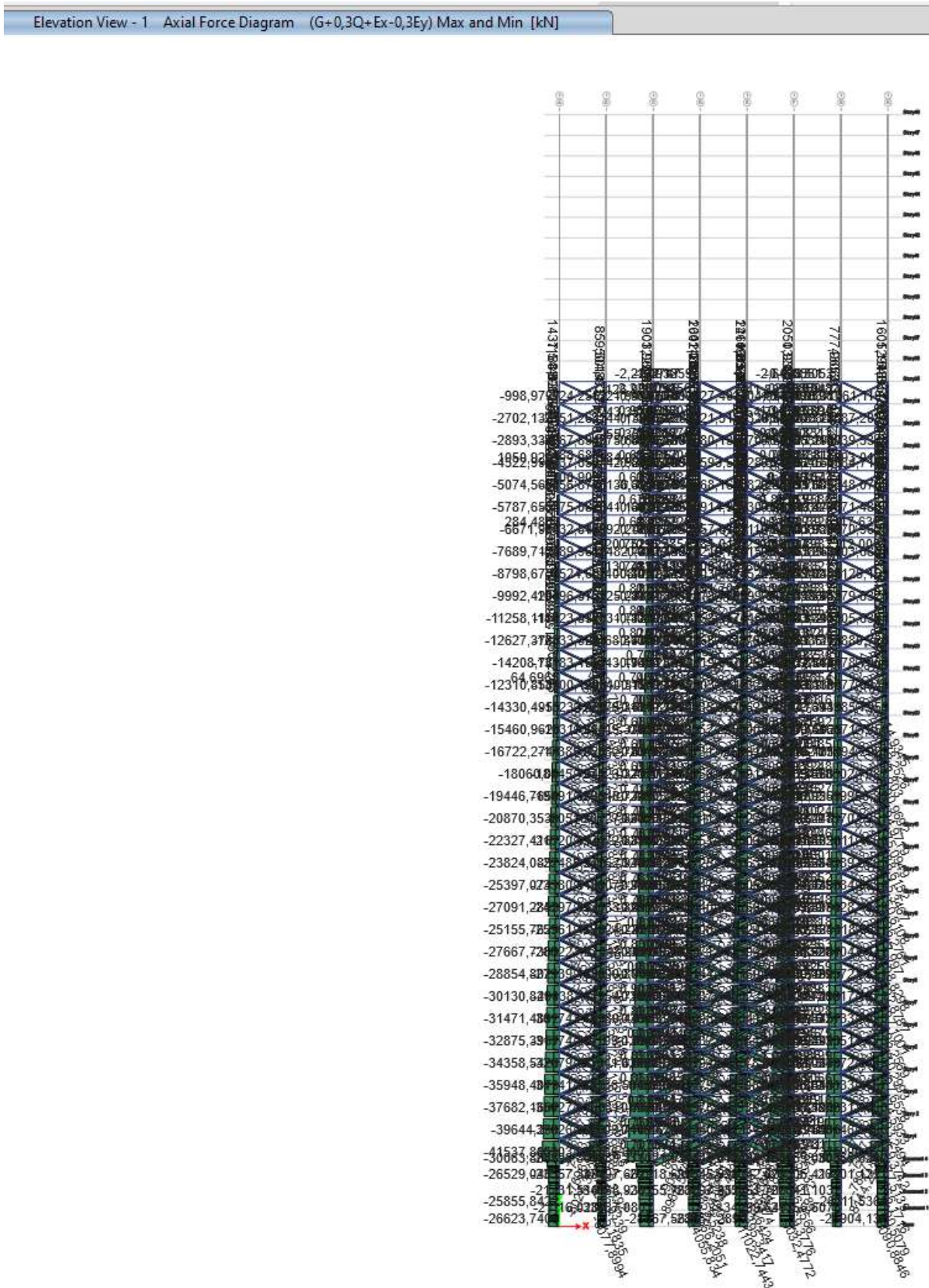


Σχήμα 3.2 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων για συνδυασμό φόρτισης G+0.3Q+Ex+0.3Ey.

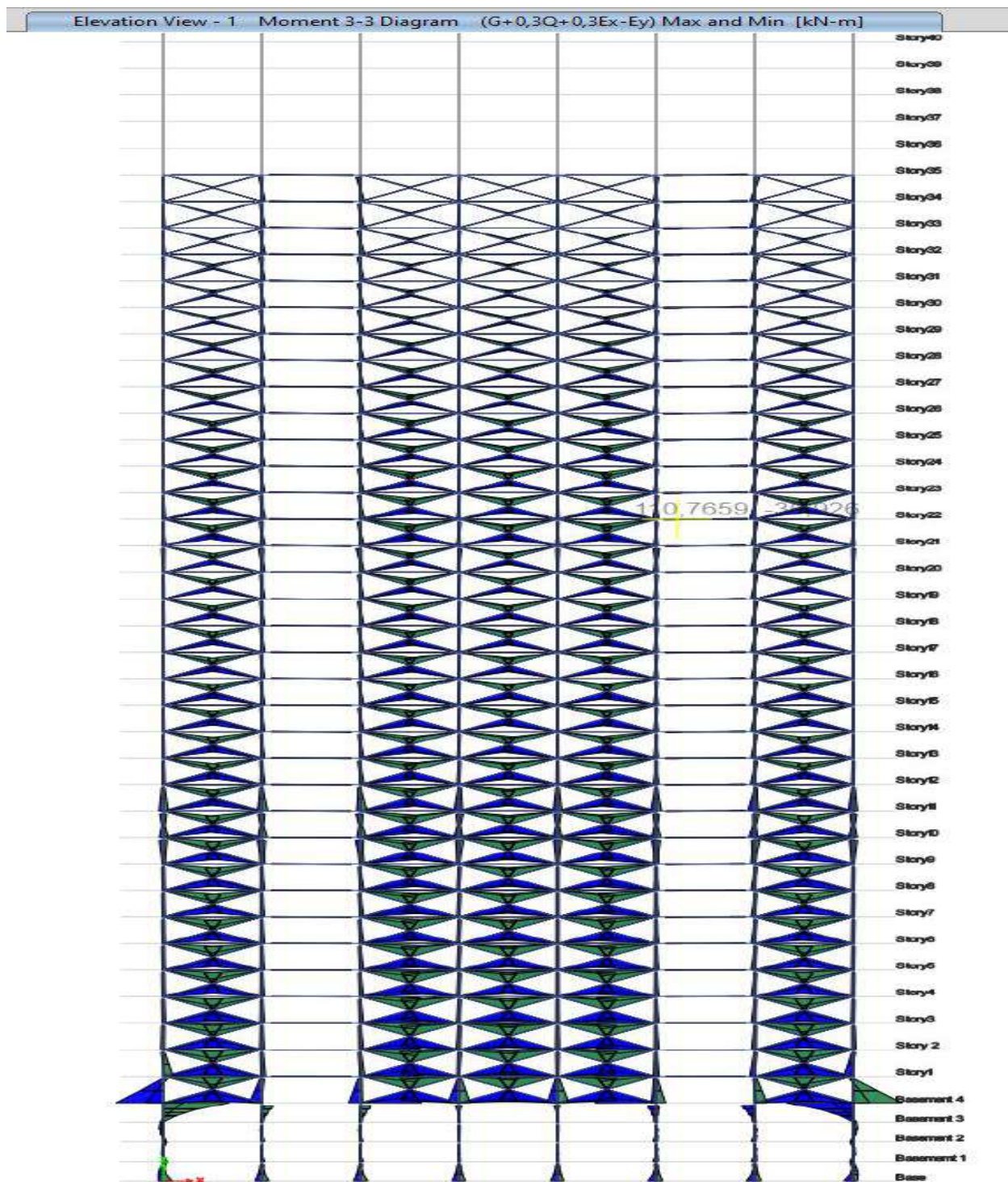


Σχήμα 3.3 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων για συνδυασμό φόρτισης G+0.3Q+Ex-0.3Ey.

- Η μέγιστη αξονική δύναμη 54236,13 kN.

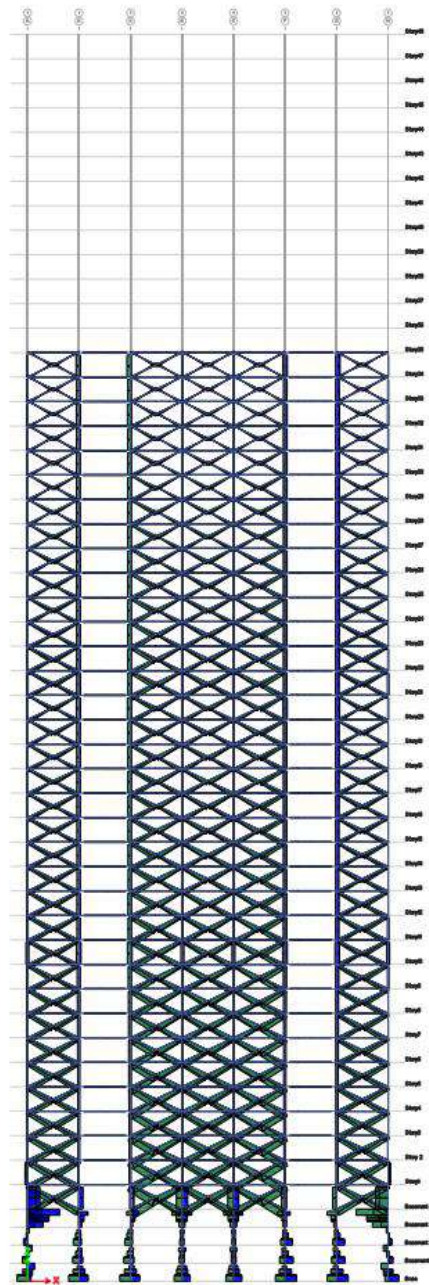


Σχήμα 3.4 Διάγραμμα αξονικών δυνάμεων για συνδυασμό φόρτισης G+0.3Q+Ex-0.3Ey.



Σχήμα 3.5 Διάγραμμα καμπτικών δυνάμεων για συνδυασμό φόρτισης $G+0.3Q+Ex+0.3Ey$.

- Μέγιστη τιμή τα 945 kNm στο υπόγειο -4.



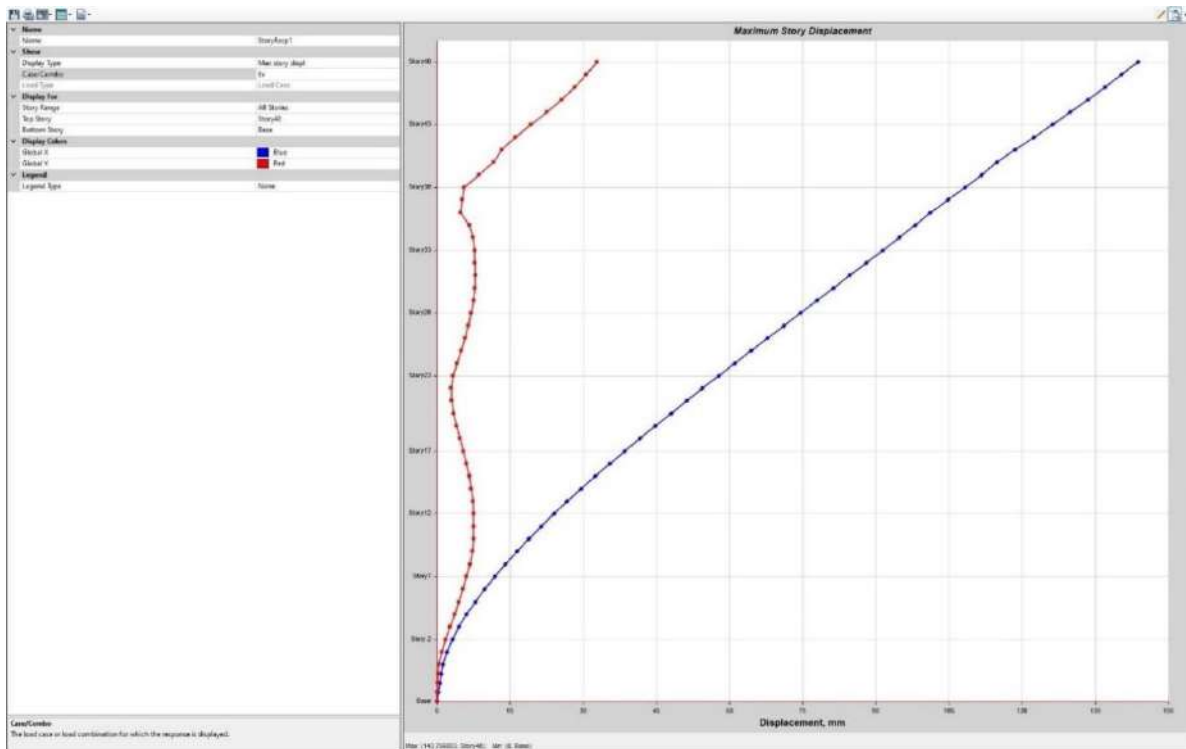
Σχήμα 3.6 Διάγραμμα διατμητικών δυνάμεων για συνδυασμό φόρτισης $G+0.3Q+Ex+0.3Ey$.

- Μέγιστη τιμή τα 265 kN.

3.2 Σεισμική Ανάλυση

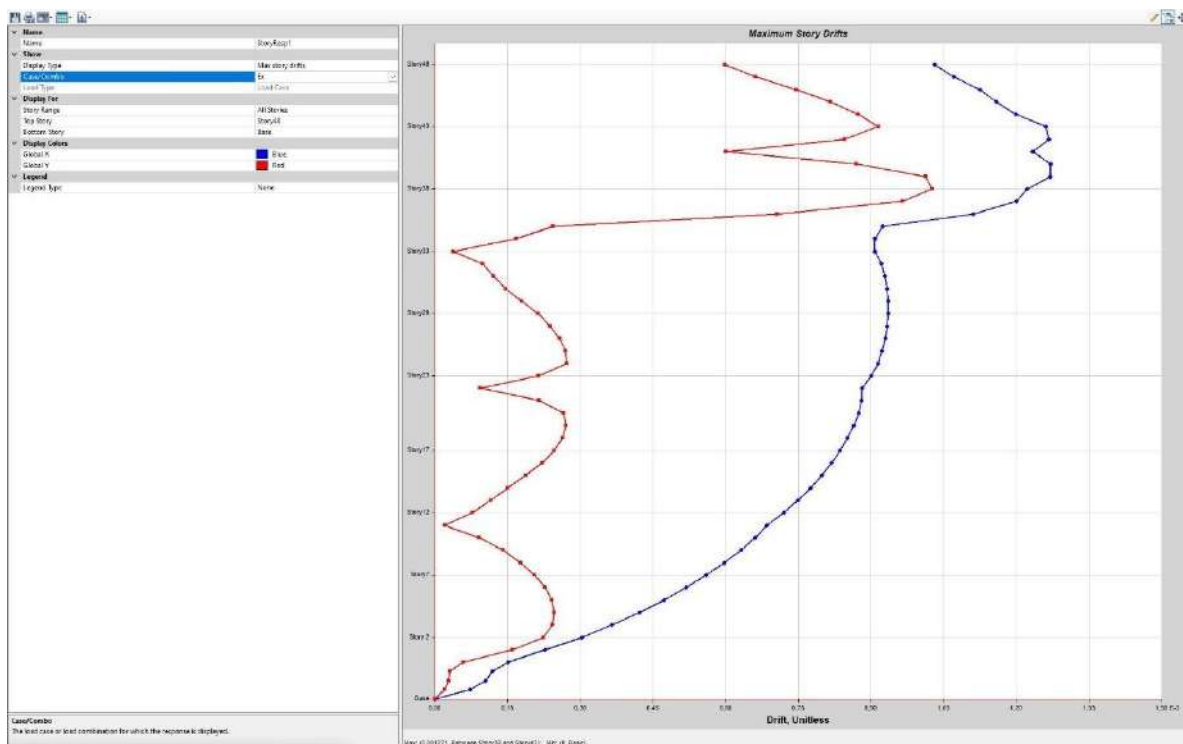
Η σεισμική ανάλυση του πολυώροφου κτιρίου έγινε με βάση τις αντίστοιχες παραγράφους για αντισεισμικό σχεδιασμό του Ευρωκώδικα και των Εθνικών Προσαρτημάτων για την Ελλάδα. Πρέπει να αναφερθεί πως τα χαρακτηριστικά αντιστοιχούν σε αυτά που προσδιορίστηκαν στο Κεφάλαιο 2 και για τις δύο κύριες διευθύνσεις του κτιρίου (διευθύνσεις X και Y). Η καμπύλη με το μπλε χρώμα συμβολίζει τι συμβαίνει στην διεύθυνση X και η καμπύλη με το χρώμα κόκκινο την διεύθυνση Y.

Μέσω λοιπόν του προγράμματος ETABS 2020 πραγματοποιήθηκε η ιδιομορφική ανάλυση για το κτίριο από την οποία προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα :



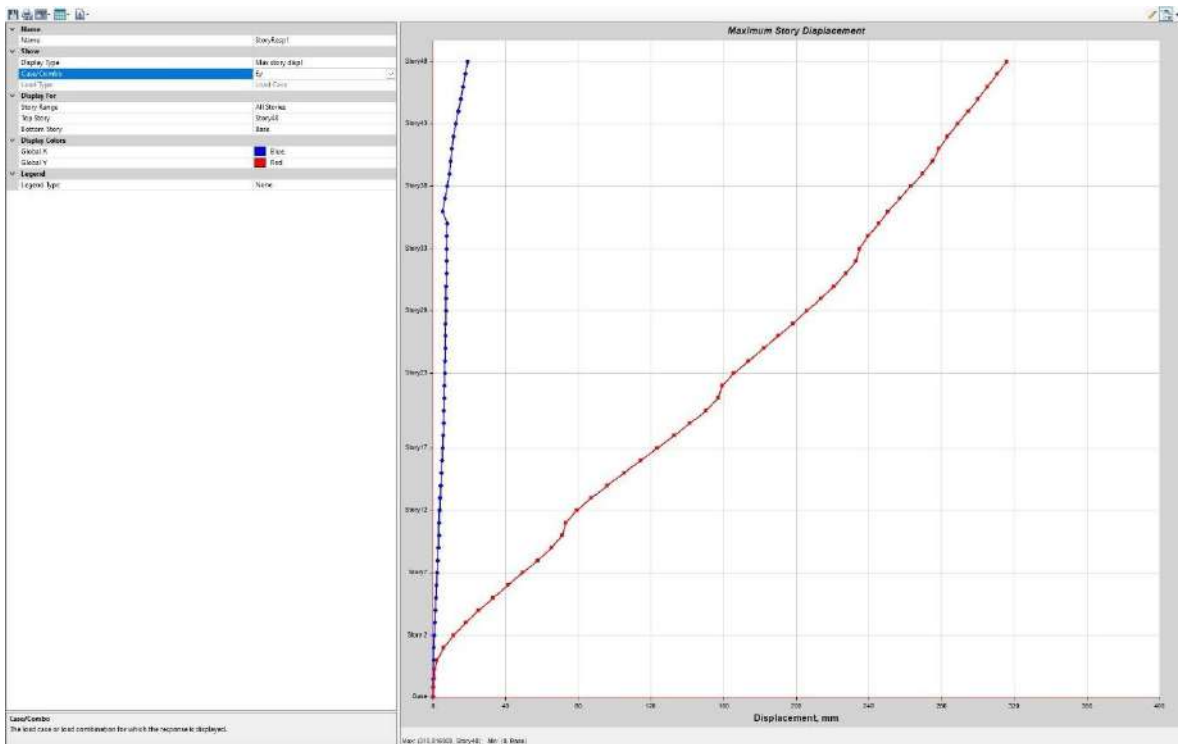
Σχήμα 3.7 Μέγιστη μετακίνηση λόγω σεισμού στη διεύθυνση X.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου λόγω σεισμού στην διεύθυνση X είναι περίπου 14 cm.



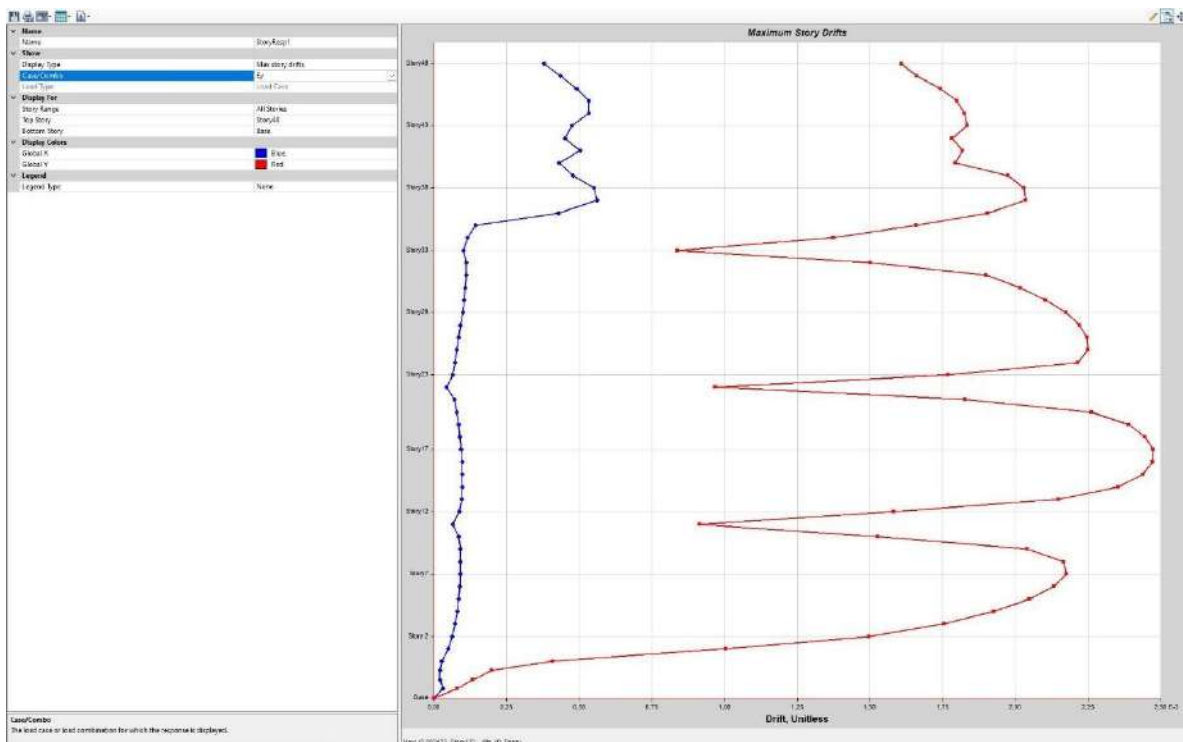
Σχήμα 3.8 Σχετικές μετακινήσεις ορόφων λόγω σεισμού στη διεύθυνση X.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη σχετική μετατόπιση του κτιρίου λόγω σεισμού με διεύθυνση X είναι περίπου $1,30 \cdot 10^{-3}$



Σχήμα 3.9 Μέγιστη μετακίνηση λόγω σεισμού στη διεύθυνση Y.

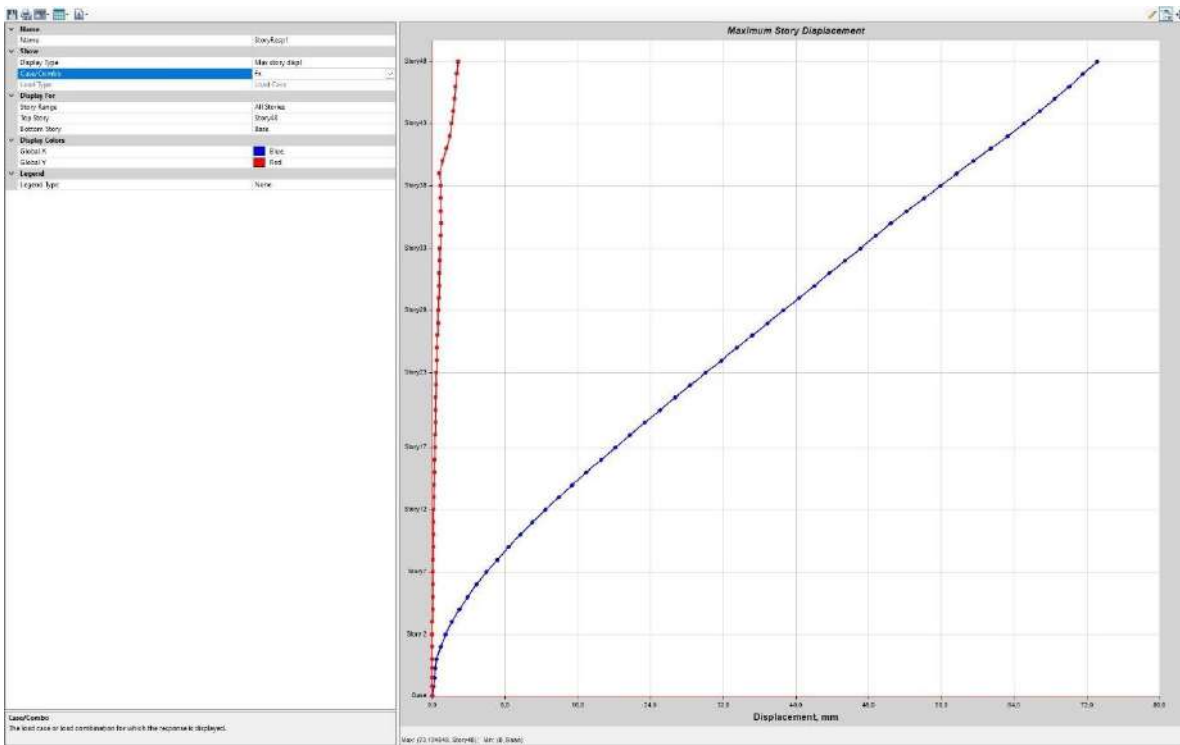
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου λόγω σεισμού με διεύθυνση Y είναι περίπου 20 cm.



Σχήμα 3.10 Σχετικές μετακινήσεις ορόφων λόγω σεισμού στη διεύθυνση Y.

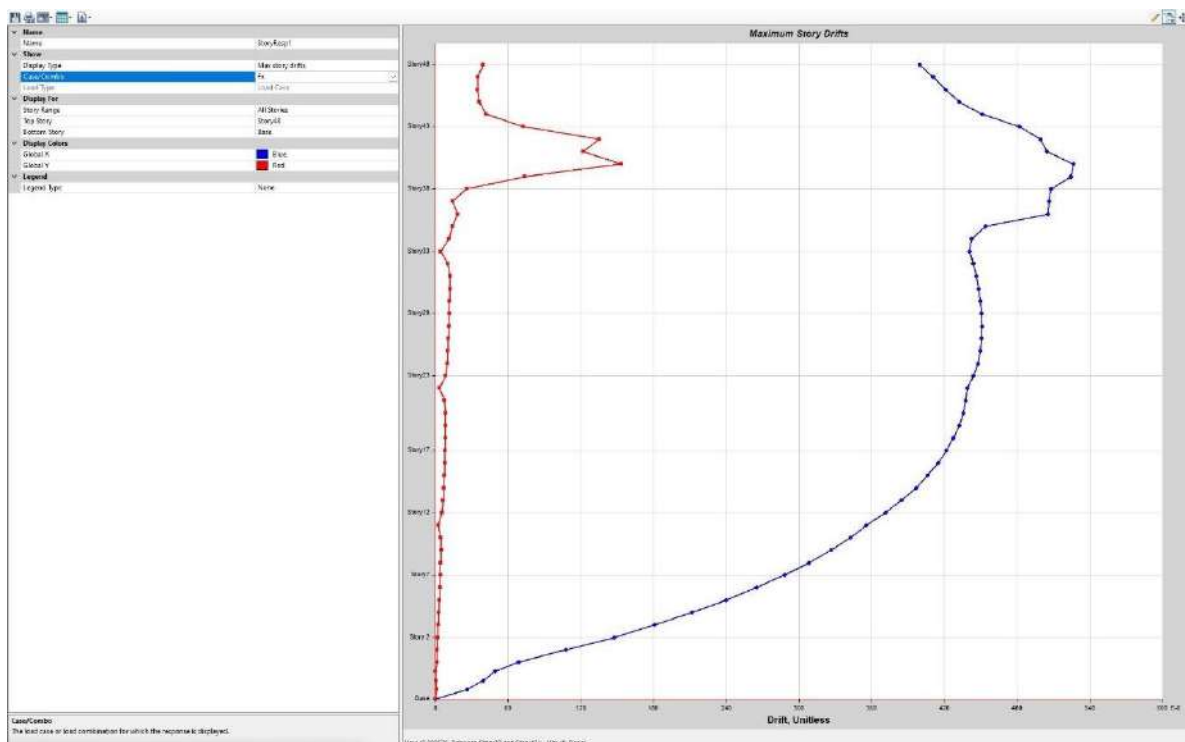
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη σχετική μετατόπιση του κτιρίου λόγω σεισμού με διεύθυνση Y είναι περίπου $2,50 \cdot 10^{-3}$.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετακινήσεις του κτιρίου λόγω του ανέμου:



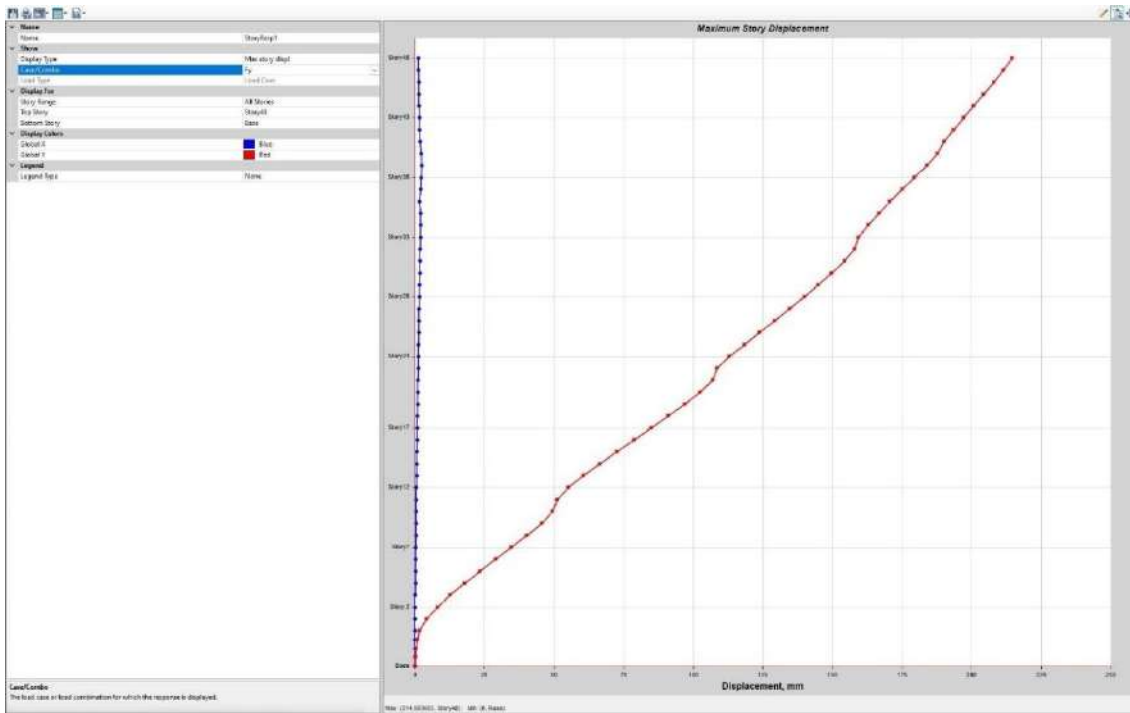
Σχήμα 3.11 Μέγιστη μετακίνηση λόγω ανέμου στη διεύθυνση X.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου για άνεμο με διεύθυνση X είναι περίπου 16 cm.



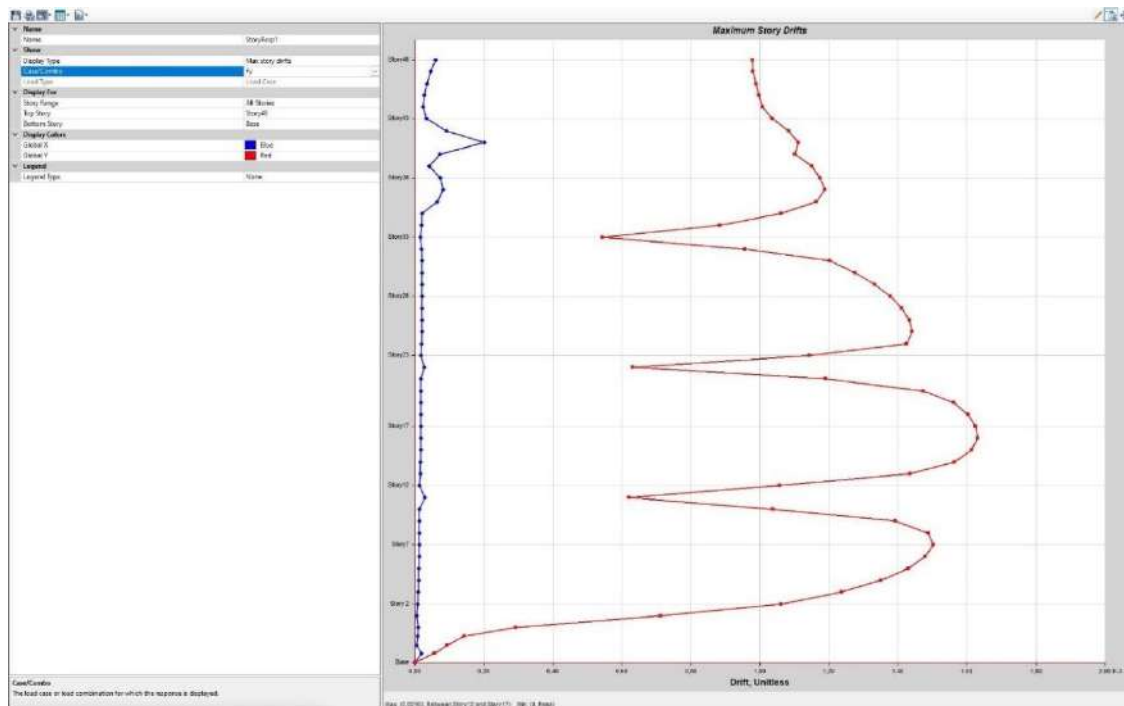
Σχήμα 3.12 Σχετικές μετακινήσεις ορόφων λόγω ανέμου στη διεύθυνση X.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη σχετική μετατόπιση του κτιρίου για άνεμο με διεύθυνση X είναι περίπου $1,54 \cdot 10^{-3}$.



Σχήμα 3.13 Μέγιστη μετακίνηση λόγω ανέμου στη διεύθυνση Y.

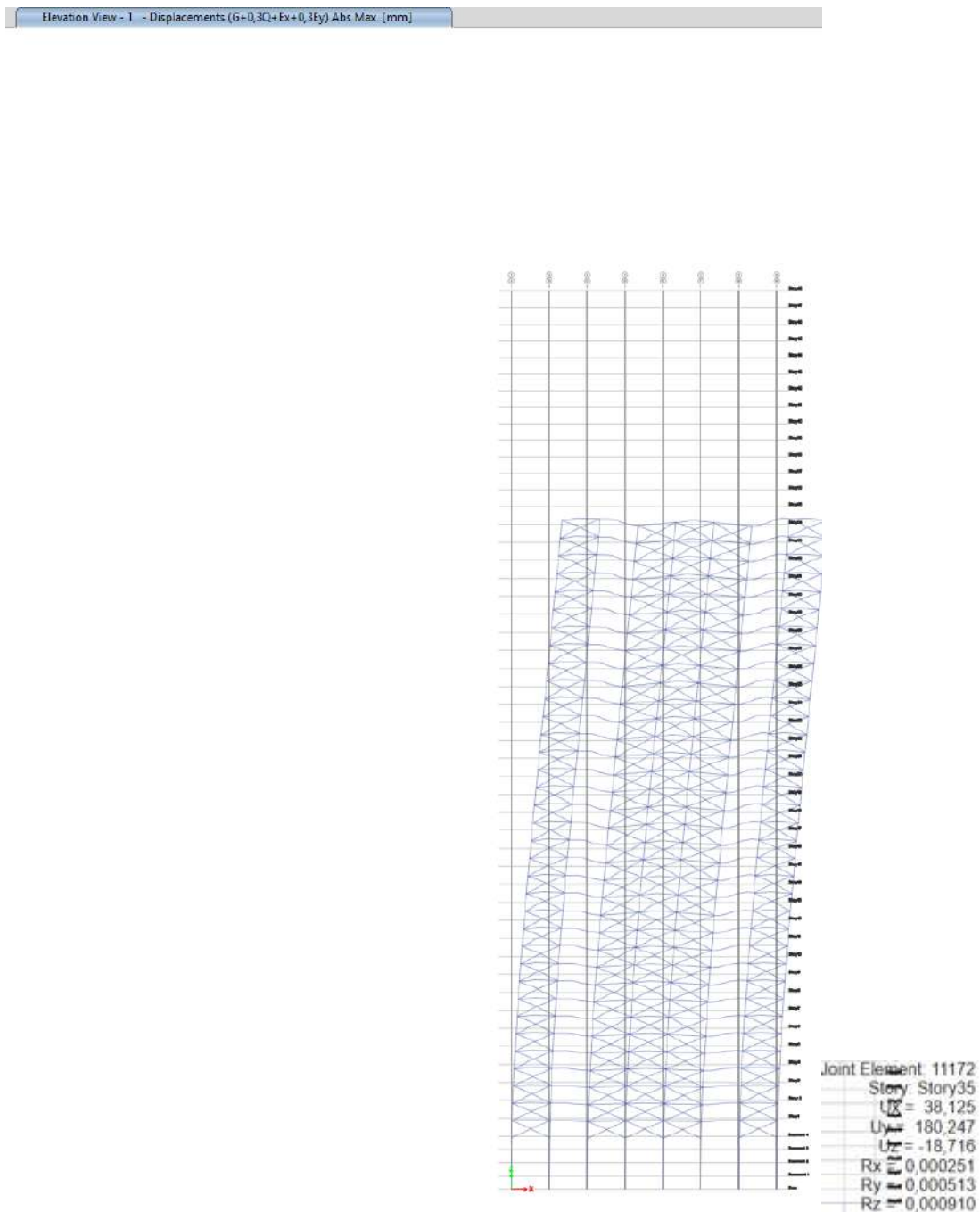
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη μετακίνηση του κτιρίου για άνεμο με διεύθυνση Y είναι περίπου 22,5 cm.



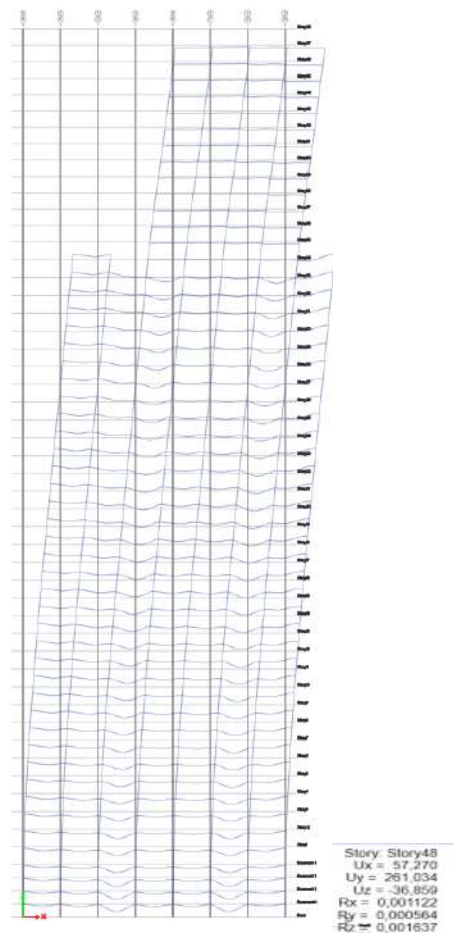
Σχήμα 3.14 Σχετικές μετακινήσεις ορόφων λόγω ανέμου στη διεύθυνση Y.

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη σχετική μετατόπιση του κτιρίου για άνεμο με διεύθυνση Y είναι περίπου $1,60 \cdot 10^{-3}$.

Παρακάτω παρουσιάζονται σχηματικά οι μετακινήσεις σε κάποιες τομές του κτιρίου και στις δύο διευθύνσεις για τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης.



Σχήμα 3.15 Μετακινήσεις στην τομή 1 για G+0.3Q+Ex+0.3Ey.



Σχήμα 3.16 Μετακινήσεις στην τομή 2 για $G+0.3Q+Ex+0.3Ey$.

3.3 Σεισμός κατά τη Διεύθυνση X

Στα πλαίσια αυτά γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι για συνδυασμούς φόρτισης που λαμβάνουν υπ' όψη τα κατακόρυφα αλλά και τα σεισμικά φορτία με βάση τη σχέση: $1,00 \cdot G + 0,30 \cdot Q \pm 1,00 \cdot Ex \pm 0,30 \cdot Ey$ με ύψος ορόφου 3,8m.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα .

Πίνακας 3.1 Στοιχεία ανάλυσης για σεισμό στη διεύθυνση X.

Μετακίνηση (m)	Όροφος	Σχετική μετακίνηση -drifts (m)	Συνολική δύναμη τέμνουσας (kN)	Συνολικό φορτίο βαρύτητας (kN)	Συντελεστής θ (φαινόμενα 2ας τάξης)-P DELTA
0,178	48	0,000	2700,01	2110,45	0,000
0,175	47	0,003	4821,99	4715,33	0,005
0,172	46	0,002	6120,76	7156,47	0.003
0,170	45	0,002	6857,94	9254,48	0.003
0,168	44	0,003	7239,13	11258,58	0.005
0,164	43	0,002	7391,21	13462.98	0.003
0,161	42	0,002	7503,89	15255.67	0.003
0,158	41	0,003	7838,82	18547.22	0.005
0,155	40	0,001	8433,60	20487.59	0.002
0,153	39	0,002	9182,34	22387.56	0.004
0,150	38	0,002	9900,88	24516,87	0.004
0,148	37	0,002	10554,49	27115,44	0.004
0,145	36	0,001	11031,68	29111,13	0.015
0,143	35	0,001	12498,79	37589,45	0.011
0.140	34	0,002	15284,31	40478,58	0.007
0.138	33	0,001	18155,22	43154,87	0.003
0.135	32	0,001	20237,66	46595,95	0.002
0.133	31	0,001	21423,39	49954,12	0.004
0.130	30	0,002	22176,09	52132,32	0.003
0.127	29	0,003	22708,59	55442,42	0.002
0.124	28	0,002	23192,60	58972,22	0.030
0.121	27	0,002	23765,41	61145,45	0.020
0.118	26	0,003	24511,01	63354,54	0.007
0.115	25	0,005	25432,06	66547,47	0.013

0.112	24	0,004	26472,52	69555,26	0.009
0.109	23	0,003	27572,27	72158,58	0.009
0.105	22	0,002	28882,59	76699,95	0.002
0.102	21	0,003	30235,23	79861,12	0.001
0.099	20	0,004	31326,89	82365,65	0.003
0.095	19	0,005	32176,55	86400,14	0.002
0.095	18	0,002	32766,32	89957,57	0.027
0.093	17	0,003	33148,08	100545,92	0.021
0.090	16	0,004	33413,32	109278,78	0.020
0.085	15	0,002	33646,98	128854,89	0.014
0.079	14	0,003	33892,72	157545,86	0.017
0.074	13	0,007	34154,48	175254,32	0.023
0.067	12	0,008	34430,75	185699,94	0.010
0.062	11	0,007	34833,31	196687,87	0.012
0.057	10	0,008	35435,99	200445,21	0.015
0.052	9	0,008	36161,79	222458,58	0.017
0.045	8	0,008	37069,79	247471,71	0.017
0.040	7	0,008	38164,25	253531,31	0.017
0.032	6	0,007	39439,16	264321,81	0.018
0.025	5	0,007	40875,53	275754,54	0.019
0.019	4	0,005	42424,95	286186,86	0.016
0.01	3	0,005	44009,25	295564,64	0.016
0.005	2	0,004	45546,48	305117,17	0.012
0.001	1	0,004	46965,05	315565,65	0.010

Ορίζεται συντελεστής $\theta = (P_{tot} * d_r) / (V_{tot} * h)$

όπου: $P_{tot} \Rightarrow$ Συνολικό Φορτίο Βαρύτητας Ορόφου

$d_r \Rightarrow$ Τιμή Σχεδιασμού Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου

$V_{tot} \Rightarrow$ Συνολική Τέμνουσα Ορόφου

$h \Rightarrow$ Ύψος Ορόφου

Σημείωση: Επειδή έχουμε $\theta < 0.1$ τα φαινόμενα 2ας τάξης αγνοούνται.

Τελικά προκύπτει ότι για το Σεισμό κατά Χ ισχύει:

-Μέγιστη μετακίνηση στη κορυφή 17,8 cm

-Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφου: 0,8 cm

-Έλεγχος: $0.5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ cm} < 0.0075 \cdot h = 0.0075 \cdot 380 = 2,850 \text{ cm}$

Άρα ο έλεγχος για περιορισμό των μετακινήσεων ικανοποιείται. (με βάση τους Ευρωκώδικες)

Στην κατασκευή και στον σχεδιασμό πολυώροφων κτιρίων (ουρανοξυστών), τα φαινόμενα δεύτερης τάξης (ή δευτεροταγή φαινόμενα) είναι σημαντικά και αναφέρονται κυρίως στις δευτεροταγείς επιδράσεις λόγω της μη γραμμικότητας των κατασκευών όταν αυτές υποβάλλονται σε φόρτιση. Οι επιδράσεις αυτές επηρεάζονται από τον συντελεστή θ . Ας εξετάσουμε τις έννοιες αυτές πιο αναλυτικά:

Φαινόμενα Δεύτερης Τάξης

Τα φαινόμενα δεύτερης τάξης προκύπτουν όταν οι εκτροπές του δομικού συστήματος υπό φόρτιση είναι τέτοιες που οι επιδράσεις τους δεν μπορούν να παραβλεφθούν. Αυτά περιλαμβάνουν κυρίως τις δευτεροταγείς κάμψεις και τις αυξήσεις στις δυνάμεις των δομικών στοιχείων λόγω των μετακινήσεων.

Παραδείγματα φαινομένων δεύτερης τάξης:

1. **P-Δ επιδράσεις:** Οι δυνάμεις P που επιδρούν σε έναν ουρανοξύστη δημιουργούν δευτερογενείς ροπές λόγω των κατακόρυφων μετακινήσεων (Δ). Αυτές οι ροπές προκαλούν επιπλέον κάμψεις στα δομικά στοιχεία, που δεν προβλέπονται από τις γραμμικές θεωρίες.
2. **Ευαισθησία στις Καταρρεύσεις:** Οι δομές μπορεί να καταστούν ευαίσθητες σε φαινόμενα καταρρεύσεων λόγω των μη γραμμικών επιδράσεων και της μείωσης της κρίσιμης φόρτισης λόγω μεγάλης εκτροπής.

Συντελεστής θ

Ο συντελεστής θ χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει τα φαινόμενα δεύτερης τάξης. Συχνά αναφέρεται ως "συντελεστής ευκαμψίας" ή "συντελεστής δευτεροταγών επιδράσεων".

Ορισμός και Υπολογισμός

Ο συντελεστής θ μπορεί να υπολογιστεί όπως και παραπάνω ως: $\theta = (P_{\text{tot}} \cdot d_r) / (V_{\text{tot}} \cdot h)$ όπου:

- P_{tot} : είναι η αξονική δύναμη στη δομή – συνολικό φορτίο βαρύτητας ορόφου
- d_r : είναι η εκτροπή της κορυφής της δομής – τιμή σχεδιασμού σχετικής μετακίνησης ορόφου
- V_{tot} : είναι η διάτμηση στη βάση της δομής – συνολική τέμνουσα ορόφου
- h : είναι το ύψος της δομής – ύψος ορόφου.

Χρήση του συντελεστή θ

- **Κριτήριο Σταθερότητας:** Αν ο συντελεστής θ ξεπερνά κάποια κρίσιμη τιμή (π.χ., 0.1), τότε οι δευτεροταγείς επιδράσεις δεν μπορούν να παραβλεφθούν και πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό.

- **Ανασχεδιασμός Δομής:** Αν η τιμή του θ είναι μεγάλη, μπορεί να απαιτείται ανασχεδιασμός της δομής με αύξηση της ακαμψίας ή της σταθερότητας για τη μείωση των δευτεροταγών επιδράσεων.

Συμπεράσματα

Οι δευτεροταγείς επιδράσεις και ο συντελεστής θ είναι κρίσιμες παράμετροι στον σχεδιασμό ουρανοξυστών, ειδικά σε σεισμογενείς περιοχές όπως η Ελλάδα. Στην περίπτωση του κτιρίου που μελετάμε όμως προκύπτουν πολύ μικροί συντελεστές θ με αποτελέσματα να αγνοούνται από τους υπολογισμούς τα φαινόμενα 2ας τάξης. Είναι πιθανό σε ουρανοξύστη να προκύψει $\theta < 0,1$ όταν το κτίριο έχει πολύ μεγάλη ακαμψία όπως συμβαίνει στο κτίριο που εξετάζουμε. Επιπρόσθετα, άλλος ένας παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε μικρό θ είναι οι μικρές μετακινήσεις και οι σχετικά μικρές αξονικές δυνάμεις του κτιρίου.

3.4 Σεισμός κατά τη Διεύθυνση Y

Πίνακας 3.2 Στοιχεία ανάλυσης για σεισμό στη διεύθυνση Y.

Μετακίνηση (m)	Όροφος	Σχετική μετακίνηση -drifts (m)	Συνολική τέμνουσα δύναμη (kN)	Συνολικό φορτίοβαρύτητας (kN)	Συντελεστής θ (φαινόμενα 2ας τάξης)
0.261	48	0,000	1338,79	2110,45	0,000
0.259	47	0,003	2496,86	4715,33	0,005
0.257	46	0,002	3360,63	7156,47	0.003
0.255	45	0,002	4007,37	9254,48	0.003
0.252	44	0,003	4503,98	11258,58	0.005
0.249	43	0,002	4938,46	13462.98	0.003
0.244	42	0,002	5423,67	15255.67	0.003
0.242	41	0,003	5987,78	18547.22	0.005
0.239	40	0,01	6620,72	20487.59	0.002
0.237	39	0,002	7240,08	22387.56	0.004
0.231	38	0,002	7772,86	24516,87	0.004
0.200	37	0,002	8244,27	27115,44	0.004
0.198	36	0,001	8652,15	29111,13	0.015
0.194	35	0,001	10036,44	37589,45	0.011
0.191	34	0,002	11771,66	40478,58	0.007
0.185	33	0,001	13521,50	43154,87	0.003
0.181	32	0,001	15463,80	46595,95	0.002

0.176	31	0,001	16663,84	49954,12	0.004
0.171	30	0,002	17781,29	52132,32	0.003
0.165	29	0,003	18988,07	55442,42	0.002
0.161	28	0,002	20157,53	58972,22	0.030
0.155	27	0,002	21296,19	61145,45	0.020
0.149	26	0,003	22455,46	63354,54	0.007
0.142	25	0,005	23676,69	66547,47	0.013
0.139	24	0,004	24842,60	69555,26	0.009
0.135	23	0,003	25879,01	72158,58	0.009
0.131	22	0,002	26901,97	76699,95	0.0013
0.129	21	0,003	28152,58	79861,12	0.001
0.124	20	0,004	29058,22	82365,65	0.003
0.118	19	0,005	29985,14	86400,14	0.002
0.111	18	0,002	30927,19	89957,57	0.027
0.105	17	0,003	31765,26	100545,92	0.021
0.101	16	0,004	32609,09	109278,78	0.020
0.098	15	0,002	33479,57	128854,89	0.014
0.091	14	0,003	34277,48	157545,86	0.017
0.088	13	0,007	34999,50	175254,32	0.023
0.085	12	0,008	35711,95	185699,94	0.010
0.079	11	0,007	36554,27	196687,87	0.012
0.071	10	0,008	37554,11	200445,21	0.015
0.057	9	0,008	37950,57	222458,58	0.017
0.049	8	0,008	38325,69	247471,71	0.017
0.04	7	0,008	38833,76	253531,31	0.017
0.03	6	0,007	39142,15	264321,81	0.018
0.024	5	0,007	39431,81	275754,54	0.019
0.018	4	0,005	39853,13	286186,86	0.016

0.01	3	0,005	40253,84	295564,64	0.016
0.005	2	0,004	40629,49	305117,17	0.012
0.001	1	0,004	41030,52	315565,65	0.010

Ορίζεται συντελεστής $\theta = (P_{tot} * d_r) / (V_{tot} * h)$ όπου:

P_{tot} => Συνολικό Φορτίο Βαρύτητας Ορόφου

d_r => Τιμή Σχεδιασμού Σχετικής Μετακίνησης Ορόφου

V_{tot} => Συνολική Τέμνουσα Ορόφου

h => Ύψος Ορόφου

Σημείωση: Επειδή έχουμε $\theta < 0.1$ τα φαινόμενα 2ας τάξης αγνοούνται.

Τελικά προκύπτει ότι για Σεισμός κατά Υ ισχύει:

-Μέγιστη μετακίνηση στη κορυφή 26,1 cm.

-Μέγιστη σχετική μετακίνηση ορόφου: 1 cm.

-Έλεγχος: $0.5 * 1 = 0.5 \text{ cm} < 0.0075 * h = 0.0075 * 350 = 2,850 \text{ cm}$.

Άρα ο έλεγχος για περιορισμό των μετακινήσεων ικανοποιείται (με βάση τους Ευρωκώδικες).

Πίνακας 3.3 Ιδιοπερίοδοι κτιρίου.

TABLE: Modal Periods And Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	5,13	0,195	1,2248	1,5001
Modal	2	3,421	0,292	1,8366	3,3731
Modal	3	2,447	0,409	2,5674	6,5916
Modal	4	1,655	0,604	3,7961	14,4102
Modal	5	1,161	0,861	5,4099	29,2667
Modal	6	0,98	1,021	6,412	41,1143
Modal	7	0,862	1,16	7,2904	53,1498
Modal	8	0,683	1,465	9,2035	84,7043
Modal	9	0,649	1,541	9,6827	93,7538
Modal	10	0,538	1,858	11,6717	136,2295
Modal	11	0,394	2,541	15,964	254,8488
Modal	12	0,374	2,674	16,8024	282,319
Modal	13	0,358	2,79	17,5306	307,3205
Modal	14	0,322	3,107	19,5195	381,0109
Modal	15	0,26	3,841	24,1346	582,4797
Modal	16	0,258	3,883	24,3973	595,2275
Modal	17	0,244	4,102	25,7728	664,2383
Modal	18	0,212	4,718	29,642	878,6488
Modal	19	0,207	4,827	30,3303	919,9258
Modal	20	0,191	5,238	32,9138	1083,3175
Modal	21	0,181	5,536	34,7851	1210,0065
Modal	22	0,166	6,01	37,7598	1425,805
Modal	23	0,163	6,127	38,4991	1482,1801
Modal	24	0,152	6,597	41,4493	1718,0434
Modal	25	0,147	6,806	42,7647	1828,821
Modal	26	0,133	7,509	47,1791	2225,8682
Modal	27	0,13	7,679	48,2459	2327,6703
Modal	28	0,124	8,061	50,6514	2565,562
Modal	29	0,117	8,537	53,6376	2876,9872
Modal	30	0,113	8,817	55,3991	3069,056
Modal	31	0,112	8,902	55,936	3128,834
Modal	32	0,106	9,404	59,0889	3491,5007
Modal	33	0,104	9,662	60,7058	3685,196
Modal	34	0,101	9,91	62,2642	3876,8365
Modal	35	0,094	10,639	66,8457	4468,3422
Modal	36	0,092	10,855	68,2067	4652,1574
Modal	37	0,091	10,99	69,0519	4768,1672
Modal	38	0,087	11,441	71,8874	5167,8037
Modal	39	0,085	11,737	73,7472	5438,6449
Modal	40	0,082	12,188	76,5823	5864,8493
Modal	41	0,081	12,302	77,2961	5974,6862
Modal	42	0,08	12,441	78,168	6110,2431

Modal	43	0,075	13,312	83,6398	6995,6103
Modal	44	0,074	13,465	84,6042	7157,8769
Modal	45	0,074	13,577	85,3099	7277,7857
Modal	46	0,069	14,418	90,5928	8207,0545
Modal	47	0,069	14,507	91,1522	8308,7206
Modal	48	0,068	14,639	91,9825	8460,7722
Modal	49	0,065	15,333	96,3381	9281,0212
Modal	50	0,065	15,464	97,1661	9441,2554

Πίνακας 3.4 Διατμητικές δυνάμεις ανά όροφο στις διευθύνσεις X και Y και δυσκαμψίες.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Shear X	Drift X	Stiff X	Shear Y	Drift Y	Stiff Y
					kN	mm	kN/m	kN	mm	kN/m
Story48	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,327	0	644,8161	8,021	80388,67
Story47	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,254	0	1387,3237	8,2	169191,682
Story46	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,235	0	2114,9668	8,326	254033,675
Story45	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,214	0	2813,7156	8,444	333210,834
Story44	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,194	0	3497,8913	8,579	407735,528
Story43	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,207	0	4167,5537	8,749	476347,019
Story42	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,518	0	4826,774	8,684	555847,514
Story41	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	1,173	0	5508,8522	7,134	772225,919
Story40	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,419	0	6175,4101	9,039	683220,559
Story39	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,131	0	6790,6309	9,582	708710,635
Story38	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,184	0	7387,367	9,623	767686,587
Story37	Qy	LinStatic	Step By Step	1	5,808E-07	0,214	0	7969,5299	9,767	815997,739
Story36	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,207	0	8537,1337	9,896	862691,888
Story35	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,129	0	9949,7647	9,747	1020792,169
Story34	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0	0,107	0	11508,5397	9,138	1259468,004
Story33	Qy	LinStatic	Step By Step	1	5,756E-07	0,061	0	13041,8852	7,066	1845687,851
Story32	Qy	LinStatic	Step By Step	1	6,517E-07	0,105	0	14532,5757	9,747	1490970,181

Story31	Qy	LinStatic	Step By Step	1	6,802E-07	0,135	0	15964,7827	10,958	1456910,952
Story30	Qy	LinStatic	Step By Step	1	7,084E-07	0,137	0	17354,8009	11,344	1529923,831
Story29	Qy	LinStatic	Step By Step	1	7,414E-07	0,14	0	18702,6327	11,721	1595599,093
Story28	Qy	LinStatic	Step By Step	1	7,749E-07	0,143	0	20008,2688	12,06	1659015,421
Story27	Qy	LinStatic	Step By Step	1	7,646E-07	0,145	0	21273,1012	12,338	1724201,08
Story26	Qy	LinStatic	Step By Step	1	7,895E-07	0,146	0	22494,3653	12,549	1792488,422
Story25	Qy	LinStatic	Step By Step	1	8,139E-07	0,146	0	23673,4375	12,712	1862299,659
Story24	Qy	LinStatic	Step By Step	1	8,348E-07	0,148	0	24810,3186	12,856	1929894,423
Story23	Qy	LinStatic	Step By Step	1	8,542E-07	0,113	0	25905,0145	11,826	2190451,321
Story22	Qy	LinStatic	Step By Step	1	8,995E-07	0,081	0	26969,1524	8,725	3090887,506
Story21	Qy	LinStatic	Step By Step	1	9,432E-07	0,115	0	27990,6333	12,188	2296507,169
Story20	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000000958	0,154	0	28958,7629	13,57	2134034,424
Story19	Qy	LinStatic	Step By Step	1	9,728E-07	0,155	0	29884,7038	13,76	2171795,414
Story18	Qy	LinStatic	Step By Step	1	9,873E-07	0,157	0	30768,4543	13,905	2212735,058
Story17	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001002	0,159	0	31610,0186	13,965	2263494,711
Story16	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001015	0,16	0	32409,3882	13,913	2329457,749
Story15	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001028	0,159	0	33166,5712	13,745	2413039,714
Story14	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001038	0,158	0	33881,5652	13,469	2515591,057
Story13	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001049	0,151	0	34560,1814	13,04	2650288,844
Story12	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001056	0,107	0	35201,8301	11,554	3046732,048
Story11	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001075	0,068	0	35807,0549	8,569	4178515,713
Story10	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001089	0,104	0	36368,8852	10,997	3307226,217
Story9	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001091	0,147	0	36881,753	11,928	3092125,82
Story8	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001094	0,15	0	37351,6932	11,681	3197592,721
Story7	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001095	0,149	0	37778,7068	11,263	3354365,277
Story6	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001096	0,144	0	38162,7924	10,732	3556137,368
Story5	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001098	0,137	0	38503,9497	10,05	3831240,005

Story4	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001098	0,128	0	38808,1364	9,24	4200131,645
Story3	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001099	0,119	0	39073,725	8,352	4678463,519
Story 2	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001101	0,095	0	39295,0638	7,192	5463381,625
Story1	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001102	0,059	0	39471,6552	4,818	8192592,101
Basement 4	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001101	0,029	0	39614,9448	1,076	36814685,74
Basement 3	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,0000011	0,021	0	39751,5355	0,554	71799816,72
Basement 2	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,000001101	0,018	0	39846,9896	0,386	103296671
Basement 1	Qy	LinStatic	Step By Step	1	0,0000011	0,062	0	39894,8528	0,186	214401208
Story48	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,283	0	644,8161	8,015	80456,093
Story47	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,202	0	1387,3237	8,197	169246,185
Story46	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,174	0	2114,9668	8,328	253946,544
Story45	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,145	0	2813,7156	8,452	332896,693
Story44	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,118	0	3497,8913	8,592	407122,774
Story43	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,129	0	4167,5537	8,767	475356,005
Story42	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,441	0	4826,774	8,692	555314,728
Story41	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	1,112	0	5508,8522	7,095	776494,115
Story40	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,324	0	6175,4101	9,056	681933,932
Story39	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,22	0	6790,6309	9,624	705601,642
Story38	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0	0,306	0	7387,367	9,671	763828,754
Story37	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000002184	0,346	0	7969,5299	9,818	811713,259
Story36	Qy	LinStatic	Step By Step	2	8,708E-07	0,309	0	8537,1337	9,94	858849,666
Story35	Qy	LinStatic	Step By Step	2	8,239E-07	0,232	0	9949,7647	9,731	1022499,722
Story34	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000000868	0,19	0	11508,5397	9,122	1261615,278
Story33	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001005	0,099	0	13041,8852	7,006	1861543,654
Story32	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001129	0,207	0	14532,5757	9,734	1492994,675
Story31	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001155	0,26	0	15964,7827	10,945	1458702,256
Story30	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001183	0,27	0	17354,801	11,331	1531631,057

Story29	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001214	0,281	0	18702,6328	11,71	1597199,279
Story28	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,00000125	0,29	0	20008,2689	12,049	1660506,42
Story27	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001189	0,298	0	21273,1013	12,328	1725596,532
Story26	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001212	0,305	0	22494,3654	12,54	1793802,686
Story25	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001237	0,31	0	23673,4376	12,704	1863526,25
Story24	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001257	0,316	0	24810,3187	12,848	1931002,428
Story23	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001276	0,26	0	25905,0146	11,82	2191663,088
Story22	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001358	0,133	0	26969,1526	8,642	3120714,76
Story21	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001438	0,273	0	27990,6335	12,183	2297464,881
Story20	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001452	0,343	0	28958,7631	13,565	2134736,425
Story19	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,00000147	0,349	0	29884,704	13,756	2172426,547
Story18	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001486	0,356	0	30768,4545	13,902	2213272,14
Story17	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001505	0,361	0	31610,0187	13,962	2263935,74
Story16	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001518	0,365	0	32409,3884	13,911	2329819,915
Story15	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001532	0,365	0	33166,5713	13,743	2413336,348
Story14	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001544	0,364	0	33881,5654	13,467	2515808,753
Story13	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001559	0,353	0	34560,1815	13,039	2650477,903
Story12	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001565	0,278	0	35201,8303	11,553	3047043,88
Story11	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001602	0,165	0	35807,055	8,475	4225141,052
Story10	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001631	0,272	0	36368,8854	10,997	3307309,215
Story9	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001628	0,344	0	36881,7531	11,929	3091896,832
Story8	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001627	0,347	0	37351,6934	11,683	3197189,768
Story7	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001628	0,343	0	37778,7069	11,264	3353794,109
Story6	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001626	0,333	0	38162,7925	10,734	3555380,176
Story5	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001626	0,318	0	38503,9498	10,052	3830333,236
Story4	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001625	0,301	0	38808,1366	9,242	4199115,261
Story3	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001625	0,281	0	39073,7252	8,354	4677335,829

Story 2	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001631	0,239	0	39295,064	7,193	5462897,194
Story1	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001631	0,159	0	39471,6554	4,882	8085593,718
Basement 4	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,00000163	0,034	0	39614,945	1,072	36970901,54
Basement 3	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001629	0,021	0	39751,5357	0,55	72319038,13
Basement 2	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,00000163	0,019	0	39846,9898	0,39	102153525
Basement 1	Qy	LinStatic	Step By Step	2	0,000001629	0,063	0	39894,8531	0,191	208811045
Story48	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,371	0	644,8161	8,028	80321,867
Story47	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,305	0	1387,3237	8,202	169138,942
Story46	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,289	0	2114,9668	8,323	254120,865
Story45	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,283	0	2813,7156	8,436	333525,83
Story44	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,282	0	3497,8913	8,566	408350,13
Story43	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,295	0	4167,5537	8,731	477342,175
Story42	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,596	0	4826,774	8,675	556381,323
Story41	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	1,234	0	5508,8522	7,173	768004,39
Story40	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,514	0	6175,4101	9,022	684512,05
Story39	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,141	0	6790,6309	9,431	720045,071
Story38	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,115	0	7387,367	9,574	771582,463
Story37	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,101	0	7969,5299	9,715	820327,686
Story36	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,101	0	8537,1337	9,852	866560,967
Story35	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,045	0	9949,7647	9,725	1023073,249
Story34	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,034	0	11508,5397	9,084	1266844,135
Story33	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,087	0	13041,8852	7,118	1832170,131
Story32	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,027	0	14532,5757	9,677	1501706,467
Story31	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,035	0	15964,7827	10,893	1465649,808
Story30	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,023	0	17354,8009	11,344	1529914,377
Story29	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,019	0	18702,6327	11,729	1594497,327
Story28	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,017	0	20008,2688	12,071	1657527,097

Story27	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,016	0	21273,1011	12,348	1722807,883
Story26	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,019	0	22494,3652	12,558	1791176,083
Story25	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,022	0	23673,4374	12,714	1862005,644
Story24	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,027	0	24810,3184	12,756	1944950,964
Story23	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,028	0	25905,0143	11,728	2208823,957
Story22	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,096	0	26969,1523	8,741	3085497,816
Story21	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,032	0	27990,6332	12,096	2314098,855
Story20	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,034	0	28958,7627	13,482	2147974,588
Story19	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,038	0	29884,7036	13,764	2171164,648
Story18	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0	0,039	0	30768,4541	13,909	2212198,237
Story17	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0,000000501	0,043	0	31610,0185	13,968	2263053,854
Story16	Qy	LinStatic	Step By Step	3	0,000000512	0,044	0	32409,3881	13,915	2329095,695
Story15	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,228E-07	0,042	0	33166,571	13,746	2412743,153
Story14	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,315E-07	0,045	0	33881,565	13,47	2515373,399
Story13	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,381E-07	0,048	0	34560,1812	12,965	2665570,189
Story12	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,463E-07	0,05	0	35201,83	11,493	3062783,546
Story11	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,476E-07	0,084	0	35807,0547	8,594	4166447,115
Story10	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,482E-07	0,05	0	36368,8851	10,933	3326440,291
Story9	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,543E-07	0,049	0	36881,7528	11,851	3112190,05
Story8	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,595E-07	0,041	0	37351,6931	11,68	3197995,775
Story7	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,638E-07	0,044	0	37778,7067	11,261	3354936,639
Story6	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,669E-07	0,043	0	38162,7923	10,729	3556894,883
Story5	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,694E-07	0,043	0	38503,9496	10,048	3832147,204
Story4	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,714E-07	0,042	0	38808,1363	9,238	4201148,52
Story3	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,729E-07	0,04	0	39073,7249	8,35	4679591,754
Story 2	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,723E-07	0,05	0	39295,0635	7,118	5520539,15
Story1	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,725E-07	0,047	0	39471,6549	4,826	8178385,874

Basement 4	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,717E-07	0,029	0	39614,9445	1,078	36731959,82
Basement 3	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,718E-07	0,022	0	39751,5352	0,554	71810612,44
Basement 2	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,713E-07	0,017	0	39846,9894	0,384	103784069
Basement 1	Qy	LinStatic	Step By Step	3	5,718E-07	0,062	0	39894,8526	0,185	215375991
Story48	Qx	LinStatic	Step By Step	1	644,8161	3,334	193426,735	0	0,525	0
Story47	Qx	LinStatic	Step By Step	1	1387,3241	3,17	437576,329	0,0000024	0,676	0
Story46	Qx	LinStatic	Step By Step	1	2114,9663	3,684	574137,673	0,0000107	0,454	0
Story45	Qx	LinStatic	Step By Step	1	2813,7151	3,946	713040,686	0,000009337	0,316	0
Story44	Qx	LinStatic	Step By Step	1	3497,8906	4,137	845570,412	0,000009442	0,298	0
Story43	Qx	LinStatic	Step By Step	1	4167,5529	4,315	965824,458	0,000007169	0,482	0
Story42	Qx	LinStatic	Step By Step	1	4826,7729	4,233	1140198,619	0,000007959	0,849	0
Story41	Qx	LinStatic	Step By Step	1	5508,8511	4,341	1268929,443	0,000006155	0,557	0
Story40	Qx	LinStatic	Step By Step	1	6175,4089	4,537	1361146,464	0,000004879	0,909	0
Story39	Qx	LinStatic	Step By Step	1	6790,6295	5,046	1345648,084	0,000005503	0,433	0
Story38	Qx	LinStatic	Step By Step	1	7387,3655	5,23	1412463,434	0,000005502	0,191	0
Story37	Qx	LinStatic	Step By Step	1	7969,5284	5,372	1483605,634	0,000005552	0,156	0
Story36	Qx	LinStatic	Step By Step	1	8537,132	5,429	1572385,382	0,0000061	0,098	0
Story35	Qx	LinStatic	Step By Step	1	9949,7629	5,026	1979530,66	0,000006325	0,076	0
Story34	Qx	LinStatic	Step By Step	1	11508,5387	5,048	2279871,355	0,000004923	0,066	0
Story33	Qx	LinStatic	Step By Step	1	13041,8845	5,11	2552081,271	0,000004486	0,042	0
Story32	Qx	LinStatic	Step By Step	1	14532,5751	5,182	2804434,438	0,00000441	0,054	0
Story31	Qx	LinStatic	Step By Step	1	15964,7836	5,258	3036172,414	0,000002121	0,055	0
Story30	Qx	LinStatic	Step By Step	1	17354,8031	5,335	3252802,772	0	0,051	0
Story29	Qx	LinStatic	Step By Step	1	18702,6335	5,411	3456609,247	0,000002134	0,047	0
Story28	Qx	LinStatic	Step By Step	1	20008,2748	5,483	3649405,473	0,000004099	0,043	0
Story27	Qx	LinStatic	Step By Step	1	21273,1108	5,55	3833005,578	0,000008121	0,04	0
Story26	Qx	LinStatic	Step By Step	1	22494,3739	5,611	4008711,689	0,000007158	0,036	0

Story25	Qx	LinStatic	Step By Step	1	23673,4479	5,666	4178495,101	0,000008885	0,033	0
Story24	Qx	LinStatic	Step By Step	1	24810,3329	5,711	4344117,542	0,00001231	0,03	0
Story23	Qx	LinStatic	Step By Step	1	25905,0287	5,748	4507079,374	0,00001219	0,025	0
Story22	Qx	LinStatic	Step By Step	1	26969,1662	5,776	4668942,481	0,00001167	0,016	0
Story21	Qx	LinStatic	Step By Step	1	27990,6484	5,798	4827952,003	0,0000126	0,02	0
Story20	Qx	LinStatic	Step By Step	1	28958,777	5,808	4985734,23	0,00001187	0,02	0
Story19	Qx	LinStatic	Step By Step	1	29884,7165	5,805	5148026,461	0,00001086	0,019	0
Story18	Qx	LinStatic	Step By Step	1	30768,4669	5,787	5317267,232	0,00001086	0,017	0
Story17	Qx	LinStatic	Step By Step	1	31610,0282	5,751	5496046,554	0,000009281	0,016	0
Story16	Qx	LinStatic	Step By Step	1	32409,4004	5,698	5687442,686	0,00001059	0,014	0
Story15	Qx	LinStatic	Step By Step	1	33166,5836	5,626	5895003,481	0,00001066	0,013	0
Story14	Qx	LinStatic	Step By Step	1	33881,5776	5,535	6121769,688	0,00001062	0,011	0
Story13	Qx	LinStatic	Step By Step	1	34560,1936	5,419	6377859,271	0,00001048	0,01	0
Story12	Qx	LinStatic	Step By Step	1	35201,8422	5,305	6635763,699	0,00001044	0,009	0
Story11	Qx	LinStatic	Step By Step	1	35807,066	5,167	6930310,082	0,00001013	0,006	0
Story10	Qx	LinStatic	Step By Step	1	36368,8964	5,008	7261968,493	0,00001017	0,007	0
Story9	Qx	LinStatic	Step By Step	1	36881,7634	4,827	7640618,023	0,000009935	0,007	0
Story8	Qx	LinStatic	Step By Step	1	37351,7033	4,62	8084933,691	0,000009851	0,006	0
Story7	Qx	LinStatic	Step By Step	1	37778,7159	4,385	8615921,252	0,000009601	0,006	0
Story6	Qx	LinStatic	Step By Step	1	38162,8013	4,12	9263678,811	0,000009584	0,005	0
Story5	Qx	LinStatic	Step By Step	1	38503,9595	3,817	10087016,74	0,000009893	0,005	0
Story4	Qx	LinStatic	Step By Step	1	38808,1466	3,482	11145780,35	0,000009928	0,004	0
Story3	Qx	LinStatic	Step By Step	1	39073,7354	3,119	12528909,32	0,00000996	0,004	0
Story 2	Qx	LinStatic	Step By Step	1	39295,0546	2,665	14743874,83	0,000002586	0,003	0
Story1	Qx	LinStatic	Step By Step	1	39471,646	1,998	19755083,69	0,00000259	0,007	0
Basement 4	Qx	LinStatic	Step By Step	1	39614,9356	0,415	95406401,01	0,000002589	0,01	0
Basement 3	Qx	LinStatic	Step By Step	1	39751,5263	0,326	121835435	0,00000259	0,003	0

Basement 2	Qx	LinStatic	Step By Step	1	39846,9805	0,236	168819304	0,00000259	0,003	0
Basement 1	Qx	LinStatic	Step By Step	1	39894,8437	0,116	344608068	0,00000259	0,013	0
Story48	Qx	LinStatic	Step By Step	2	644,8161	3,316	194458,501	0	0,496	0
Story47	Qx	LinStatic	Step By Step	2	1387,3241	3,153	440059,944	0,000001943	0,638	0
Story46	Qx	LinStatic	Step By Step	2	2114,9663	3,667	576793,671	0,000002365	0,404	0
Story45	Qx	LinStatic	Step By Step	2	2813,7151	3,929	716083,314	0,000002818	0,264	0
Story44	Qx	LinStatic	Step By Step	2	3497,8906	4,12	848996,299	0,00000325	0,245	0
Story43	Qx	LinStatic	Step By Step	2	4167,5529	4,297	969837,318	0,000004706	0,399	0
Story42	Qx	LinStatic	Step By Step	2	4826,7729	4,209	1146837,778	0,000005638	0,779	0
Story41	Qx	LinStatic	Step By Step	2	5508,8511	4,319	1275492,62	0,00000719	0,516	0
Story40	Qx	LinStatic	Step By Step	2	6175,4089	4,51	1369297,274	0,00000923	0,818	0
Story39	Qx	LinStatic	Step By Step	2	6790,6295	5,031	1349704,914	0,00001003	0,302	0
Story38	Qx	LinStatic	Step By Step	2	7387,3655	5,219	1415516,334	0,00001103	0,091	0
Story37	Qx	LinStatic	Step By Step	2	7969,5284	5,349	1489875,138	0,00001202	0,08	0
Story36	Qx	LinStatic	Step By Step	2	8537,132	5,406	1579267,422	0,00001102	0,089	0
Story35	Qx	LinStatic	Step By Step	2	9949,7629	4,978	1998607,525	0,000004831	0,114	0
Story34	Qx	LinStatic	Step By Step	2	11508,5387	5,032	2286962,858	0,00001224	0,102	0
Story33	Qx	LinStatic	Step By Step	2	13041,8845	5,107	2553632,176	0,00002019	0,059	0
Story32	Qx	LinStatic	Step By Step	2	14532,5751	5,18	2805255,401	0,00002099	0,113	0
Story31	Qx	LinStatic	Step By Step	2	15964,7836	5,257	3036974,3	0,00003104	0,129	0
Story30	Qx	LinStatic	Step By Step	2	17354,8031	5,334	3253914,357	0,00002574	0,138	0
Story29	Qx	LinStatic	Step By Step	2	18702,6335	5,409	3457860,516	0,00002184	0,141	0
Story28	Qx	LinStatic	Step By Step	2	20008,2748	5,481	3650588,401	0,0001	0,144	0
Story27	Qx	LinStatic	Step By Step	2	21273,1108	5,548	3834124,997	0,0001	0,15	0
Story26	Qx	LinStatic	Step By Step	2	22494,3739	5,61	4009772,204	0,0001	0,156	0
Story25	Qx	LinStatic	Step By Step	2	23673,4479	5,664	4179501,13	0,0001	0,161	0
Story24	Qx	LinStatic	Step By Step	2	24810,3329	5,71	4345073,214	0,0001	0,165	0

Story23	Qx	LinStatic	Step By Step	2	25905,0287	5,746	4507988,659	0,0001	0,146	0
Story22	Qx	LinStatic	Step By Step	2	26969,1662	5,775	4669877,86	0,0001	0,079	0
Story21	Qx	LinStatic	Step By Step	2	27990,6484	5,797	4828778,171	0,0001	0,156	0
Story20	Qx	LinStatic	Step By Step	2	28958,777	5,807	4986522,884	0,0001	0,184	0
Story19	Qx	LinStatic	Step By Step	2	29884,7165	5,804	5148780,971	0,0001	0,19	0
Story18	Qx	LinStatic	Step By Step	2	30768,4669	5,786	5317990,524	0,0001	0,194	0
Story17	Qx	LinStatic	Step By Step	2	31610,0282	5,751	5496741,339	0,0001	0,198	0
Story16	Qx	LinStatic	Step By Step	2	32409,4004	5,698	5688111,48	0,0001	0,2	0
Story15	Qx	LinStatic	Step By Step	2	33166,5836	5,626	5895648,675	0,0001	0,201	0
Story14	Qx	LinStatic	Step By Step	2	33881,5776	5,534	6122392,612	0,0001	0,201	0
Story13	Qx	LinStatic	Step By Step	2	34560,1936	5,418	6378464,875	0,0001	0,197	0
Story12	Qx	LinStatic	Step By Step	2	35201,8422	5,304	6636354,622	0,0001	0,168	0
Story11	Qx	LinStatic	Step By Step	2	35807,066	5,166	6931337,121	0,0001	0,095	0
Story10	Qx	LinStatic	Step By Step	2	36368,8964	5,008	7262534,475	0,0001	0,165	0
Story9	Qx	LinStatic	Step By Step	2	36881,7634	4,827	7641173,722	0,0001	0,192	0
Story8	Qx	LinStatic	Step By Step	2	37351,7033	4,62	8085481,623	0,0001	0,192	0
Story7	Qx	LinStatic	Step By Step	2	37778,7159	4,384	8616463,712	0,0001	0,189	0
Story6	Qx	LinStatic	Step By Step	2	38162,8013	4,119	9264218,206	0,0001	0,184	0
Story5	Qx	LinStatic	Step By Step	2	38503,9595	3,816	10090419,35	0,0001	0,177	0
Story4	Qx	LinStatic	Step By Step	2	38808,1466	3,479	11153773,8	0,0001	0,168	0
Story3	Qx	LinStatic	Step By Step	2	39073,7354	3,128	12489967,49	0,0001	0,157	0
Story 2	Qx	LinStatic	Step By Step	2	39295,0546	2,727	14411980,67	0,0002	0,14	0
Story1	Qx	LinStatic	Step By Step	2	39471,646	2,048	19272743,36	0,0002	0,089	0
Basement 4	Qx	LinStatic	Step By Step	2	39614,9356	0,415	95344512,69	0,0002	0,013	0
Basement 3	Qx	LinStatic	Step By Step	2	39751,5263	0,326	122016634	0,0002	0,004	0
Basement 2	Qx	LinStatic	Step By Step	2	39846,9805	0,239	166785444	0,0002	0,004	0
Basement 1	Qx	LinStatic	Step By Step	2	39894,8437	0,118	338068137	0,0002	0,014	0

Story48	Qx	LinStatic	Step By Step	3	644,8161	3,351	192405,859	0	0,554	0
Story47	Qx	LinStatic	Step By Step	3	1387,3241	3,188	435120,591	0,000002858	0,714	0
Story46	Qx	LinStatic	Step By Step	3	2114,9663	3,701	571506,024	0,00001903	0,504	0
Story45	Qx	LinStatic	Step By Step	3	2813,7151	3,963	710027,097	0,00001586	0,372	0
Story44	Qx	LinStatic	Step By Step	3	3497,8906	4,153	842172,062	0,00001563	0,355	0
Story43	Qx	LinStatic	Step By Step	3	4167,5529	4,333	961844,669	0,000009631	0,564	0
Story42	Qx	LinStatic	Step By Step	3	4826,7729	4,258	1133635,886	0,00001028	0,919	0
Story41	Qx	LinStatic	Step By Step	3	5508,8511	4,364	1262433,463	0,000005121	0,607	0
Story40	Qx	LinStatic	Step By Step	3	6175,4089	4,564	1353092,117	5,281E-07	1	0
Story39	Qx	LinStatic	Step By Step	3	6790,6295	5,062	1341615,567	9,715E-07	0,564	0
Story38	Qx	LinStatic	Step By Step	3	7387,3655	5,241	1409423,674	0	0,277	0
Story37	Qx	LinStatic	Step By Step	3	7969,5284	5,383	1480523,199	9,328E-07	0,228	0
Story36	Qx	LinStatic	Step By Step	3	8537,132	5,457	1564325,707	0,000001177	0,184	0
Story35	Qx	LinStatic	Step By Step	3	9949,7629	4,982	1997049,806	0,000007818	0,143	0
Story34	Qx	LinStatic	Step By Step	3	11508,5387	5,039	2283786,825	0,000002392	0,12	0
Story33	Qx	LinStatic	Step By Step	3	13041,8845	5,113	2550532,248	0,00001122	0,069	0
Story32	Qx	LinStatic	Step By Step	3	14532,5751	5,186	2802298,078	0,00001217	0,125	0
Story31	Qx	LinStatic	Step By Step	3	15964,7836	5,262	3034173,825	0,0000268	0,15	0
Story30	Qx	LinStatic	Step By Step	3	17354,8031	5,338	3251267,092	0,00002537	0,156	0
Story29	Qx	LinStatic	Step By Step	3	18702,6335	5,413	3455358,883	0,00001757	0,156	0
Story28	Qx	LinStatic	Step By Step	3	20008,2748	5,484	3648223,311	0,0001	0,156	0
Story27	Qx	LinStatic	Step By Step	3	21273,1108	5,552	3831886,813	0,0001	0,156	0
Story26	Qx	LinStatic	Step By Step	3	22494,3739	5,613	4007651,734	0,0001	0,156	0
Story25	Qx	LinStatic	Step By Step	3	23673,4479	5,667	4177489,557	0,0001	0,155	0
Story24	Qx	LinStatic	Step By Step	3	24810,3329	5,713	4343162,292	0,0001	0,158	0
Story23	Qx	LinStatic	Step By Step	3	25905,0287	5,749	4506170,455	0,0001	0,14	0
Story22	Qx	LinStatic	Step By Step	3	26969,1662	5,777	4668144,789	0,0001	0,077	0

Story21	Qx	LinStatic	Step By Step	3	27990,6484	5,799	4827126,118	0,0001	0,149	0
Story20	Qx	LinStatic	Step By Step	3	28958,777	5,809	4984945,825	0,0001	0,177	0
Story19	Qx	LinStatic	Step By Step	3	29884,7165	5,806	5147272,172	0,0001	0,183	0
Story18	Qx	LinStatic	Step By Step	3	30768,4669	5,787	5316544,137	0,0001	0,187	0
Story17	Qx	LinStatic	Step By Step	3	31610,0282	5,752	5495351,945	0,0001	0,19	0
Story16	Qx	LinStatic	Step By Step	3	32409,4004	5,699	5686774,048	0,0001	0,192	0
Story15	Qx	LinStatic	Step By Step	3	33166,5836	5,627	5894358,427	0,0001	0,193	0
Story14	Qx	LinStatic	Step By Step	3	33881,5776	5,535	6121146,891	0,0001	0,193	0
Story13	Qx	LinStatic	Step By Step	3	34560,1936	5,419	6377253,781	0,0001	0,188	0
Story12	Qx	LinStatic	Step By Step	3	35201,8422	5,305	6635172,881	0,0001	0,161	0
Story11	Qx	LinStatic	Step By Step	3	35807,066	5,167	6930180,695	0,0001	0,092	0
Story10	Qx	LinStatic	Step By Step	3	36368,8964	5,009	7261402,6	0,0001	0,158	0
Story9	Qx	LinStatic	Step By Step	3	36881,7634	4,827	7640062,404	0,0001	0,184	0
Story8	Qx	LinStatic	Step By Step	3	37351,7033	4,62	8084385,834	0,0001	0,185	0
Story7	Qx	LinStatic	Step By Step	3	37778,7159	4,385	8615378,86	0,0001	0,181	0
Story6	Qx	LinStatic	Step By Step	3	38162,8013	4,12	9263139,478	0,0001	0,176	0
Story5	Qx	LinStatic	Step By Step	3	38503,9595	3,816	10089341,67	0,0001	0,17	0
Story4	Qx	LinStatic	Step By Step	3	38808,1466	3,48	11152691,59	0,0001	0,161	0
Story3	Qx	LinStatic	Step By Step	3	39073,7354	3,129	12488881,5	0,0001	0,152	0
Story 2	Qx	LinStatic	Step By Step	3	39295,0546	2,727	14410893,8	0,0002	0,134	0
Story1	Qx	LinStatic	Step By Step	3	39471,646	2,047	19287138,72	0,0002	0,086	0
Basement 4	Qx	LinStatic	Step By Step	3	39614,9356	0,416	95330670,94	0,0002	0,013	0
Basement 3	Qx	LinStatic	Step By Step	3	39751,5263	0,326	122024319	0,0002	0,004	0
Basement 2	Qx	LinStatic	Step By Step	3	39846,9805	0,239	166828621	0,0002	0,004	0
Basement 1	Qx	LinStatic	Step By Step	3	39894,8437	0,118	338112485	0,0002	0,014	0

Πίνακας 3.5 Κέντρο μάζας κτιρίου ανά όροφο.

TABLE: Centers Of Mass And Rigidity									
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cum Mass X	Cum Mass Y	XCCM	YCCM
		kg	kg	m	m	kg	kg	m	m
Basement 1	D1	2664030,55	2664030,55	27,3741	20	2664030,55	2664030,55	27,3741	20
Basement 2	D2	2648069,17	2648069,17	27,4453	20,0057	2648069,17	2648069,17	27,4453	20,0057
Basement 3	D3	2610783,34	2610783,34	27,5294	20,0058	2610783,34	2610783,34	27,5294	20,0058
Basement 4	D4	2208940,54	2208940,54	28,0409	20	2208940,54	2208940,54	28,0409	20
Story1	D5	2444570,99	2444570,99	27,796	20	2444570,99	2444570,99	27,796	20
Story 2	D6	2467107,16	2467107,16	27,6993	20,0053	2467107,16	2467107,16	27,6993	20,0053
Story3	D7	2464813,86	2464813,86	27,7075	20,0091	2464813,86	2464813,86	27,7075	20,0091
Story4	D8	2407083,19	2407083,19	27,6046	20,0094	2407083,19	2407083,19	27,6046	20,0094
Story5	D9	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096
Story6	D10	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096
Story7	D11	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096
Story8	D12	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096
Story9	D13	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096
Story10	D14	2381123,31	2381123,31	27,5048	20,0095	2381123,31	2381123,31	27,5048	20,0095
Story11	D15	2381123,31	2381123,31	27,5048	20,0095	2381123,31	2381123,31	27,5048	20,0095
Story12	D16	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096	2350258,14	2350258,14	27,4983	20,0096
Story13	D17	2333763,66	2333763,66	27,4665	20,0097	2333763,66	2333763,66	27,4665	20,0097
Story14	D20	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097
Story15	D21	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097
Story16	D22	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097
Story17	D23	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097
Story18	D24	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097	2317836,44	2317836,44	27,4365	20,0097

Story21	D25	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6
Story19	D25	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	4666538,0 6	4666538,0 6	27,440 2	20,009 7
Story22	D26	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6
Story20	D26	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	4666538,0 6	4666538,0 6	27,440 2	20,009 7
Story23	D27	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story24	D28	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story25	D29	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story26	D30	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story27	D31	2313413,4 9	2313413,4 9	27,399 1	20,009 7	2313413,4 9	2313413,4 9	27,399 1	20,009 7
Story28	D32	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story29	D33	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story30	D34	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story31	D35	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story32	D36	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6
Story33	D37	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6	2348701,6 2	2348701,6 2	27,443 9	20,009 6
Story34	D38	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7	2317836,4 4	2317836,4 4	27,436 5	20,009 7
Story35	D39	1995726,7 1	1995726,7 1	27,578 9	20,011 6	1995726,7 1	1995726,7 1	27,578 9	20,011 6
Story36	D40	552727,67	552727,67	31,990 3	20,091	552727,67	552727,67	31,990 3	20,091
Story37	D41	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8
Story38	D42	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8
Story39	D43	558892,7	558892,7	31,990 6	20,222 3	558892,7	558892,7	31,990 6	20,222 3
Story40	D44	590243,55	590243,55	32,673 6	20,336	590243,55	590243,55	32,673 6	20,336
Story41	D45	590243,55	590243,55	32,673 6	20,336	590243,55	590243,55	32,673 6	20,336
Story42	D46	558892,7	558892,7	31,990 6	20,222 3	558892,7	558892,7	31,990 6	20,222 3
Story43	D47	555695,93	555695,93	32,070 9	20,068 9	555695,93	555695,93	32,070 9	20,068 9
Story44	D48	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8
Story45	D49	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8	552719,66	552719,66	31,990 5	20,090 8
Story46	D50	554103,16	554103,16	31,970 5	20,100 5	554103,16	554103,16	31,970 5	20,100 5

Story47	D51	554103,16	554103,16	31,970 5	20,100 5	554103,16	554103,16	31,970 5	20,100 5
Story48	D52	583315,77	583315,77	31,349 4	20,086	583315,77	583315,77	31,349 4	20,086

Πίνακας 3.6 Συμμετοχή ποσοστού μάζας ανά ιδιομορφή.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
		sec						
Modal	1	5,13	0,000002642	0,6262	0	0,000002642	0,6262	0
Modal	2	3,421	0,6058	0,000004144	0	0,6058	0,6262	0
Modal	3	2,447	0,00004324	0,0023	0	0,6058	0,6285	0
Modal	4	1,655	0	0,1116	0	0,6058	0,7402	0
Modal	5	1,161	0,1024	0,0002	0	0,7083	0,7404	0
Modal	6	0,98	0,0079	0,0123	0	0,7161	0,7527	0
Modal	7	0,862	0,0008	0,0416	0	0,7169	0,7943	0
Modal	8	0,683	0,0142	0,0008	0	0,7311	0,7951	0
Modal	9	0,649	0,058	0,0003	0	0,7892	0,7953	0
Modal	10	0,538	0,000002583	0,0287	0	0,7892	0,8241	0
Modal	11	0,394	0,0011	0,0014	0	0,7903	0,8254	0
Modal	12	0,374	0,0376	0,000003177	0	0,8278	0,8254	0
Modal	13	0,358	0,0008	0,0083	0	0,8287	0,8337	0
Modal	14	0,322	0,0002	0,0126	0	0,8289	0,8463	0
Modal	15	0,26	0,01	0,0059	0	0,8389	0,8523	0
Modal	16	0,258	0,0089	0,006	0	0,8478	0,8583	0
Modal	17	0,244	0,00004337	0,001	0	0,8479	0,8593	0
Modal	18	0,212	0,0003	0,0083	0	0,8482	0,8676	0
Modal	19	0,207	0,0132	0,0001	0	0,8614	0,8678	0
Modal	20	0,191	0,00003483	0,001	0	0,8614	0,8687	0
Modal	21	0,181	0	0,006	0	0,8614	0,8748	0
Modal	22	0,166	0,0062	0,0005	0	0,8676	0,8753	0
Modal	23	0,163	0,0074	0,0005	0	0,875	0,8757	0
Modal	24	0,152	0,00001795	0,000009909	0	0,875	0,8757	0
Modal	25	0,147	0,00004058	0,0076	0	0,8751	0,8833	0
Modal	26	0,133	0,0114	0,0002	0	0,8865	0,8835	0
Modal	27	0,13	0,0002	0,0086	0	0,8866	0,8921	0
Modal	28	0,124	0,000002451	0,0004	0	0,8866	0,8925	0
Modal	29	0,117	9,982E-07	0,0042	0	0,8866	0,8967	0
Modal	30	0,113	0,0036	0,0027	0	0,8903	0,8994	0
Modal	31	0,112	0,0052	0,002	0	0,8954	0,9014	0
Modal	32	0,106	0,000005444	0,0016	0	0,8954	0,903	0
Modal	33	0,104	0,0005	0,0037	0	0,8959	0,9068	0
Modal	34	0,101	0,0063	0,0002	0	0,9023	0,907	0
Modal	35	0,094	0,000006336	0,0012	0	0,9023	0,9082	0

Modal	36	0,092	0,0004	0,0105	0	0,9027	0,9187	0
Modal	37	0,091	0,0094	0,0005	0	0,9121	0,9191	0
Modal	38	0,087	0,000001229	0,0099	0	0,9121	0,929	0
Modal	39	0,085	0,0001	0,0034	0	0,9122	0,9324	0
Modal	40	0,082	0,0004	0,001	0	0,9125	0,9334	0
Modal	41	0,081	0,0107	0,0009	0	0,9233	0,9343	0
Modal	42	0,08	0,0006	0,0092	0	0,9239	0,9435	0
Modal	43	0,075	0,0001	0,0078	0	0,924	0,9514	0
Modal	44	0,074	0,0003	0,00003754	0	0,9243	0,9514	0
Modal	45	0,074	0,0108	0,0001	0	0,9351	0,9515	0
Modal	46	0,069	0,0005	0,0156	0	0,9356	0,9671	0
Modal	47	0,069	0,007	0,0007	0	0,9426	0,9678	0
Modal	48	0,068	0,0013	0,0002	0	0,9439	0,968	0
Modal	49	0,065	0,0035	0,0007	0	0,9474	0,9687	0
Modal	50	0,065	0,0003	0,0022	0	0,9477	0,9709	0

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	94,77
Modal	Acceleration	UY	100	97,09
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Πίνακας 3.7 Συμμετοχή ποσοστού μάζας ανά ιδιομορφή (στροφικά).

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Case	Mode	Period	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
		sec						
Modal	1	5,13	0,3836	0,000003539	0,0015	0,3836	0,000003539	0,0015
Modal	2	3,421	0,000001628	0,4036	0,00001258	0,3836	0,4036	0,0015
Modal	3	2,447	0,0009	0,000003532	0,6379	0,3845	0,4036	0,6394
Modal	4	1,655	0,1903	0	0,0038	0,5747	0,4036	0,6431
Modal	5	1,161	0,0002	0,1312	0,002	0,5749	0,5348	0,6451
Modal	6	0,98	0,013	0,0132	0,0321	0,5879	0,548	0,6772
Modal	7	0,862	0,044	0,0013	0,0089	0,6319	0,5493	0,6861

Modal	8	0,683	0,0011	0,017	0,0671	0,633	0,5663	0,7532
Modal	9	0,649	0,0004	0,0608	0,0105	0,6334	0,6271	0,7637
Modal	10	0,538	0,0408	0,000001407	0,0004	0,6742	0,6271	0,7641
Modal	11	0,394	0,0019	0,0012	0,0257	0,6761	0,6284	0,7898
Modal	12	0,374	0,000004728	0,0515	0,0013	0,6761	0,6799	0,7912
Modal	13	0,358	0,013	0,0012	0,0052	0,6891	0,6811	0,7964
Modal	14	0,322	0,0204	0,0004	0,0009	0,7096	0,6815	0,7973
Modal	15	0,26	0,0095	0,0147	0,0004	0,719	0,6963	0,7977
Modal	16	0,258	0,0097	0,0129	0,0008	0,7287	0,7092	0,7985
Modal	17	0,244	0,0016	0,0001	0,018	0,7303	0,7092	0,8165
Modal	18	0,212	0,0145	0,0005	0,0005	0,7448	0,7098	0,817
Modal	19	0,207	0,0002	0,0226	0,0001	0,7451	0,7323	0,817
Modal	20	0,191	0,0017	0,0001	0,0112	0,7467	0,7324	0,8282
Modal	21	0,181	0,0101	0,000001004	0,0011	0,7569	0,7324	0,8293
Modal	22	0,166	0,0008	0,0099	0,0008	0,7577	0,7423	0,8301
Modal	23	0,163	0,0008	0,0121	0,0007	0,7585	0,7544	0,8308
Modal	24	0,152	0,00001075	0,00003141	0,0069	0,7585	0,7544	0,8376
Modal	25	0,147	0,0114	0,0001	0	0,7699	0,7545	0,8376
Modal	26	0,133	0,0003	0,0202	7,381E-07	0,7701	0,7747	0,8376
Modal	27	0,13	0,0153	0,0003	0,00001155	0,7854	0,775	0,8376
Modal	28	0,124	0,0008	0,000002451	0,0036	0,7862	0,775	0,8413
Modal	29	0,117	0,0077	0	0,0018	0,7939	0,775	0,8431
Modal	30	0,113	0,0048	0,0063	0,0009	0,7987	0,7812	0,844
Modal	31	0,112	0,0036	0,0092	0,0008	0,8024	0,7904	0,8448
Modal	32	0,106	0,0029	0,00001246	0,0054	0,8052	0,7904	0,8503
Modal	33	0,104	0,0069	0,0009	0,0009	0,8122	0,7913	0,8512
Modal	34	0,101	0,0004	0,0115	0,0001	0,8125	0,8028	0,8513
Modal	35	0,094	0,0023	0,000009411	0,0053	0,8148	0,8028	0,8566
Modal	36	0,092	0,0198	0,0008	0,0005	0,8346	0,8036	0,8571
Modal	37	0,091	0,0009	0,0174	0,00004002	0,8355	0,821	0,8572
Modal	38	0,087	0,0185	0,00000117	0,0002	0,854	0,821	0,8574
Modal	39	0,085	0,0065	0,0002	0,0009	0,8605	0,8212	0,8582
Modal	40	0,082	0,0019	0,0007	0,0014	0,8624	0,8219	0,8596
Modal	41	0,081	0,0018	0,0201	0,00001446	0,8641	0,842	0,8596
Modal	42	0,08	0,0179	0,0012	0,0001	0,882	0,8432	0,8597
Modal	43	0,075	0,0149	0,0002	0,0002	0,8969	0,8434	0,8599
Modal	44	0,074	0,0001	0,0005	0,0086	0,897	0,8439	0,8685
Modal	45	0,074	0,0002	0,0207	0,0002	0,8972	0,8645	0,8687
Modal	46	0,069	0,0299	0,0009	0,00004049	0,9271	0,8654	0,8688
Modal	47	0,069	0,0014	0,0137	0,0012	0,9285	0,8791	0,87
Modal	48	0,068	0,0004	0,0026	0,0072	0,9289	0,8817	0,8772
Modal	49	0,065	0,0014	0,0068	0,0019	0,9302	0,8885	0,8791
Modal	50	0,065	0,0047	0,0006	0,0016	0,9349	0,8891	0,8807

Πίνακας 3.8 Πίνακας αντιδράσεων βάσης κτιρίου.

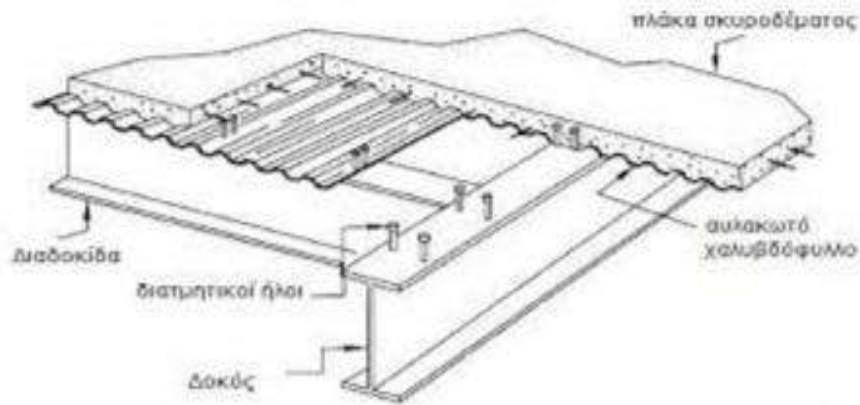
Table: Base Reactions, Part 1 of 2

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ	MX	MY
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	kN	kN	kN	kN-m	kN-m
Modal	LinModEigen	Mode	1	-0,0009	0,4232	0	-50,1872	-0,1199
Modal	LinModEigen	Mode	2	-0,9361	-0,0024	0	0,2707	-112,6102
Modal	LinModEigen	Mode	3	0,0155	0,113	0	-5,3181	1,4372
Modal	LinModEigen	Mode	4	-0,0034	1,7168	0	-19,0245	-0,1672
Modal	LinModEigen	Mode	5	3,34	-0,1571	0	5,1416	66,8738
Modal	LinModEigen	Mode	6	-1,3019	-1,625	0	41,107	-15,2832
Modal	LinModEigen	Mode	7	0,5315	-3,8661	0	98,1108	5,9507
Modal	LinModEigen	Mode	8	3,5988	-0,8406	0	14,0405	79,0827
Modal	LinModEigen	Mode	9	8,054	0,5602	0	-11,5949	206,094
Modal	LinModEigen	Mode	10	-0,0781	8,232	0	-139,2902	-3,1451
Modal	LinModEigen	Mode	11	2,9955	-3,3494	0	56,7012	69,6578
Modal	LinModEigen	Mode	12	19,5104	-0,1794	0	2,7775	351,482
Dead	LinStatic			-5,901E-06	1,285E-06	1170767,3309	23435105	-33690005
Live	LinStatic			-3,326E-06	-8,206E-07	345946,8097	6919057,2838	-9818819
RsX	LinRespSpec	Max		33767,7741	6494,6791	0	83787,9764	2939052,1676
RsY	LinRespSpec	Max		6494,6659	31499,8232	0	2973573,2425	90662,352
Surcharge	LinStatic			147,84	147,84	295,68	-857,4721	-3932,544
earth pressure	LinStatic			-0,672	5886,7202	826494,0681	16478001	-23901383
Fx	LinStatic			-21739,5797	-4,797E-06	0	0,0007	-2133650
Fy	LinStatic			5,867E-07	-30151,3242	0	2938785,8374	-3732,9599
1,35G	Combination			-7,966E-06	1,735E-06	1580535,8967	31637391	-45481507
1,35G+1,5Q	Combination			-1,296E-05	5,036E-07	2099456,1112	42015977	-60209736
1,35G+0,75Fx	Combination			-16304,6848	-1,863E-06	1580535,8967	31637391	-47081745
1,35G-0,75Fy	Combination			16304,6847	5,332E-06	1580535,8967	31637391	-43881270
1,35G+0,75Fy	Combination			-7,526E-06	-22613,4932	1580535,8967	33841481	-45484307
1,35G-0,75Fx	Combination			-8,406E-06	22613,4932	1580535,8967	29433302	-45478707
1,35G+1,05Q+1,5Fx	Combination			-32609,3695	-6,323E-06	1943780,0469	38902401	-58991742
1,35G+1,05Q-1,5Fx	Combination			32609,3695	8,069E-06	1943780,0469	38902401	-52590792
1,35G+1,05Q+1,5Fy	Combination			-0,0008	-45226,9862	158416834	3175412311	-4558466078
1,35G+1,05Q-1,5Fy	Combination			-1,234E-05	45226,9863	1943780,0469	34494223	-55785668
G	Combination			-5,901E-06	1,285E-06	1170767,3309	23435105	-33690005
G+Q+Fx	Combination			-21739,5797	-4,333E-06	1516714,1406	30354162	-45642474
G+Q+Fy	Combination			-8,641E-06	-30151,3242	1516714,1406	33292948	-43512557

G+0,3Q+Ex+0,3Ey	Combination	Max	35716,1738	15944,6261	1274551,3738	26486682	-33669400
G+0,3Q+Ex+0,3Ey	Combination	Min	-35716,1739	-15944,6261	1274551,3738	24534962	-39601902
G+0,3Q+Ex-0,3Ey	Combination	Max	35716,1738	15944,6261	1274551,3738	26486682	-33669400
G+0,3Q+Ex-0,3Ey	Combination	Min	-35716,1739	-15944,6261	1274551,3738	24534962	-39601902
G+0,3Q+0,3Ex+Ey	Combination	Max	16624,9981	33448,227	1274551,3738	28509531	-35663273
G+0,3Q+0,3Ex+Ey	Combination	Min	-16624,9981	-33448,227	1274551,3738	22512112	-37608029
G+0,3Q+0,3Ex-Ey	Combination	Max	16624,9981	33448,227	1274551,3738	28509531	-35663273
G+0,3Q+0,3Ex-Ey	Combination	Min	-16624,9981	-33448,227	1274551,3738	22512112	-37608029
G+0,3Q-Ex-0,3Ey	Combination	Max	35716,1738	15944,6261	1274551,3738	26486682	-33669400
G+0,3Q-Ex-0,3Ey	Combination	Min	-35716,1739	-15944,6261	1274551,3738	24534962	-39601902
G+0,3Q-Ex+0,3Ey	Combination	Max	35716,1738	15944,6261	1274551,3738	26486682	-33669400
G+0,3Q-Ex+0,3Ey	Combination	Min	-35716,1739	-15944,6261	1274551,3738	24534962	-39601902
G+0,3Q-0,3Ex-Ey	Combination	Max	16624,9981	33448,227	1274551,3738	28509531	-35663273
G+0,3Q-0,3Ex-Ey	Combination	Min	-16624,9981	-33448,227	1274551,3738	22512112	-37608029
G+0,3Q-0,3Ex+Ey	Combination	Max	16624,9981	33448,227	1274551,3738	28509531	-35663273
G+0,3Q-0,3Ex+Ey	Combination	Min	-16624,9981	-33448,227	1274551,3738	22512112	-37608029
1,2G+1,2Q+1,2Ex+1,2Ey+1,2Earth pressure+1,5 Surcharge	Combination	Max	48535,8815	52879,227	2812293,3704	59866142	-77262490
1,2G+1,2Q+1,2Ex+1,2Ey+1,2Earth pressure+1,5 Surcharge	Combination	Min	-48093,9743	-38307,5786	2812293,3704	52528475	-84533805
DStID1	Combination		-0,672	5886,7202	1997261,399	39913105	-57591388
DStID2	Combination		147,168	6034,5602	2343503,8887	46831305	-67414140
DCmpD1	Combination		-0,672	5886,7202	1997261,399	39913105	-57591388
DCmpD2	Combination		147,168	6034,5602	2343503,8887	46831305	-67414140
DCmpS1	Combination		-0,9072	7947,0723	2696302,8886	53882692	-77748374
DCmpS2	Combination		220,8528	8168,8323	3215666,6232	64259992	-92482502
DSlBS1	Combination		-0,9072	7947,0723	2696302,8886	53882692	-77748374
DSlBS2	Combination		220,8528	8168,8323	3215666,6232	64259992	-92482502
DSlBS3	Combination		-19344,7689	8168,8323	3215666,6232	64259992	-94402787
DSlBS4	Combination		19786,4745	8168,8323	3215666,6232	64259992	-90562217
DSlBS5	Combination		220,8528	-18967,3595	3215666,6232	66904899	-92485862
DSlBS6	Combination		220,8528	35305,0241	3215666,6232	61615084	-92479142
DSlBS7	Combination		-32455,0447	8102,3043	3059857,5028	61146802	-91262739
DSlBS8	Combination		32763,6943	8102,3043	3059857,5028	61146802	-84861789
DSlBS9	Combination		154,3248	-37124,6821	3059857,5028	65554980	-88067863
DSlBS10	Combination		154,3248	53329,2906	3059857,5028	56738623	-88056664

DSlbS11	Combination		-32610,2767	7947,0722	2696302,8886	53882692	-80948849
DSlbS12	Combination		32608,4623	7947,0723	2696302,8886	53882692	-74547899
DSlbS13	Combination		-0,9072	-37279,9141	2696302,8886	58290871	-77753974
DSlbS14	Combination		-0,9072	53174,0586	2696302,8886	49474513	-77742775
DSlbS15	Combination		-32610,0415	5886,7202	1997261,399	39913105	-60791863
DSlbS16	Combination		32608,6975	5886,7202	1997261,399	39913105	-54390913
DSlbS17	Combination		-0,672	-39340,2662	1997261,399	44321284	-57596988
DSlbS18	Combination		-0,672	51113,7065	1997261,399	35504926	-57585789
DSlbS19	Combination	Max	43,68	-33963,7804	2101134,1459	46477064	-60538214
DSlbS19	Combination	Min	43,68	-33963,7809	2101134,1459	46477064	-60538214
DSlbS20	Combination	Max	43,68	45825,9253	2101134,1459	37500066	-60538214
DSlbS20	Combination	Min	43,68	45825,9248	2101134,1459	37500066	-60538214
DSlbS21	Combination	Max	-39851,1637	5931,0723	2101134,1459	41988565	-65026713
DSlbS21	Combination	Min	-39851,1637	5931,072	2101134,1459	41988565	-65026713
DSlbS22	Combination	Max	39938,5237	5931,0724	2101134,1459	41988565	-56049714
DSlbS22	Combination	Min	39938,5237	5931,072	2101134,1459	41988565	-56049714
DSlbS23	Combination	Max	-0,672	-34008,1324	1997261,399	44401604	-57591388
DSlbS23	Combination	Min	-0,672	-34008,1329	1997261,399	44401604	-57591388
DSlbS24	Combination	Max	-0,672	45781,5733	1997261,399	35424607	-57591388
DSlbS24	Combination	Min	-0,672	45781,5728	1997261,399	35424607	-57591388
DSlbS25	Combination	Max	-39895,5157	5886,7203	1997261,399	39913105	-62079888
DSlbS25	Combination	Min	-39895,5157	5886,72	1997261,399	39913105	-62079888
DSlbS26	Combination	Max	39894,1717	5886,7204	1997261,399	39913105	-53102889
DSlbS26	Combination	Min	39894,1717	5886,72	1997261,399	39913105	-53102889
DSlbS27	Combination	Max	33811,4541	12425,7513	2101134,1459	42072353	-57599162
DSlbS27	Combination	Min	-33724,0941	-563,6069	2101134,1459	41904777	-63477266
DSlbS28	Combination	Max	6538,3458	37430,8954	2101134,1459	44962138	-60447552

3.5 Έλεγχος σύμμικτων πλακών.

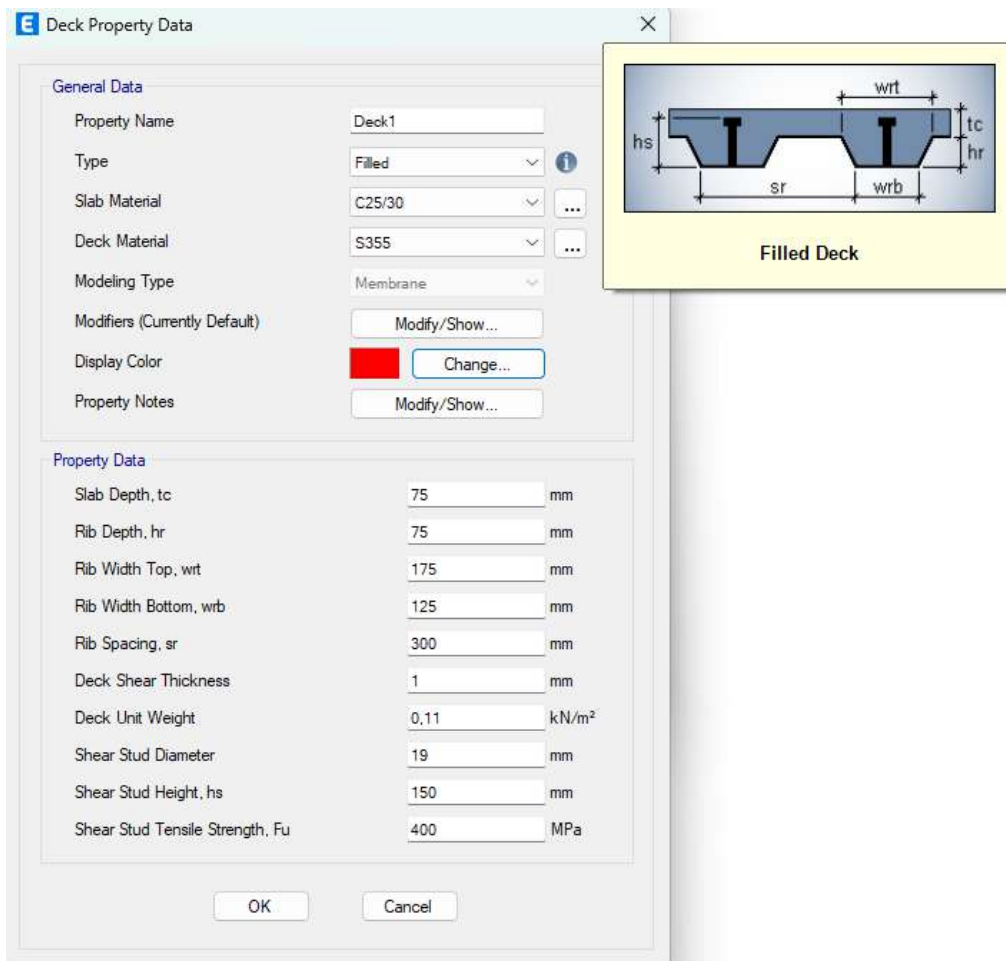


Σχήμα 3.17 Διάταξη, γεωμετρία και προσανατολισμός χαλυβδόφυλλου.

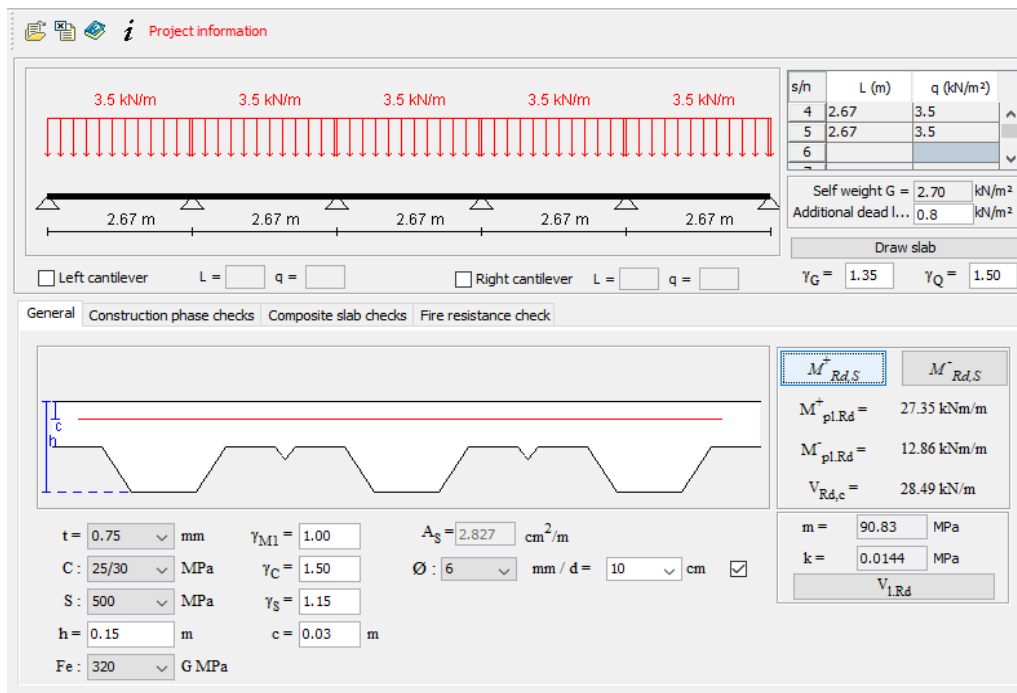


Σχήμα 3.18 Γεωμετρία χαλυβδόφυλλου.

Οι πλάκες επιλύθηκαν χρησιμοποιώντας το SymDeck Designer της εταιρίας elastron.



Σχήμα 3.19 Διατομή και χαρακτηριστικά σύμμικτης πλάκας.(ETABS 2020)



Σχήμα 3.20 Δεδομένα και γεωμετρία εισαγωγής της σύμμικτης πλάκας.

Χαρακτηριστικά σύμμικτης πλάκας :

Σχεδιασμός για 1,35G+1,5Q

-Q (κινητό φορτίο) = 3 kN/m²

-h = 15 cm(συνολικό πάχος πλάκας) -h_{χαλυβδόφυλλου} = 7,3 cm

-C =25/30 MPa (ποιότητα σκυροδέματος)

-S500 (ποιότητα χαλυβδόφυλλου)

-Fe320 Mpa (ποιότητα χάλυβα οπλισμού)

-Οπλισμός Φ6/100

-C=0,03 m (επικάλυψη οπλισμού)

Οι τιμές που μπορούμε να δούμε είναι αντίστοιχα:

-M⁺_{RD,S} Θετική ροπή αντοχής χαλυβδοφύλλου

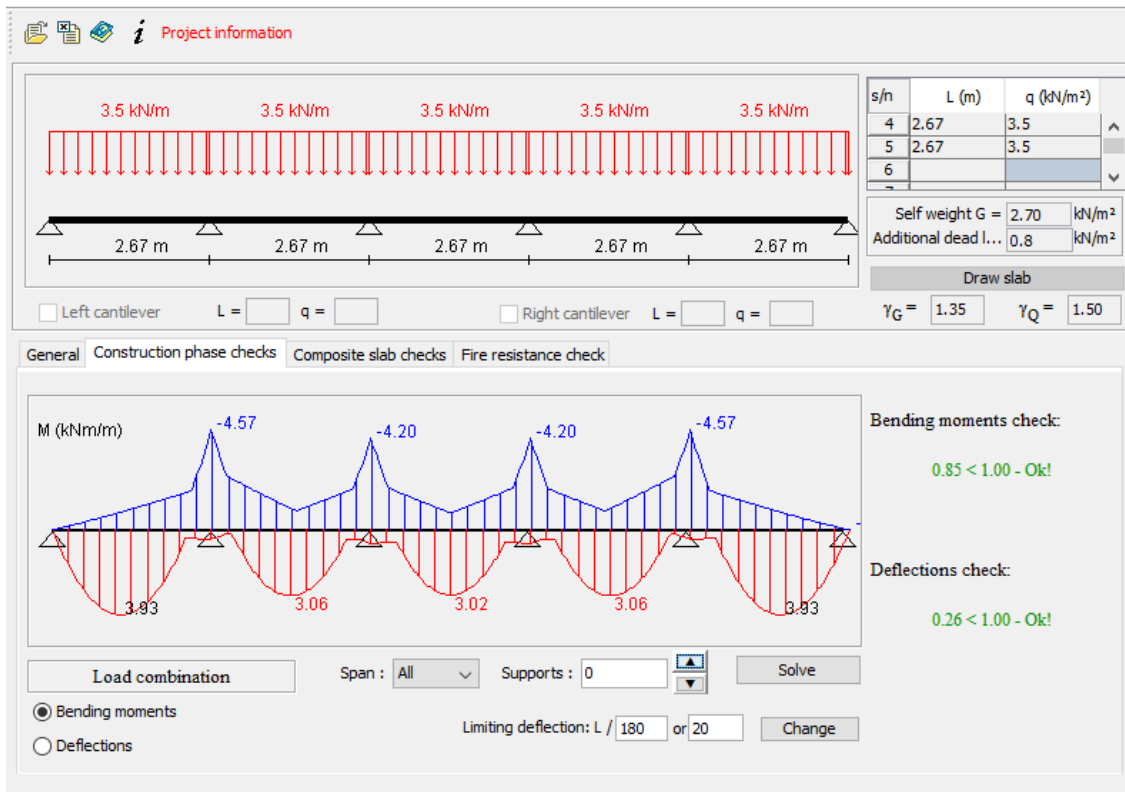
-M⁻_{RD,S} Αρνητική ροπή αντοχής χαλυβδοφύλλου

-M⁺_{pl,Rd} Θετική ροπή αντοχής σύμμικτης διατομής

-M⁻_{pl,Rd} Αρνητική ροπή αντοχής σύμμικτης διατομής

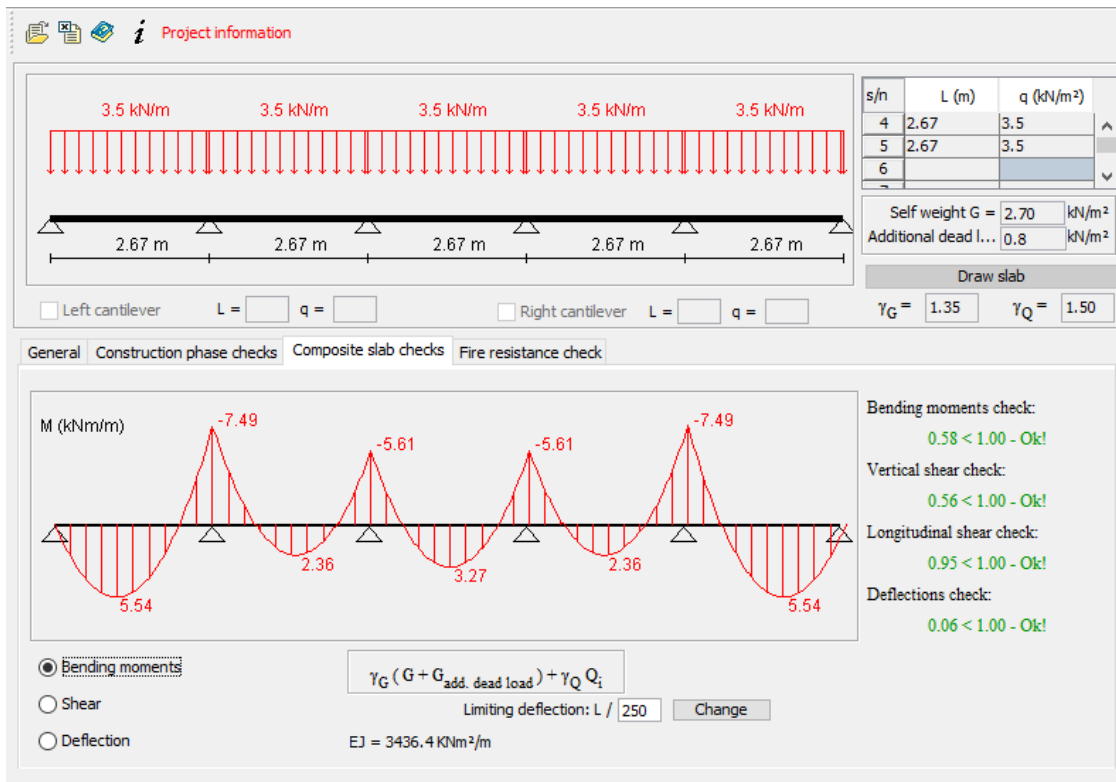
-V_{v,Rd} Τέμνουσα αντοχής σύμμικτης διατομής

-V_{l,Rd} Αντοχή σε διαμήκη διάτμηση σύμμικτης διατομής



Σχήμα 3.21 Περιβάλλουσες διαγραμμάτων ροπών στη φάση κατασκευής.

Στα δεξιά βλέπουμε αν ικανοποιούνται ή όχι οι έλεγχοι των ροπών και των βελών κάμψης καθώς επίσης και τους συντελεστές εκμετάλλευσης της διατομής για τον κάθε έλεγχο. Η εναλλαγή των διαγραμμάτων γίνεται από τα κουμπιά κάτω και αριστερά. Όταν ο έλεγχος δεν ικανοποιείται εμφανίζονται στο διάγραμμα οι μαύρες οριζόντιες γραμμές οι οποίες δείχνουν τις τιμές αντοχής της διατομής. Στο πεδίο "Συνδυασμός φόρτισης" μπορούμε να δούμε τον συνδυασμό με τον οποίο έγινε η κάθε επίλυση.



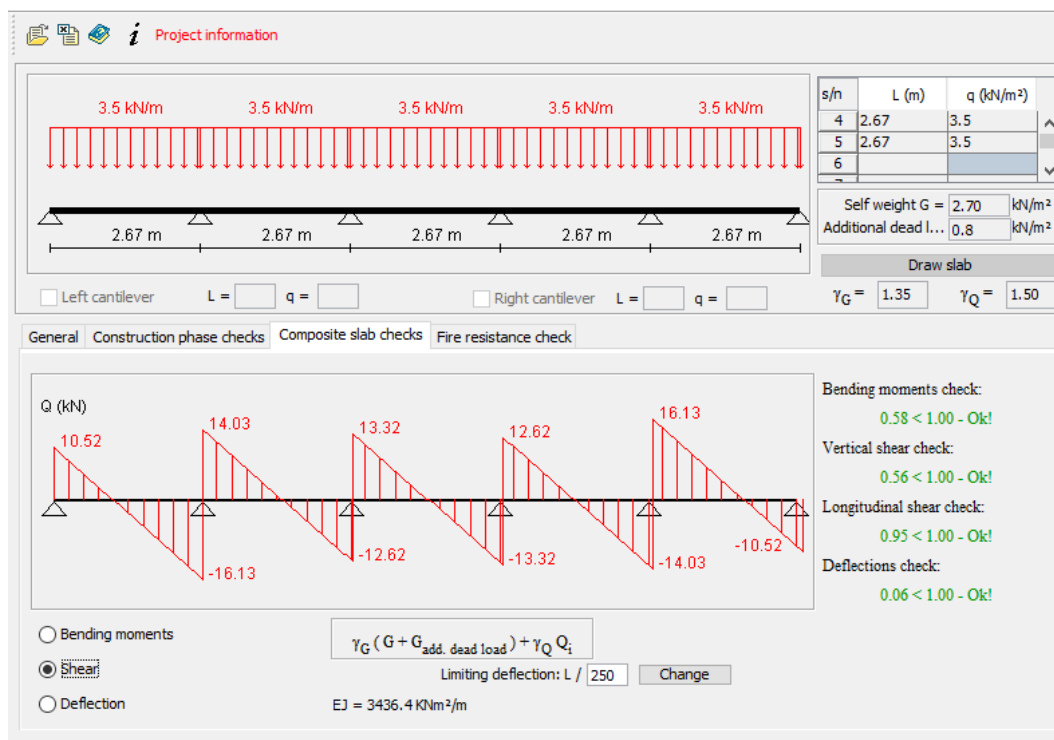
Σχήμα 3.22 Διάγραμμα ροπών σε φάση λειτουργίας.

3.6 Έλεγχος στη φάση λειτουργίας

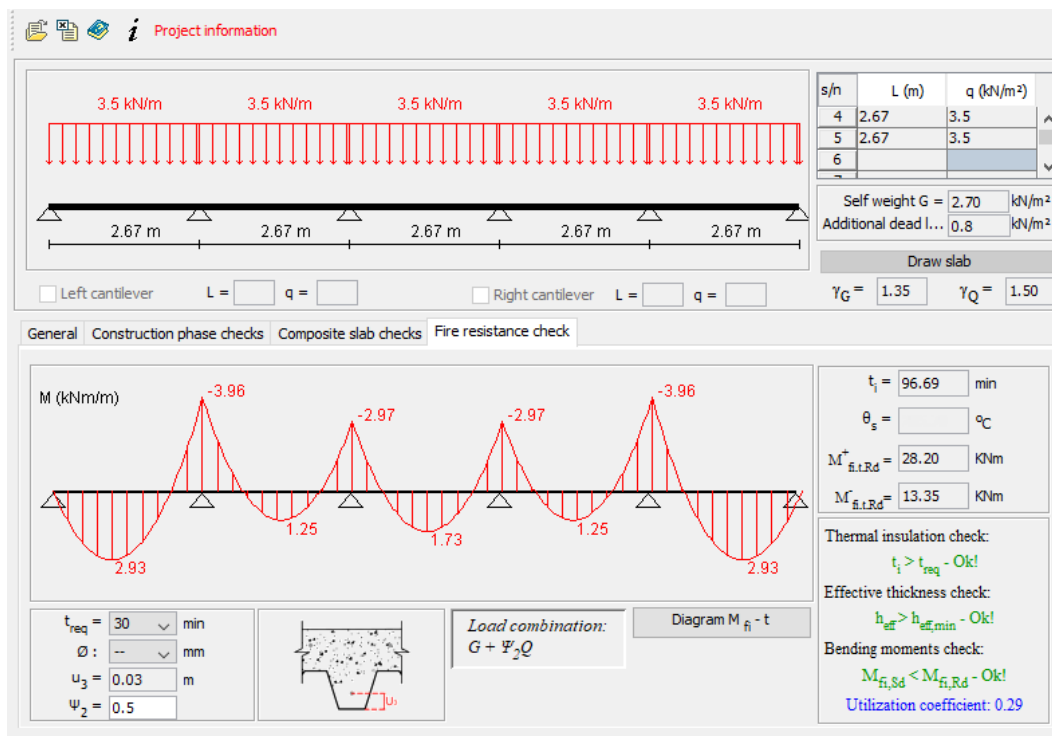
Στην φάση λειτουργίας το στατικό σύστημα του φορέα θεωρείται αυτό που προκύπτει μετά την απομάκρυνση των τυχόν ενδιάμεσων υποστυλώσεων. Τα φορτία που δρουν σε αυτή τη φάση επί της σύμμικτης πλάκας είναι τα ίδιο βάρος G καθώς και ωφέλιμο κινητό φορτίο Q . Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών του σύμμικτου φορέα λόγω των παραπάνω δράσεων, θεωρείται η επιβολή του ωφέλιμου φορτίου Q σε όλη την επιφάνεια του φορέα. Διενεργούνται δύο έλεγχοι:

1^{ος} Έλεγχος : Έλεγχος οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.

Γίνεται με βάση την φόρτιση $1.35G + 1.50Q$ από την οποία προκύπτουν τα εντατικά μεγέθη E_{sd} (αντοχή σε θετικές ροπές M_{sd}^+ , αντοχής σε αρνητικές ροπές M_{sd}^- , αντοχής σε κατακόρυφη διάτμηση $V_{sd.v}$, αντοχή σε διαμήκη διάτμηση $V_{sd.l}$) ενώ με την φόρτιση $G + Q$ προκύπτει η ελαστική γραμμή του φορέα. Ο έλεγχος οριακής κατάστασης λειτουργικότητας γίνεται με βάση την φόρτιση $1.00G + 1.00Q$ με βάση την οποία υπολογίζεται η ελαστική γραμμή του φορέα.



Σχήμα 3.23 Διάγραμμα τεμνουσών σε φάση λειτουργίας.

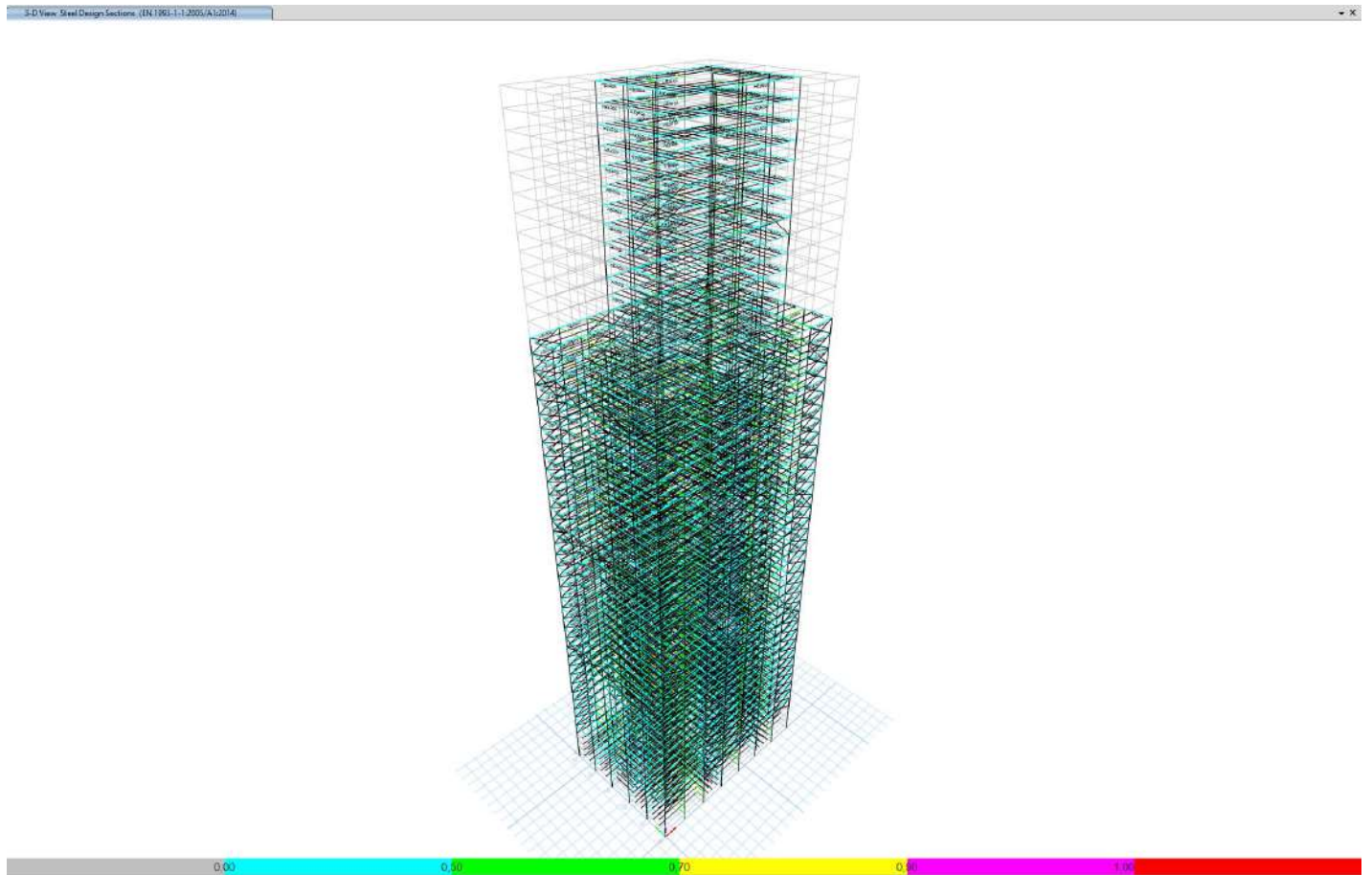


Σχήμα 3.24 Διάγραμμα ροπών για έλεγχο πυραντοχής.

2^{ος} Έλεγχος : Έλεγχος πυραντοχής

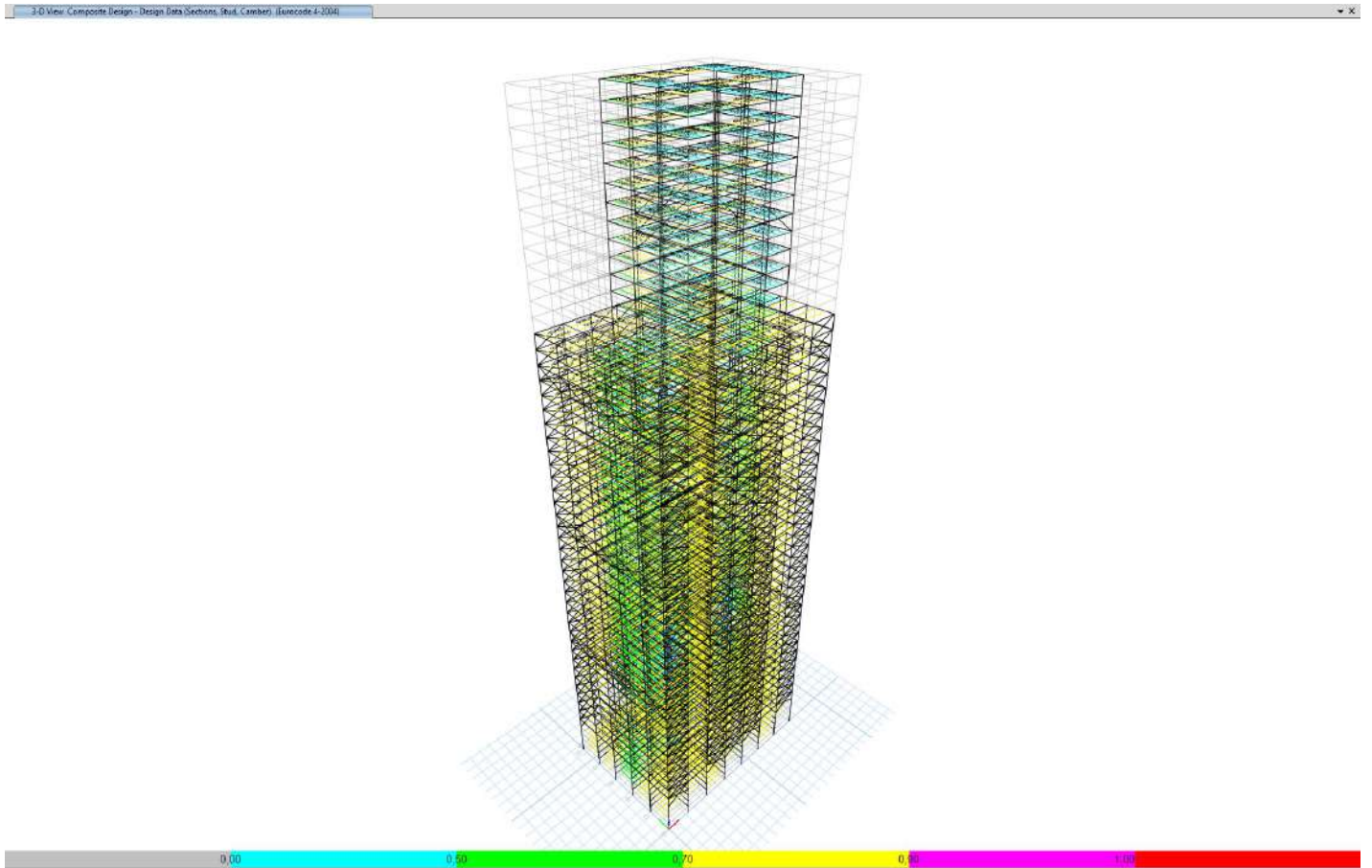
Στην καρτέλα έλεγχος πυραντοχής (Σχήμα 3.24), ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει το χρονικό όριο για το οποίο θα ελεγχθεί η διατομή (t_{req}), καθώς επίσης να εισάγει οπλισμό (\emptyset) στην κάτω παρειά ώστε να αυξήσει την αντοχή της διατομής σε θετική ροπή, κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς ($M^{+fiR,d}$). Ο συντελεστής u_3 είναι η απόσταση του οπλισμού από την κάτω παρειά. Το πεδίο εισαγωγής του u_3 ενεργοποιείται μόνο όταν έχει επιλεγεί κάποιος οπλισμός. Ο χρήστης έχει επίσης την δυνατότητα να αλλάξει τον συντελεστή Ψ_2 , ο οποίος ορίζεται στον Ευρωκώδικα 1 ανάλογα με τον τύπο των φορτίων και το είδος της κατασκευής.

3.7 Απόδοση διατομών του φορέα



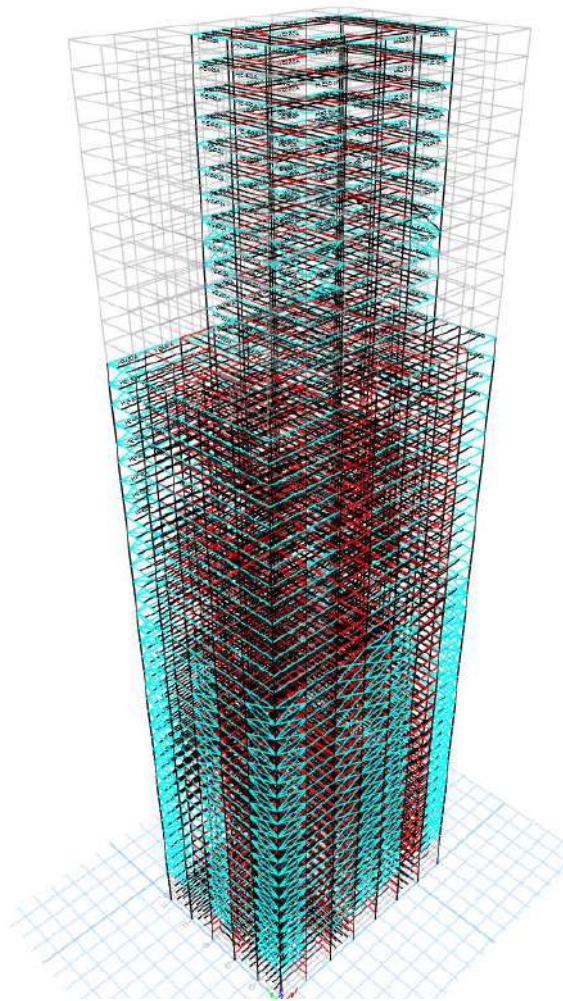
Σχήμα 3.25 Λόγος αντοχής κύριων μεταλλικών δοκών.

- Λόγος απόδοσης διατομών.
- HEA 400 -> 0,55
- HEA 360 -> 0,65



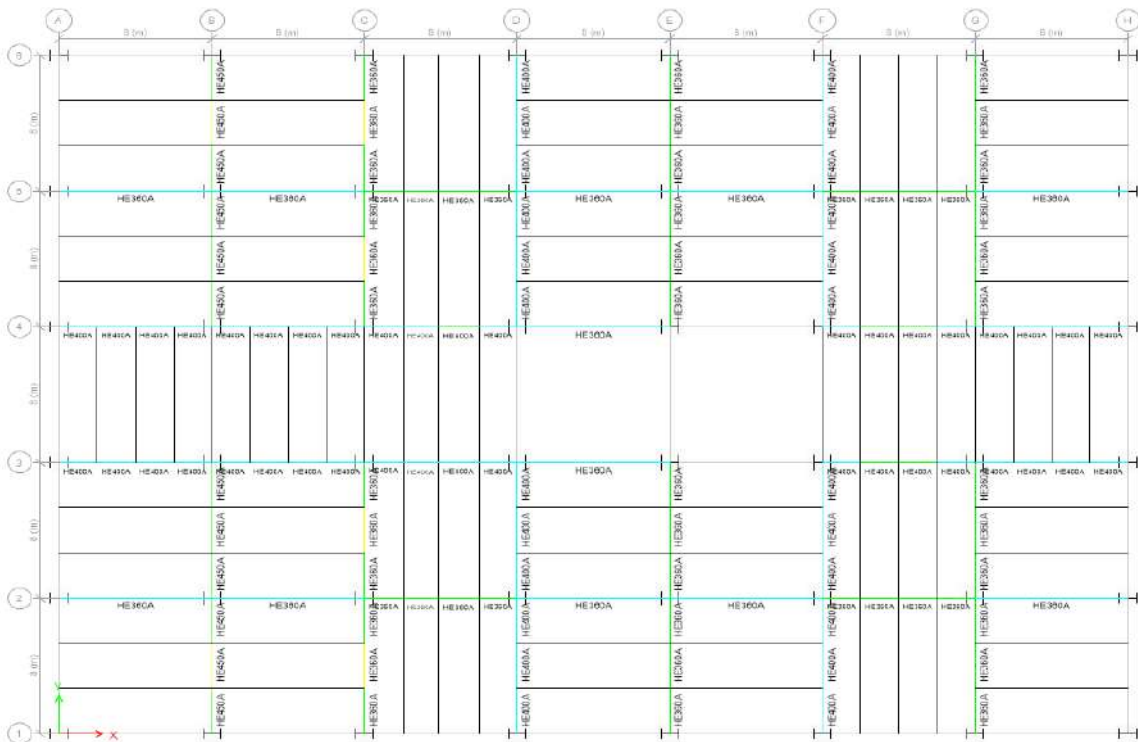
Σχήμα 3.26 Λόγος αντοχής σύμμικτων δοκών.

- Ο λόγος απόδοσης των σύμμικτων δοκών κυμαίνεται μεταξύ 0,65 και 0,75 μετά την επίλυση του φορέα.

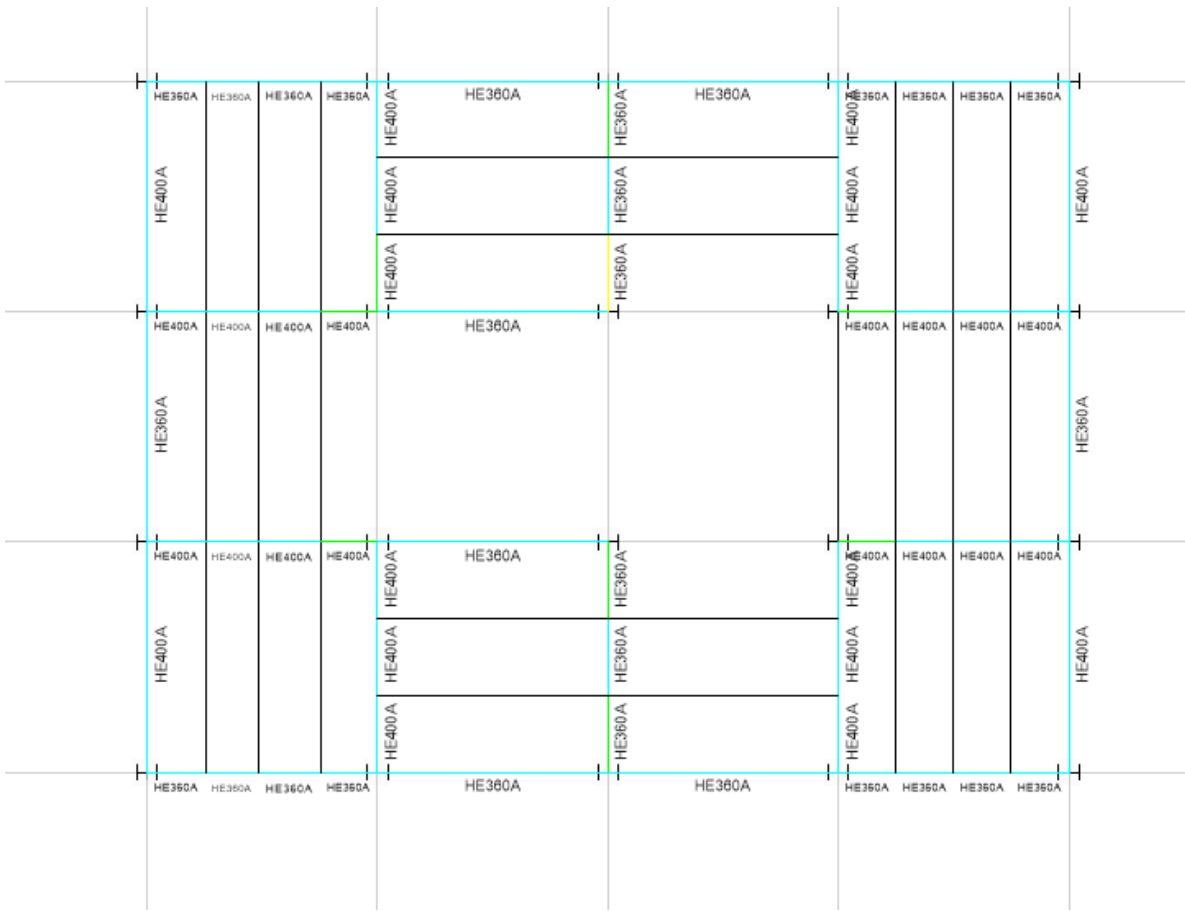


Σχήμα 3.27 Λόγος αντοχής διαγώνιων μεταλλικών συνδέσμων δυσκαμψίας.

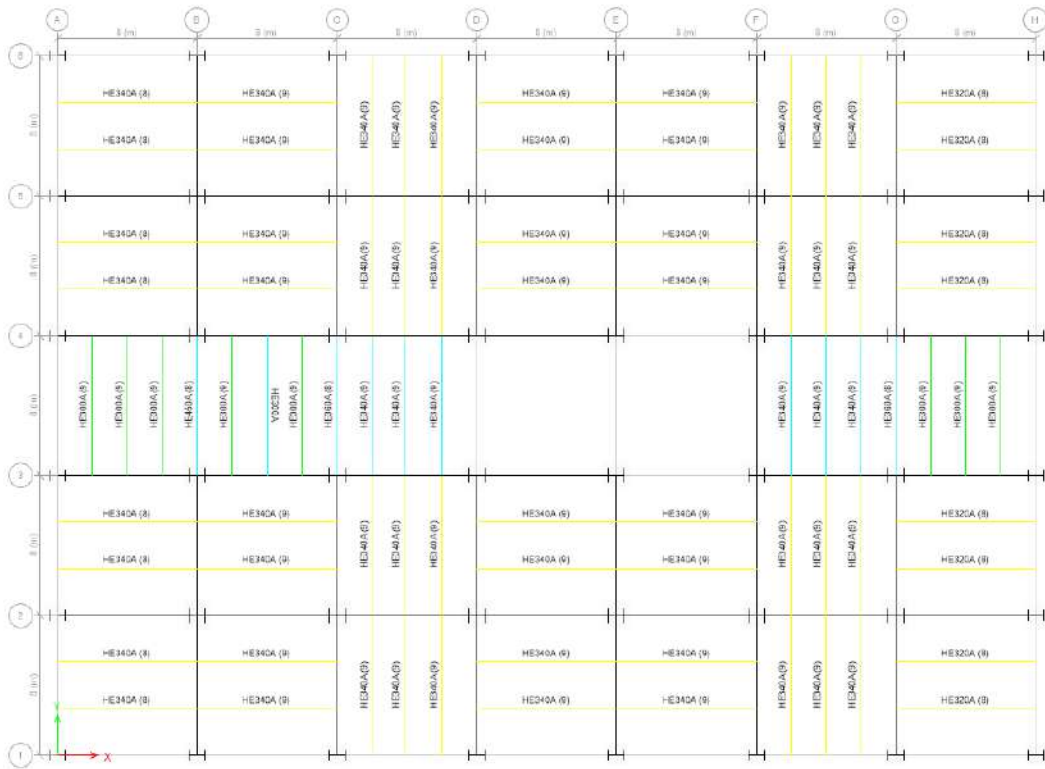
- Ο λόγος απόδοσης των σύμμικτων δοκών κυμαίνεται κοντά στο 0,50.



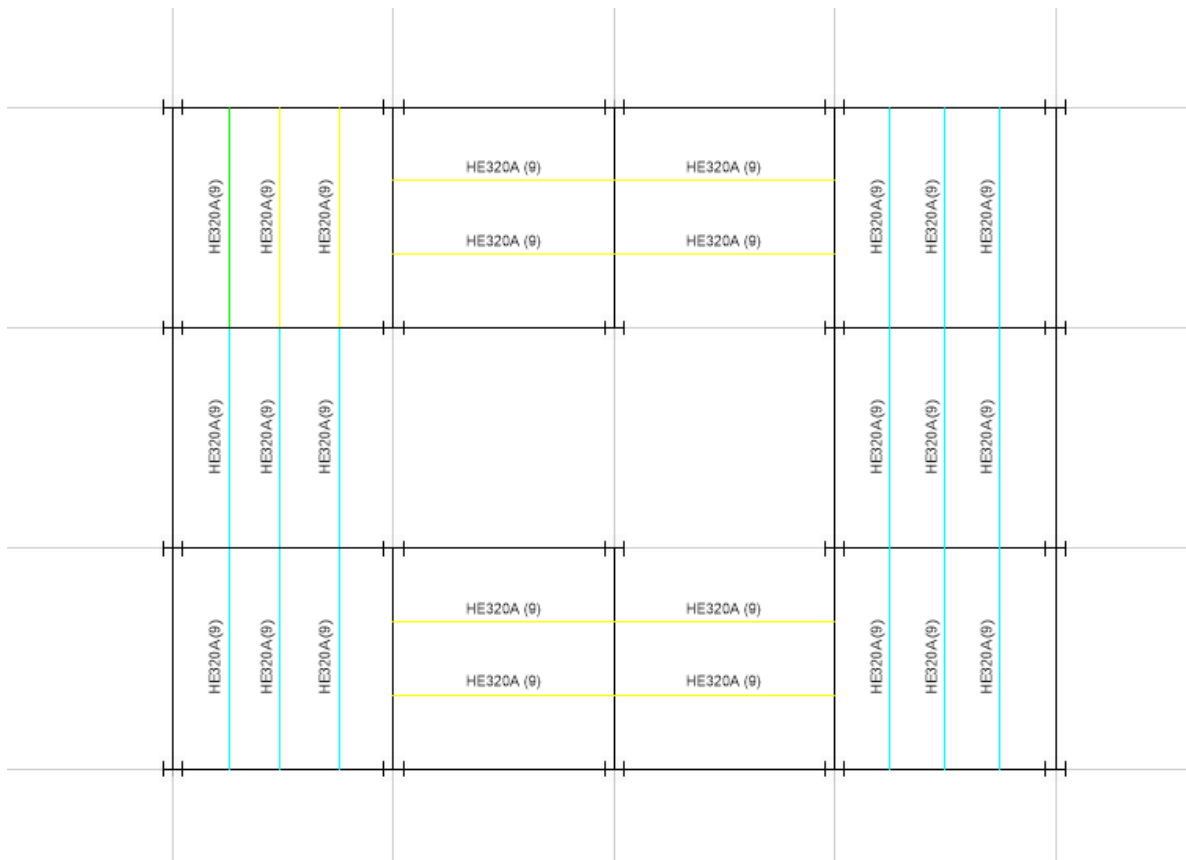
Σχήμα 3.28 Λόγος αντοχής μεταλλικών κύριων δοκών από υπόγειο -4 έως όροφο 35.



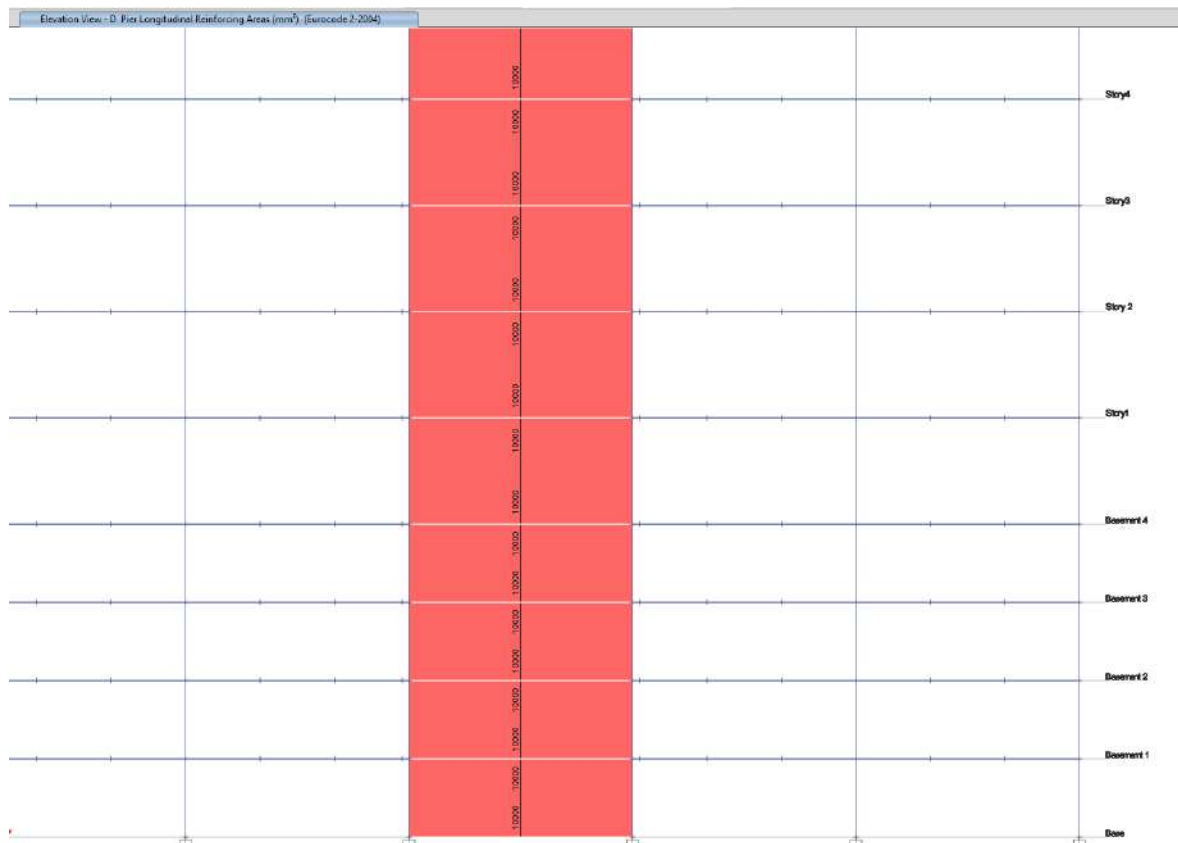
Σχήμα 3.29 Λόγος αντοχής μεταλλικών κύριων δοκών από όροφο 36 έως όροφο 48.



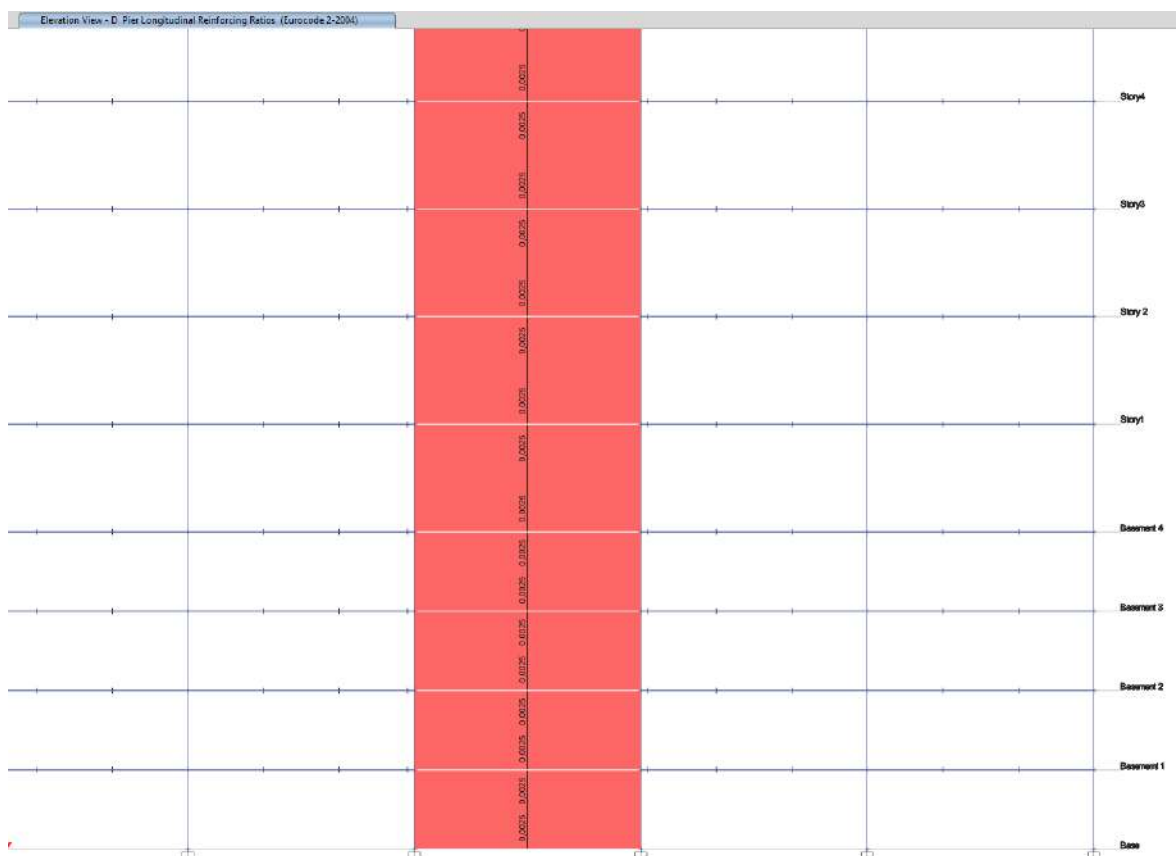
Σχήμα 3.30 Λόγος αντοχής σύμμικτων δοκών από υπόγειο -4 έως όροφο 35.



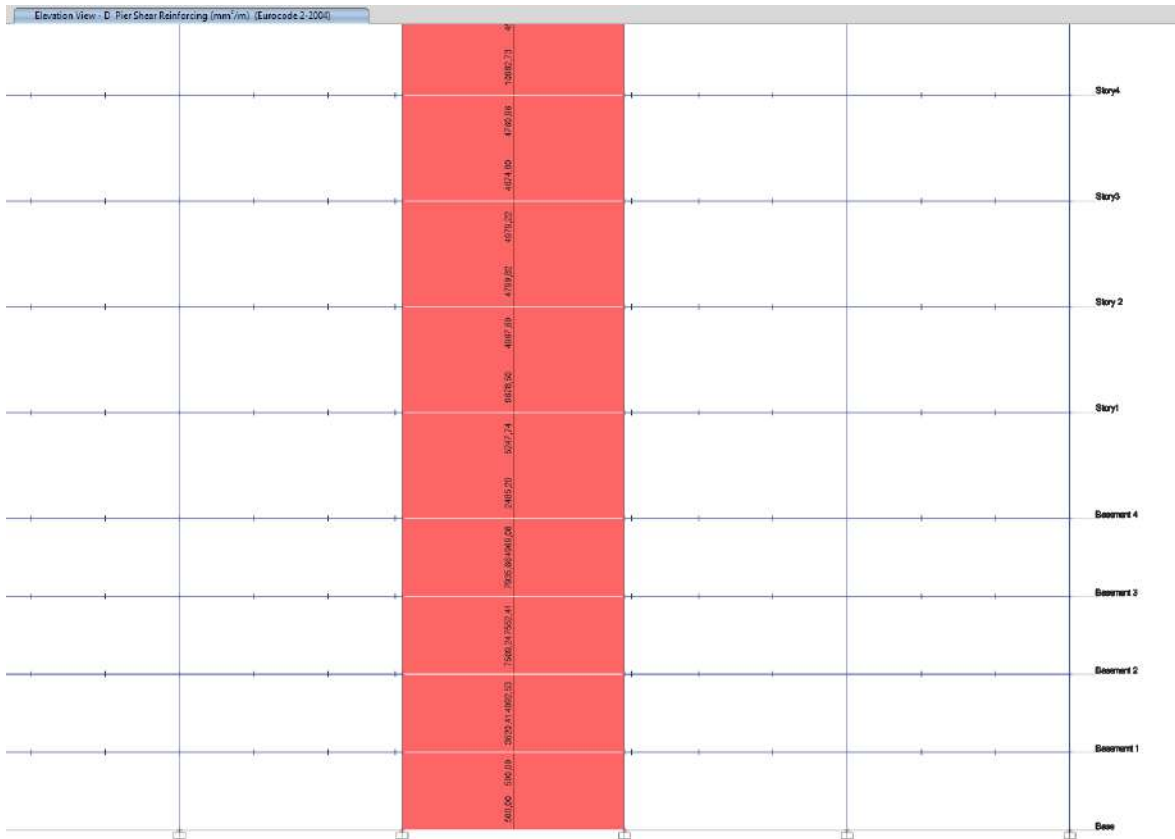
Σχήμα 3.31 Λόγος αντοχής σύμμικτων δοκών από όροφο 36 έως όροφο 48.



Σχήμα 3.32 Απαιτούμενος κατακόρυφος οπλισμός τοιχείου.



Σχήμα 3.33 Ποσοστό κατακόρυφου οπλισμού τοιχείου σκυροδέματος.



Σχήμα 3.34 Απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης τοιχείου.

- Ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης για το τοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος του πυρήνα σκυροδέματος του κτιρίου είναι $1779,26 \text{ mm}^2/\text{m}$ (σχήμα 3.34).
- Ο απαιτούμενος διαμήκης οπλισμός (κατακόρυφος) του τοιχείου σκυροδέματος είναι $10000 \text{ mm}^2/\text{m}$ (σχήμα 3.32).
- Τέλος, το ποσοστό κατακόρυφου οπλισμού (σχήμα 3.33) ήταν 0,0025.

3.8 Διαστασιολόγηση δομικών μελών και στοιχείων του κτιρίου.

ETABS Shear Wall Design-Πυρήνας σκυροδέματος στο σημείο του ανελκυστήρα.

Eurocode 2-2004 Pier Design

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X mm	Centroid Y mm	Length mm	Thickness mm	Height _{major} mm	Height _{minor} mm	Pier Ductility	LLRF
Story1	P34	24000	20000	8000	500	3800	3800	DC High	0,4

Material Properties

E _c (MPa)	f _{ck} (MPa)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f _{yk} (MPa)	f _{ywk} (MPa)
37000	C50/60 (50)	C50/60 (1)	Rebar (413,69)	Rebar (413,69)

Design Code Parameters

γ _c	γ _s	α _{cc}	α _{LCC}	IP _{MAX}	IP _{MIN}	P _{MAX}
1,5	1,15	1	0,85	0,04	0,0025	0,8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ mm	Left Y ₁ mm	Right X ₂ mm	Right Y ₂ mm	Length mm	Thickness mm
Top	Leg 1	24000	16000	24000	24000	8000	500
Bottom	Leg 1	24000	16000	24000	24000	8000	500

Flexural Design for N_{Ed}, M_{Ed2} and M_{Ed3}

Station Location	Required Rebar Area (mm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	N _{Ed} kN	M _{Ed2} kN-m	M _{Ed3} kN-m	Pier A _g mm ²
Top	10000	0,0025	0,0026	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	21127,4878	-422,5498	-28284,7095	4000000
Bottom	10000	0,0025	0,0026	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	21671,1131	-433,4223	-28805,2076	4000000

Shear Design

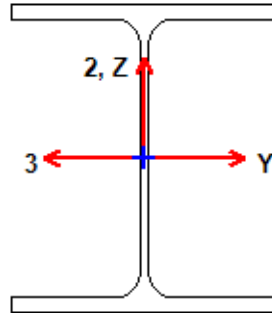
Station Location	ID	Rebar mm ² /m	Shear Combo	N _{Ed} kN	V _{Ed} kN	V _{Rdc} kN	V _{Rd,max} kN
Top	Leg 1	5247,74	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	19983,6365	10873,4455	3409,02	10873,4455
Bottom	Leg 1	2485,2	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	20520,3787	5149,3978	3473,4291	5149,3978

Boundary Element Check

Station Location	ID	Edge Length (mm)	Governing Combo	N _{Ed} kN	M _{Ed} kN-m	Normalized Comp. Stress	Normalized Stress Limit	C Depth mm
Top-Left	Leg 1	1200	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	21656,5672	-9541,7138	0,216	0,15	1778,1
Top-Right	Leg 1	1200	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	21656,5672	9613,5394	0,217	0,15	1778,1
Bottom-Left	Leg 1	1200	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	22203,4248	-10434,9336	0,225	0,15	1816,7
Bottom-Right	Leg 1	1200	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	22203,4248	10488,2506	0,226	0,15	1816,7

ETABS Steel Frame Design

EN 1993-1-1:2005/A1:2014 Steel Section Check (Strength Summary)



Element Details (Part 1 of 2)

Level	Element	Unique Name	Length (mm)	Location (mm)	Combo	Design Type
Basement 1	B173	69	2666,7	2666,7	1,35G+1,5Q	Beam

Element Details (Part 2 of 2)

Element Type	Section
Moment Resisting Frame	HE360A

Classification	MultiResponse	P-Delta Done?	Rolled	Consider Torsion?
Class 1	Step-by-Step - All	No	Yes	No

Design Parameters

National Annex	Combination Equation	Analysis Type	Reliability
CEN Default	Eq. 6.10	Method 2 (Annex B)	Class 2

Design Code Parameters

γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	A_n / A_g	LLRF	PLLF	D/C Limit
1	1	1,25	1	1	0,75	0,95

Section Properties

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	W _{el,y} (cm ³)	A _{v,z} (cm ²)	W _{pl,y} (cm ³)	I _t (cm ⁴)	I _w (cm ⁶)	I _{yz} (cm ⁴)
143	33090	152,1	1890,9	49,2	2088	153	2176576,2	0

I _z (cm ⁴)	i _z (mm)	W _{el,z} (cm ³)	A _{v,3} (cm ²)	W _{pl,z} (cm ³)	h (mm)
7887	74,3	525,8	111,5	802	350

A _{eff} (cm ²)	e _{Ny} (mm)	e _{Nz} (mm)	W _{ef,y} (cm ³)	W _{ef,z} (cm ³)	Angle of principal axes (deg)
143	0	0	1890,9	525,8	0

Material Properties

E (MPa)	f _y (MPa)	f _u (MPa)
210000	355	510

Stress Check Forces and Moments

Location (mm)	N _{Ed} (kN)	M _{y,Ed} (kN-m)	M _{z,Ed} (kN-m)	V _{2,Ed} (kN)	V _{3,Ed} (kN)	T _{Ed} (kN-m)
2666,7	0	494,0738	0	75,1126	0	0,0002

Demand/Capacity (D/C) Ratio EC3 6.3.3(4)-6.62

D/C Ratio =	$\frac{N_{Ed}}{(\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1})} + k_{zy} \left[\frac{M_{y,span,Ed}}{(\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1})} \right] + k_{zz} \left[\frac{M_{z,span,Ed}}{(M_{z,Rk} / \gamma_{M1})} \right]$
0,719 =	0 + 0,719 + 0

Basic Factors

Buckling Mode	K Factor	L Length (mm)	L _{cr} / i
Y-Y	1	6500	42,73
Y-Y Braced	1	6500	42,73
Z-Z	1	2666,7	35,907
Z-Z Braced	1	2666,7	35,907
LTB	1	2666,7	35,907

Axial Force Design

	N _{Ed} (kN)	N _{c,Rd} (kN)	N _{t,Rd} (kN)
Axial	0	5076,5	5076,5

N _{pl,Rd} (kN)	N _{u,Rd} (kN)	N _{cr,T} (kN)	N _{cr,TF} (kN)	A _n / A _g (Unitless)
5076,5	5250,96	26451,3166	26451,3115	1

Design Parameters for Axial Design

	Curve	α	N _{cr} (kN)	λ	φ	χ	N _{b,Rd} (kN)
Y-Y	b	0,34	16232,6376	0,559	0,717	0,857	4350,576
Y-Y Braced	b	0,34	16232,6376	0,559	0,717	0,857	4350,576
Z-Z	c	0,49	22987,7036	0,47	0,677	0,86	4364,029
Z-Z Braced	c	0,49	22987,7036	0,47	0,677	0,86	4364,029
Torsional TF	c	0,49	26451,3115	0,438	0,654	0,877	4452,0131

Moment Design

	M _{Ed} (kN-m)	M _{Ed,span} (kN-m)	M _{c,Rd} (kN-m)	M _{v,Rd} (kN-m)	M _{n,Rd} (kN-m)	M _{b,Rd} (kN-m)
Y-Y	443,9989	494,0738	741,24	741,24	741,24	687,1974
Z-Z	0	0	284,71	284,71	284,71	

Compactness

Section	Flange	Web	ε	α	ψ
Class 1	Class 1	Class 1	0,814	0,5	-1

LTB Factors

Curve	α _{LT}	λ _{LT}	φ _{LT}	χ _{LT}	I _w (cm ⁶)	M _{cr} (kN-m)
-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------------------------	------------------------

Curve	α_{LT}	λ_{LT}	φ_{LT}	χ_{LT}	I_w (cm ⁶)	M_{cr} (kN-m)
a	0,21	0,491	0,651	0,927	2176576,2	3076,6437

k_w	C_1	C_2	C_3	z_a (mm)	z_s (mm)	z_g (mm)	z_z (mm)	z_j (mm)
1	1,132	0,459	0,525	175	0	175	0	0

C_{my}	C_{mz}	C_{mLT}	k_{yy}	k_{yz}	k_{zy}	k_{zz}
1	1	0,995	1	0,6	1	1

	V_{Ed} (kN)	$V_{pl,Rd}$ (kN)	$V_{Ed}/V_{pl,Rd}$	ρ
2-Axis	75,1126	1008,3995	0,074	1
3-Axis	0	2285,2956	0	1

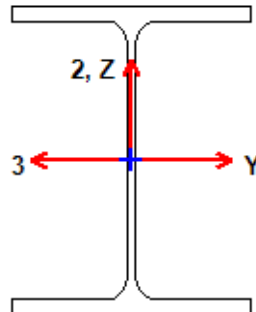
Shear Design

	V_{Ed} (kN)	T_{Ed} (kN-m)	$V_{c,Rd}$ (kN)	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	75,1126	0,0002	1008,3995	0,074	OK
3-Axis	0	0,0002	2285,2956	0	OK

	$V_{pl,Rd}$ (kN)	η	λ_{bar}	χ
2-Axis	1008,3995	1,2	0,448	1,2
3-Axis	2285,2956	1,2	0	1

ETABS Steel Frame Design

EN 1993-1-1:2005/A1:2014 Steel Section Check (Strength Summary)



Element Details (Part 1 of 2)

Level	Element	Unique Name	Length (mm)	Location (mm)	Combo	Design Type
Basement 1	B264	11046	2154,2	2154,2	1,35G+1,5Q	Beam

Element Details (Part 2 of 2)

Element Type	Section
Moment Resisting Frame	HE400A

Classification	MultiResponse	P-Delta Done?	Rolled	Consider Torsion?
Class 1	Step-by-Step - All	Yes	Yes	No

Design Parameters

National Annex	Combination Equation	Analysis Type	Reliability
CEN Default	Eq. 6.10	Method 2 (Annex B)	Class 2

Design Code Parameters

γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	A_n / A_g	LLRF	PLLF	D/C Limit
1	1	1,25	1	1	0,75	0,95

Section Properties

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	W _{el,y} (cm ³)	A _{v,z} (cm ²)	W _{pl,y} (cm ³)	I _t (cm ⁴)	I _w (cm ⁶)	I _{yz} (cm ⁴)
159	45070	168,4	2311,3	57,4	2562	193	2942076,4	0

I _z (cm ⁴)	i _z (mm)	W _{el,z} (cm ³)	A _{v,3} (cm ²)	W _{pl,z} (cm ³)	h (mm)
8564	73,4	570,9	120,3	873	390

A _{eff} (cm ²)	e _{Ny} (mm)	e _{Nz} (mm)	W _{ef,y} (cm ³)	W _{ef,z} (cm ³)	Angle of principal axes (deg)
159	0	0	2311,3	570,9	0

E (MPa)	f _y (MPa)	f _u (MPa)
210000	355	510

Stress Check Forces and Moments

Location (mm)	N _{Ed} (kN)	M _{y,Ed} (kN-m)	M _{z,Ed} (kN-m)	V _{2,Ed} (kN)	V _{3,Ed} (kN)	T _{Ed} (kN-m)
2154,2	0	437,6948	0	187,6701	0	-0,0002

Demand/Capacity (D/C) Ratio EC3 6.3.3(4)-6.61

D/C Ratio =	$\frac{N_{Ed}}{(\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1})} + k_{yy} \left[\frac{M_{y,span,Ed}}{(\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1})} \right] + k_{yz} \left[\frac{M_{z,span,Ed}}{(M_{z,Rk} / \gamma_{M1})} \right]$
0,503 =	0 + 0,503 + 0

Basic Factors

Buckling Mode	K Factor	L Length (mm)	L _{cr} / i
Y-Y	1	6500	38,607
Y-Y Braced	1	6500	38,607
Z-Z	1	2154,2	29,352
Z-Z Braced	1	2154,2	29,352
LTB	1	2154,2	29,352

Axial Force Design

	N _{Ed} (kN)	N _{c,Rd} (kN)	N _{t,Rd} (kN)
Axial	0	5644,5	5644,5

N _{pl,Rd} (kN)	N _{u,Rd} (kN)	N _{cr,T} (kN)	N _{cr,TF} (kN)	A _n / A _g (Unitless)
5644,5	5838,48	43576,8822	43576,8645	1

Design Parameters for Axial Design

	Curve	α	N _{cr} (kN)	λ	φ	χ	N _{b,Rd} (kN)
Y-Y	a	0,21	22109,5491	0,505	0,66	0,923	5207,7804
Y-Y Braced	a	0,21	22109,5491	0,505	0,66	0,923	5207,7804
Z-Z	b	0,34	38250,3798	0,384	0,605	0,932	5262,4608
Z-Z Braced	b	0,34	38250,3798	0,384	0,605	0,932	5262,4608
Torsional TF	b	0,34	43576,8645	0,36	0,592	0,942	5315,3743

Moment Design

	M _{Ed} (kN-m)	M _{Ed,span} (kN-m)	M _{c,Rd} (kN-m)	M _{v,Rd} (kN-m)	M _{n,Rd} (kN-m)	M _{b,Rd} (kN-m)
Y-Y	121,6852	437,6948	909,51	909,51	909,51	869,4903
Z-Z	0	0	309,915	309,915	309,915	

Compactness

Section	Flange	Web	ε	α	ψ
Class 1	Class 1	Class 1	0,814	0,5	-1

LTB Factors

Curve	α _{LT}	λ _{LT}	φ _{LT}	χ _{LT}	I _w (cm ⁶)	M _{cr} (kN-m)
-------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------------------------	------------------------

LTB Factors

Curve	α_{LT}	λ_{LT}	φ_{LT}	χ_{LT}	I_w (cm ⁶)	M_{cr} (kN-m)
a	0,21	0,388	0,595	0,956	2942076,4	6051,3917

k_w	C_1	C_2	C_3	z_a (mm)	z_s (mm)	z_g (mm)	z_z (mm)	z_j (mm)
1	1,365	0,553	1,73	195	0	195	0	0

C_{my}	C_{mz}	C_{mLT}	k_{yy}	k_{yz}	k_{zy}	k_{zz}
1	1	0,79	1	0,6	0,984	1

	V_{Ed} (kN)	$V_{pl,Rd}$ (kN)	$V_{Ed}/V_{pl,Rd}$	ρ
2-Axis	187,6701	1175,4413	0,16	1
3-Axis	0	2465,2499	0	1

Shear Design

	V_{Ed} (kN)	T_{Ed} (kN-m)	$V_{c,Rd}$ (kN)	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	187,6701	-0,0002	1175,4413	0,16	OK
3-Axis	0	-0,0002	2465,2499	0	OK

	$V_{pl,Rd}$ (kN)	η	λ_{bar}	χ
2-Axis	1175,4413	1,2	0,455	1,2
3-Axis	2465,2499	1,2	0	1

ETABS Shear Wall Design-Τοίχωμα υπογείου

Eurocode 2-2004 Pier Design

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X mm	Centroid Y mm	Length mm	Thickness mm	Height _{major} mm	Height _{minor} mm	Pier Ductility	LLRF
Basement 1	P18	0	28000	8000	700	2800	2800	DC High	0,4

Material Properties

E _c (MPa)	f _{ck} (MPa)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f _{yk} (MPa)	f _{ywk} (MPa)
36000	C45/55 (45)	C45/55 (1)	Rebar (413,69)	Rebar (413,69)

Design Code Parameters

γ _c	γ _s	α _{cc}	α _{LCC}	IP _{MAX}	IP _{MIN}	P _{MAX}
1,5	1,15	1	0,85	0,04	0,0025	0,8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ mm	Left Y ₁ mm	Right X ₂ mm	Right Y ₂ mm	Length mm	Thickness mm
Top	Leg 1	0	24000	0	32000	8000	700
Bottom	Leg 1	0	24000	0	32000	8000	700

Flexural Design for N_{Ed}, M_{Ed2} and M_{Ed3}

Station Location	Required Rebar Area (mm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	N _{Ed} kN	M _{Ed2} kN-m	M _{Ed3} kN-m	Pier A _g mm ²
Top	14000	0,0025	0,0025	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	13304,64	-310,4416	-1948,847	5600000
Bottom	14000	0,0025	0,0025	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	13816,3619	-322,3818	-2512,1793	5600000

Shear Design

Station Location	ID	Rebar mm ² /m	Shear Combo	N _{Ed} kN	V _{Ed} kN	V _{Rdc} kN	V _{Rd,max} kN
Top	Leg 1	2629,88	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	9241,8246	5449,1744	2451,7635	5449,1744
Bottom	Leg 1	2302,32	G+0,3Q-0,3Ex+Ey	9702,5593	4770,4537	2507,0517	4770,4537

Boundary Element Check

Station Location	ID	Edge Length (mm)	Governing Combo	N _{Ed} kN	M _{Ed} kN-m	Normalized Comp. Stress	Normalized Stress Limit	C Depth mm
Top-Left	Leg 1	0	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	13745,583	-1173,2037	0,087	0,15	1028,7
Top-Right	Leg 1	0	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	13745,583	855,6125	0,086	0,15	1028,7
Bottom-Left	Leg 1	0	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	14256,2339	-1493,6598	0,092	0,15	1056,8
Bottom-Right	Leg 1	0	G+0,3Q+Ex+0,3Ey	14256,2339	1205,7695	0,09	0,15	1056,8

Story Basement 1

Composite Beam B100

Length: 8 m Trib. Area: 10,67 m²

Location: X= 12 m Y= 29,3333 m

9 19 mm \varnothing studs

S355 rolled section, 355 MPa Cover PL

HE340A w. 0 mmx0 mm Cover PL

No camber

Composite Deck Properties

	Deck	Cover (mm)	w_c (kN/m ³)	f_{ck} (MPa)	Ribs	b_{eff} (mm)	E_{cm} (S) (MPa)	E_{cm} (D) (MPa)	E_{cm} (V) (MPa)
At Left, at Right	Deck1	75	24,9926	25		1000	15500	15500	20925

Loading (DCmpS2 combo)

	Constr.	Dead	SDL	Live NR	Factored
Line Load (kN/m) 0 m→8 m	0,000	2,047	0,000	0,000	2,764
Point Load (kN) @ 4 m	0,0000	115,6649	0,0000	53,3333	236,1475

Strength Checks

	Combo	Loc.	E_d	R_d	Ratio	Pass
Shear at Ends (kN)	DCmpS2	8 m	129,1301	911,6075	0,142	☑
Construction Bending (kN-m)	DCmpC1	4 m	371,5644	497,6161	0,747	☑
Positive Bending (kN-m)	DCmpS2	4 m	494,4078	656,7500	0,753	☑

Constructability and Serviceability Checks

	Combo	Loc.	I (mm ⁴)	Actual	Allowable	Ratio
Constr. Dead Defl. (mm)	DCmpD2	4 m	276900000	23,089	66,667	0,346
Post-concrete Defl. (mm)	DCmpD2	4 m	504167215,2	5,373	33,333	0,161
Live Load Defl. (mm)	DCmpD2	4 m	504167215,2	5,373	22,222	0,242
Total Defl. (mm)	DCmpD2	4 m	504167215,2	28,462	33,333	0,854
Walking Acceleration a_p /g ($\beta = 0,05$ $P_o = 289$)	N/A	N/A	916274123,6	0,001837	0,005	0,367

Section Properties

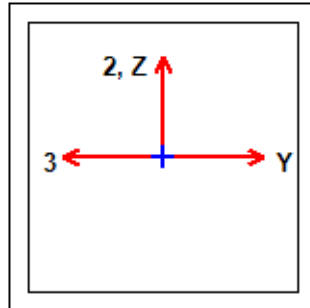
	PNA (mm)	Area (cm ²)	S_{bot} (mm ³)	I (mm ⁴)	M_{Rd} (kN-m)
Steel ($L_b = 8$ m $C_b = 1$)	165	133	1678181,8	276900000	497,6161
Steel fully braced	165	133	1678181,8	276900000	656,75
Vibrations Check ($E_c = 20925$)	10,2	431,9	N/A	916274123,6	N/A

Vibration Frequency Values

Element	L (m)	b_{eff} (m)	Loading	I_{eff} (mm ⁴)	D (mm ⁴ /m)	B (m)	W (kN)	Δ (mm)	f_n (Hz)
Slab	56	2,6667	12,379+0,192+0,527kN/m ²	18683024	18683024/2,6667	40			
Beam	8	2,6667	3,005kN/m	916274123,6	916274123,6/2,6667	1*3,0231	1*316,7529	7,4	6,56
Panel							316,7529	7,4	6,56

ETABS Steel Frame Design

EN 1993-1-1:2005/A1:2014 Steel Section Check (Strength Summary)



Element Details (Part 1 of 2)

Level	Element	Unique Name	Length (mm)	Location (mm)	Combo	Design Type
Story35	D17	12143	8856,6	0	G+0,3Q-Ex+0,3Ey	Brace

Element Details (Part 2 of 2)

Element Type	Section
Moment Resisting Frame	BRACED BEAMS

Classification	MultiResponse	P-Delta Done?	Rolled	Consider Torsion?
Class 1	Step-by-Step - All	Yes	No	No

Design Parameters

National Annex	Combination Equation	Analysis Type	Reliability
CEN Default	Eq. 6.10	Method 2 (Annex B)	Class 2

Seismic Parameters

MultiResponse	P-Δ Done?	Ignore Seismic Code?	Ignore Special EQ Load?	D/P Plug Welded?
Envelopes	Yes	No	No	Yes

Design Code Parameters

γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	A_n / A_g	LLRF	PLLF	D/C Limit
1	1	1,25	1	1	0,75	0,95

Design Code Parameters

q	Ω	γ_{ov}
4	1	1,1

Section Properties

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	W _{el,y} (cm ³)	A _{v,2} (cm ²)	W _{pl,y} (cm ³)	I _t (cm ⁴)	I _w (cm ⁶)	I _{yz} (cm ⁴)
564	208492	192,3	8339,7	316,8	9954	311469	0	0

I_z (cm ⁴)	i_z (mm)	$W_{el,z}$ (cm ³)	$A_{v,3}$ (cm ²)	$W_{pl,z}$ (cm ³)	h (mm)
208492	192,3	8339,7	300	9954	500

A_{eff} (cm ²)	e_{Ny} (mm)	e_{Nz} (mm)	$W_{ef,y}$ (cm ³)	$W_{ef,z}$ (cm ³)	Angle of principal axes (deg)
564	0	0	8339,7	8339,7	0

Material Properties

E (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
210000	355	510

Stress Check Forces and Moments

Location (mm)	N_{Ed} (kN)	$M_{y,Ed}$ (kN-m)	$M_{z,Ed}$ (kN-m)	$V_{2,Ed}$ (kN)	$V_{3,Ed}$ (kN)	T_{Ed} (kN-m)
0	-637,3945	-9,3745	14,6982	7,1751	2,1117	-4,8303

Demand/Capacity (D/C) Ratio EC3 6.3.3(4)-6.62

D/C Ratio =	$\frac{N_{Ed}}{(\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1})} + k_{zy} \left[\frac{M_{y,span,Ed}}{(\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1})} \right] + k_{zz} \left[\frac{M_{z,span,Ed}}{(M_{z,Rk} / \gamma_{M1})} \right]$
0,446 =	0,041 + 0,001 + 0,004

Basic Factors

Buckling Mode	K Factor	L Length (mm)	L_{cr} / i
Y-Y	1	4428,3	23,032
Y-Y Braced	1	4428,3	23,032
Z-Z	1	8856,6	46,064
Z-Z Braced	1	8856,6	46,064
LTB	1	8856,6	46,064

Axial Force Design

	N_{Ed} (kN)	$N_{c,Rd}$ (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)
Axial	-637,3945	20022	20022

$N_{pl,Rd}$ (kN)	$N_{u,Rd}$ (kN)	$N_{cr,T}$ (kN)	$N_{cr,TF}$ (kN)	A_n / A_g (Unitless)
20022	20710,08	3402675,1405	55089,7562	1

Design Parameters for Axial Design

	Curve	α	N_{cr} (kN)	λ	φ	χ	$N_{b,Rd}$ (kN)
Y-Y	c	0,49	220359,0249	0,301	0,57	0,948	18989,2116
Y-Y Braced	c	0,49	220359,0249	0,301	0,57	0,948	18989,2116
Z-Z	c	0,49	55089,7562	0,603	0,78	0,784	15690,973
Z-Z Braced	c	0,49	55089,7562	0,603	0,78	0,784	15690,973
Torsional TF	c	0,49	55089,7562	0,603	0,78	0,784	15690,973

Moment Design

	M_{Ed} (kN-m)	$M_{Ed,span}$ (kN-m)	$M_{c,Rd}$ (kN-m)	$M_{v,Rd}$ (kN-m)	$M_{n,Rd}$ (kN-m)	$M_{b,Rd}$ (kN-m)
Y-Y	0	-9,3745	3533,67	3533,67	3533,67	3533,67

Moment Design

	M_{Ed} (kN-m)	$M_{Ed,span}$ (kN-m)	$M_{c,Rd}$ (kN-m)	$M_{v,Rd}$ (kN-m)	$M_{n,Rd}$ (kN-m)	$M_{b,Rd}$ (kN-m)
Y-Y	0	-9,3745	3533,67	3533,67	3533,67	3533,67
Z-Z	0	14,6982	3533,67	3533,67	3533,67	

Compactness

Section	Flange	Web	ϵ	α	ψ
Class 1	Class 1	Class 1	0,814	0,573	-0,936

LTB Factors

Curve	α_{LT}	λ_{LT}	φ_{LT}	χ_{LT}	I_w (cm ⁶)	M_{cr} (kN-m)
d	0,76	0,149	0,491	1	0	160219,7587

k_w	C_1	C_2	C_3	z_a (mm)	z_s (mm)	z_g (mm)	z_z (mm)	z_j (mm)
1	1,452	0,553	1,73	250	0	250	0	0

C_{my}	C_{mz}	C_{mLT}	k_{yy}	k_{yz}	k_{zy}	k_{zz}
0,6	0,95	0,9	0,602	0,579	0,361	0,966

	V_{Ed} (kN)	$V_{pl,Rd}$ (kN)	$V_{Ed}/V_{pl,Rd}$	ρ
2-Axis	7,1751	6493,109	0,001	1
3-Axis	2,1117	6148,7775	3,434E-04	1

Shear Design

	V_{Ed} (kN)	T_{Ed} (kN-m)	$V_{c,Rd}$ (kN)	Stress Ratio	Status Check
2-Axis	7,1751	-4,8303	6493,109	0,001	OK
3-Axis	3,3191	-4,8303	6148,7775	0,001	OK

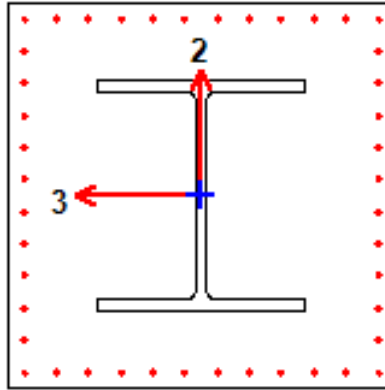
	$V_{pl,Rd}$ (kN)	η	λ_{bar}	χ
2-Axis	6493,109	1,2	0,209	1,2
3-Axis	6148,7775	1,2	0	1

End Reaction Axial Forces

Left End Reaction (kN)	Load Combo	Right End Reaction (kN)	Load Combo
-637,3945	G+0,3Q-Ex+0,3Ey	-576,6425	G+0,3Q-Ex+0,3Ey

ETABS Encased Composite Column Design

EN 1993-1-1:2005/A1:2014 Composite Steel Section Check (Strength Summary)



Element Details

Level	Element	Unique Name	Location (mm)	Combo	Section	Classification
Basement 4	C11	5618	0	1,35G	FSec4	Compact

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (mm)	LLRF	Stress Ratio Limit
2800,0	0,4	0,95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$	τ_b	EA factor	EI factor
0,169	0,001	1	0,8	0,8

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_v	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0,9	0,75	0,9	0,75	0,9	1	1

Section Properties

A (cm ²)	J (cm ⁴)	I ₃₃ (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	A _{v3} (cm ²)	A _{v2} (cm ²)
4791,4	14231175,3	8581862,1	7586066,4	4163	3591,1

Design Properties of Embedded Steel Section

b _f (mm)	h (mm)	t _f (mm)	t _w (mm)	A (cm ²)	I ₃₃ (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	Z ₃₃ (cm ³)	Z ₂₂ (cm ³)
800	900	50	40	1127,5	1628971,5	427149,1	40695,8	16340

Design Properties of Reinforcement and Concrete Section

b (mm)	h (mm)	A _g (cm ²)	A _c (cm ²)	A _{sr} (cm ²)	A _{sri(maj)} (cm ²)	A _{sri(min)} (cm ²)	I _{sr(maj)} (cm ⁴)	I _{sr(min)} (cm ⁴)
--------	--------	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	--	--	---	---

Design Properties of Reinforcement and Concrete Section

b (mm)	h (mm)	A _g (cm ²)	A _c (cm ²)	A _{sr} (cm ²)	A _{sr(maj)} (cm ²)	A _{sr(min)} (cm ²)	I _{sr(maj)} (cm ⁴)	I _{sr(min)} (cm ⁴)
1500	1500	22500	21205,2	167,2	0	0	532277,7	532277,7

Material Properties

E _c (MPa)	E _s (MPa)	E _r (MPa)	f' _c (MPa)	F _y (MPa)	f _{y, rebar} (MPa)
36000	210000	199948	45	355	413,69

Demand/Capacity (D/C) Ratio

D/C Ratio =	(P_r / P_c) + (8/9)(M_{r33} / M_{c33}) + (8/9)(M_{r22} / M_{c22})
0,301 =	0,301 + 5,758E-05 + 7,29E-06

Stress Check forces and Moments

Location (mm)	P _u (kN)	M _{u33} (kN-m)	M _{u22} (kN-m)	V _{u2} (kN)	V _{u3} (kN)	T _u (kN-m)
0	-28782,3189	-1,6111	-0,1665	-13,2524	-0,6767	0

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1-1a)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	0,843	1	1	1	1	0,578
Minor Bending	0,843	1	1	1	1	0,553

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
0,843	0	1,729

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn.(H1-1a)

P _u Force (kN)	φP _{nc} Capacity (kN)	φP _{nt} Capacity (kN)
28782,3189	95689,5798	42251,041

Moments and Capacities

	M _u Moment (kN-m)	φM _n Capacity (kN-m)	φM _n No L _{TBD} (kN-m)
Major Bending	1,6111	24873,3318	24873,3318
Minor Bending	0,1665	20295,739	

Shear Design

	V _u Force (kN)	φV _n Capacity (kN)
Major Shear	13,2524	6901,2
Minor Shear	0,6767	15336

3.9 Δομικό γυαλί – Glass facade- Διαστασιολόγηση

Η θεωρητική αντοχή του γυαλιού υπαγορεύεται από την μοριακή συνοχή των δεσμών πυριτί-ου και οξυγόνου. Για το κοινό γυαλί (soda-lime) η θεωρητική δύναμη συνοχής είναι $\sigma_{coh}=20000$ MPa η οποία όμως είναι μερικές εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη από την πραγματική αντοχή. Έχει αποδειχθεί πως όλα τα χαρακτηριστικά αντοχής του γυαλιού έχουν εξήγηση στις ατέλειες που υπάρχουν στην επιφάνεια του και στις άκρες του. Έτσι και η εφελκυστική αντοχή εξαρτάται από τις ατέλειες αυτές και οι οποίες έχουν προέλθει είτε κατά την διάρκεια της κατασκευής του είτε κατά την τοποθέτηση του.

Κατά την παραγωγή του επίπεδου γυαλιού τέτοιες ατέλειες εμφανίζονται σε όλη την επιφάνεια με μήκος $a < 10\mu\text{m}$. Χτυπήματα κατά την διάρκεια της τοποθέτησης, γρατσουνιές ή μικρές κρούσεις με άλλα αντικείμενα επιφέρουν ατέλειες της τάξης των $100\mu\text{m}$. Η εφελκυστική δύναμη που επιβάλλεται στο γυαλί συγκεντρώνεται στις άκρες αυτών των ατελειών αυτών υπό μορφή αυξημένων εφελκυστικών τάσεων. Αν η δύναμη συνοχής σ_{coh} στη περιοχή υπερκαλυφθεί τότε τα άτομα χωρίζουν και η ρωγμή μεγαλώνει. Αυτού του τύπου μηχανισμός οδηγεί σε μια ψαθυρή μορφή αστοχίας.

Εκτός από την παρουσία και την διανομή των ατελειών στην επιφάνεια, η αντοχή του γυαλιού εξαρτάται και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Πρόκειται για χαρακτηριστικό που απαιτεί προσοχή κατά τον σχεδιασμό γιατί, αντίθετα με άλλα υλικά, η απόκλιση της αντοχής είναι μεγάλη και μπορεί να αυξηθεί επιπλέον κατά την διάρκεια της ζωής του υλικού.

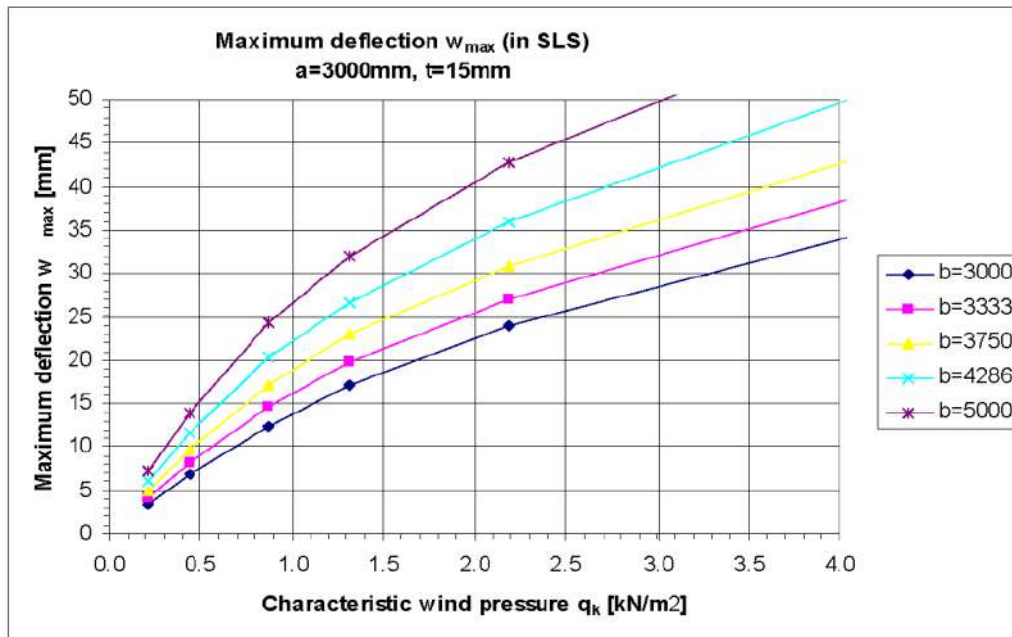
Η θεμελιώδης θεωρία για το κριτήριο αστοχίας διατυπώθηκε από τον Griffith το 1920 και βασίζεται σε μια ενεργειακή ισορροπία σύμφωνα με την οποία η ρωγμή θα μεγαλώσει σε ένα υπό ένταση στοιχείο εάν η αύξηση της απελευθερώνει περισσότερη ενέργεια από αυτήν που απαιτείται για την δημιουργία νέων ρωγμών.

3.10 Σχεδιασμός με βάση το νέο Ευρωπαϊκό προσχέδιο prEN 13474.

Από το 1999 δημιουργήθηκε το προσχέδιο του ευρωπαϊκού προτύπου για τον υπολογισμό του γυαλιού σε υαλοστάσια το οποίο αποτελείται από τρία μέρη, το πρώτο αφορά γενικές διατάξεις υπολογισμού το δεύτερο υπολογισμό με ομοιόμορφη φόρτιση και το τρίτο φόρτιση με γραμμικά φορτία. Αν και το πρότυπο αυτό θα έπρεπε να είχε γίνει EN (κανονικό πρότυπο για εφαρμογή) την στιγμή που γράφεται το παρόν κείμενο έχει αποσυρθεί για διορθώσεις.

Ο σχεδιασμός σύμφωνα με το πρότυπο αυτό αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Τον προσδιορισμό της αντοχής σχεδιασμού η οποία είναι συνάρτηση της φορτιζόμενης επιφάνειας, της διάρκειας επιβολής φορτίου του υλικού και βεβαίως των μερικών συντελεστών ασφαλείας που ορίζονται στο πρότυπο.
2. Τον προσδιορισμό των φορτίων με βάση τους αντίστοιχους ευρωκώδικες φόρτισης (π.χ. EN 1991-1-4 Δράση στις κατασκευές – Γενικές δράσεις – Δράση ανέμου, κα)
3. Τον προσδιορισμό της μέγιστης τάσης καθώς και της παραμόρφωσης του βέλους.
4. Εδώ αξιολογείται ότι λόγω του πολύ μικρού πάχους που έχει το γυαλί σε σχέση με το αναπτυσσόμενο βέλος (πολλαπλάσιο του μισού πάχους της διατομής), δημιουργούνται θέματα μεγάλων παραμορφώσεων (γεωμετρικά μη γραμμική συμπεριφορά). Για το λόγο αυτό το προσχέδιο του κανονισμού δίνει έναν εύκολο τρόπο, για προκαθοριζόμενες φορτίσεις, του προσδιορισμού της έντασης και του βέλους μη γραμμικά.
5. Τον προσδιορισμό μιας ισοδύναμης έντασης που λαμβάνει υπόψη της την μειωμένη πιθανότητα αστοχίας όταν η μέγιστη τάση είναι περιορισμένη σε έκταση.



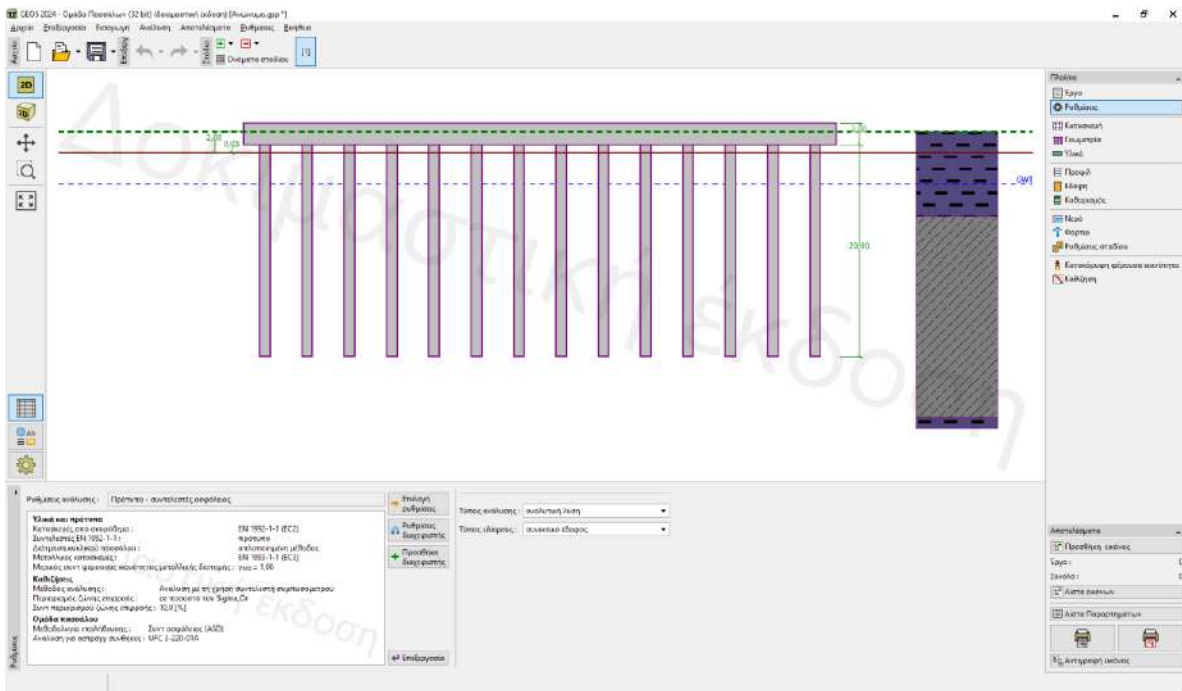
Διάγραμμα Β-8: Για ορθογωνικούς υαλοπίνακες πλευράς $a=3000\text{mm}$ και πάχους $t=15\text{mm}$, περιμετρικά εδρασμένοι, σε συνάρτηση με την άλλη διάσταση b και την χαρακτηριστική τιμή της ανεμοπίεσης q_k . Στο άνω διάγραμμα υπολογίζεται η ενεργός τάση σε ULS και στο κάτω το μέγιστο βέλος σε SLS

Σχήμα 3.36 Διαγράμματα προεκτίμησης υαλοπινάκων σύμφωνα με το prEN 13474-2(2000).

4 . Θεμελίωση με ομάδα πασσάλων

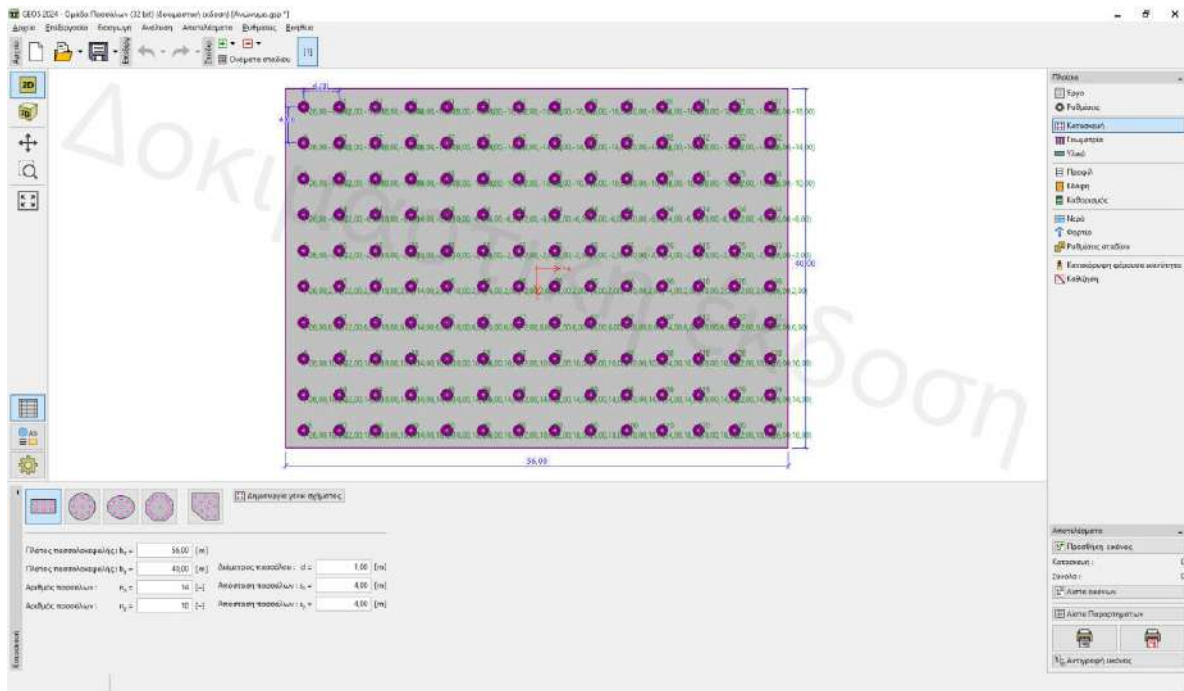
Για τον προσδιορισμό και την διαστασιολόγηση της θεμελίωσης αυτού του πολυώροφου κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GEO5 Software και συγκεκριμένα το κομμάτι που αφορά τις ομάδες πασσάλων που είναι και η θεμελίωση που επιλέχτηκε να πραγματοποιηθεί στην κατασκευή.

Η επίλυση της θεμελίωσης ξεκίνησε με τον ορισμό των υλικών, των κανονισμών όπως και των συντελεστών ασφαλείας όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1. παρακάτω.



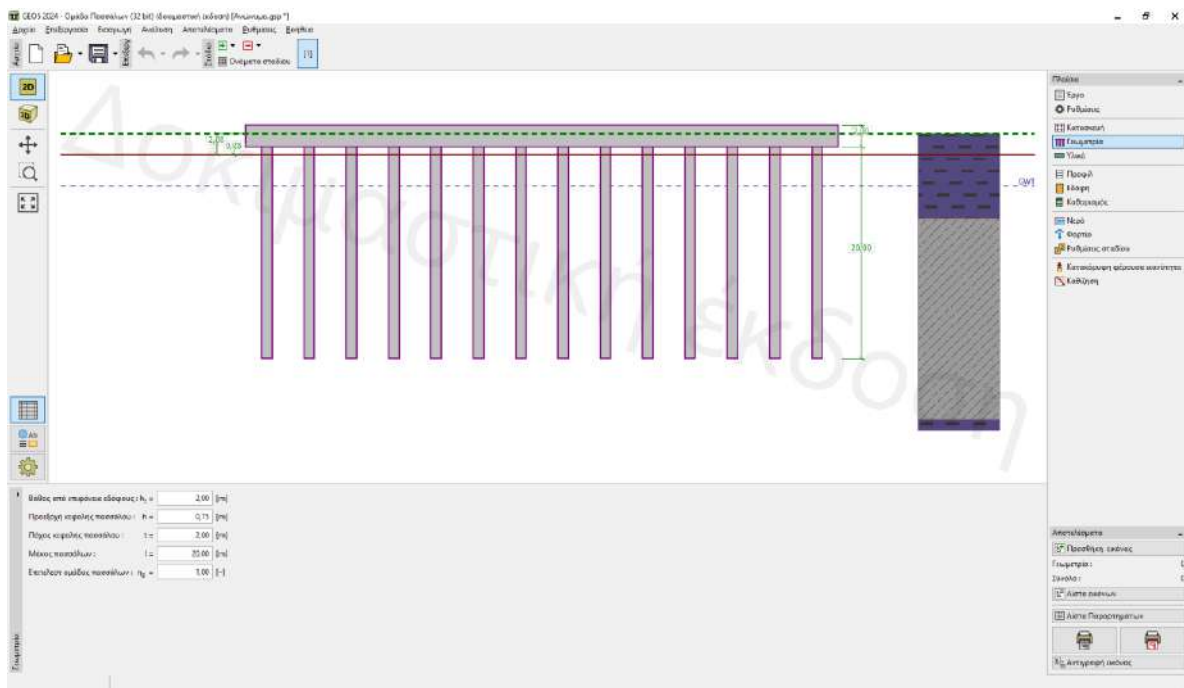
Σχήμα 4.1 Κανονισμοί και συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιήθηκαν.

Στη συνέχεια ορίστηκαν οι διαστάσεις της θεμελίωσης και της πλάκας έδρασης των πασσάλων με βάση και την γεωμετρία της ανωδομής η οποία παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Οι διαστάσεις λοιπόν της θεμελίωσης είναι 56m κατά X και 40m κατά Y με διάμετρο κάθε πασσάλου 1m. Τέλος, οι πάσσαλοι τοποθετήθηκαν ανά 4m μεταξύ τους όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2.



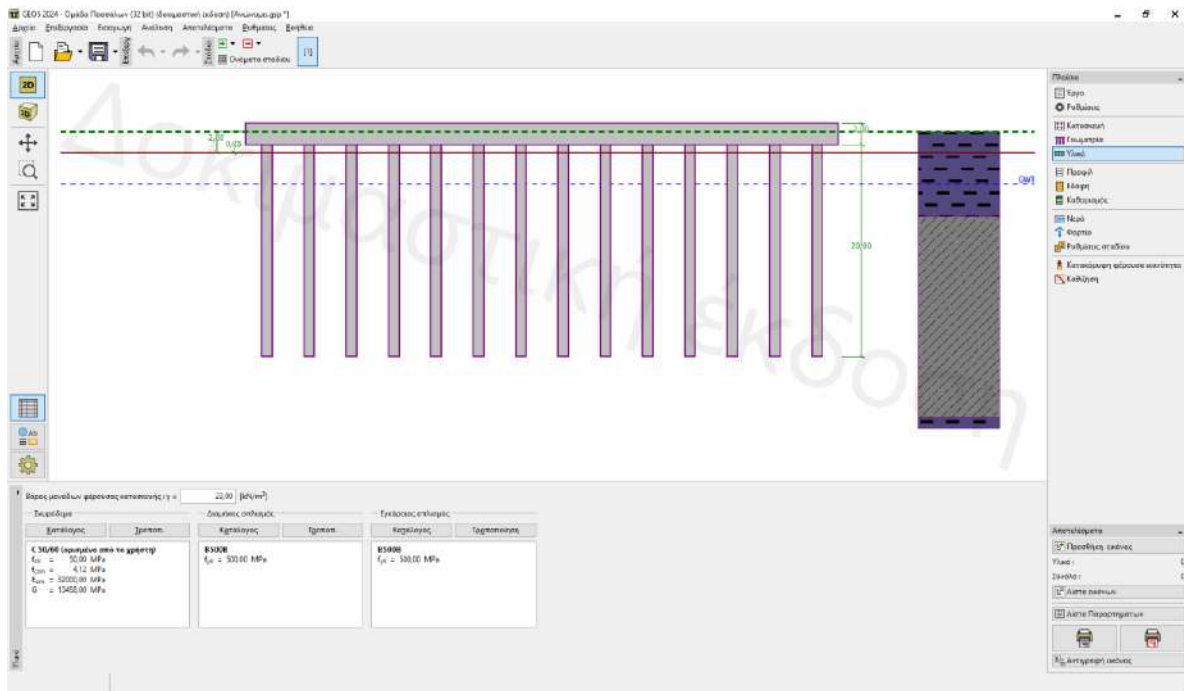
Σχήμα 4.2 Γεωμετρία θεμελίωσης.

Παρακάτω στο σχήμα 4.3 φαίνονται κάποια από τα χαρακτηριστικά της διατομής των πασσάλων όπως επίσης και το βάθος σχετικά με την επιφάνεια του εδάφους από το οποίο ξεκινάνε.

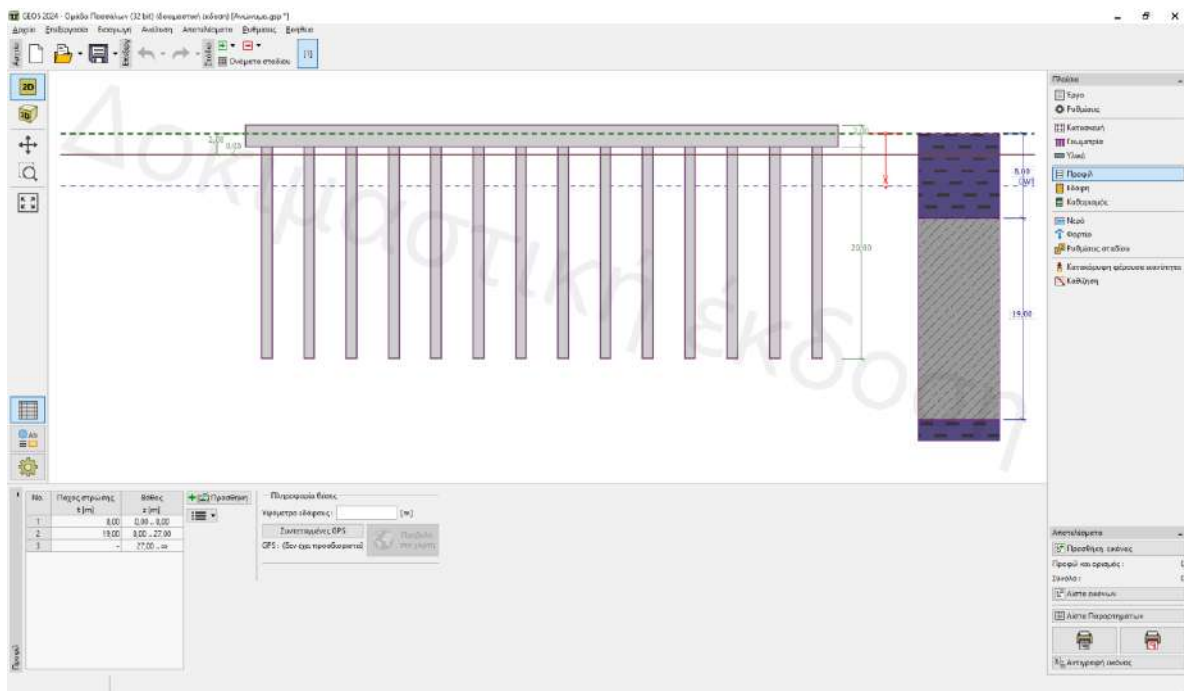


Σχήμα 4.3 Χαρακτηριστικά της διατομής των πασσάλων και βάθος έμψηξής τους.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι σκυρόδεμα C50/60 και χάλυβας αντοχής B500C. Ακόμα μελετήθηκαν ουσιαστικά 2 στρώσεις εδάφους χωρίς πληροφορίες από κάποια εργαστηριακή έρευνα. Μία στρώση από άργιλο και μετά από ένα μεγάλο βάθος θεωρήθηκε ότι βρέθηκε βραχώδες έδαφος.

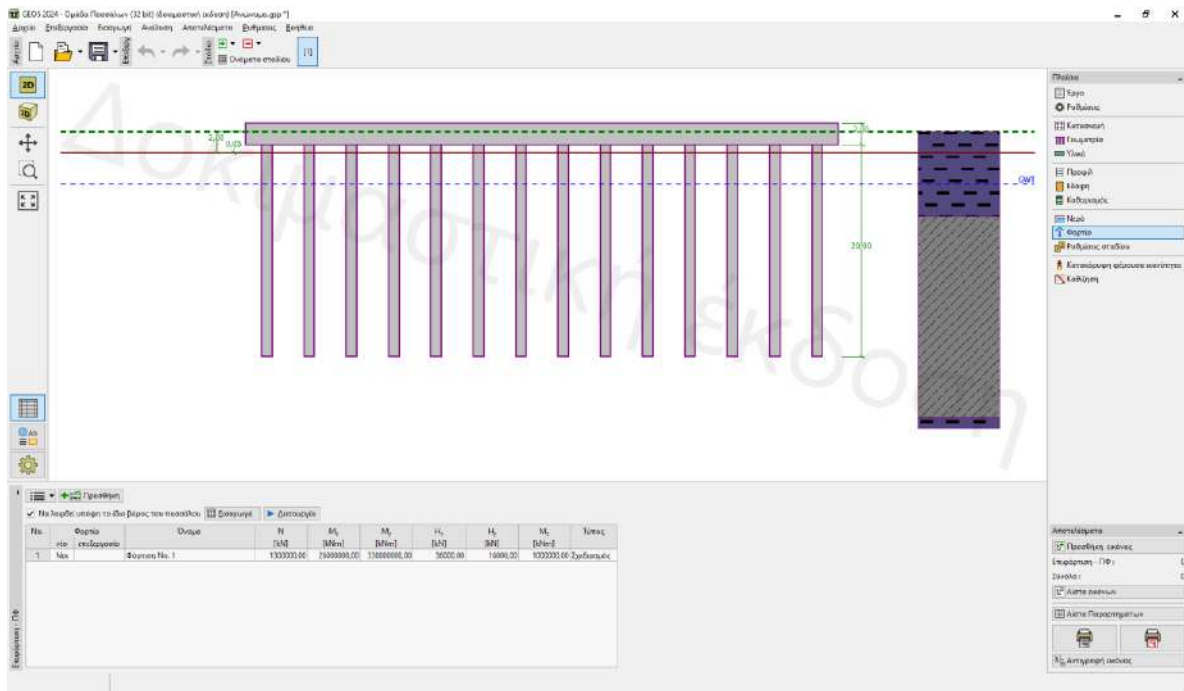


Σχήμα 4.4 Αντοχές υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.



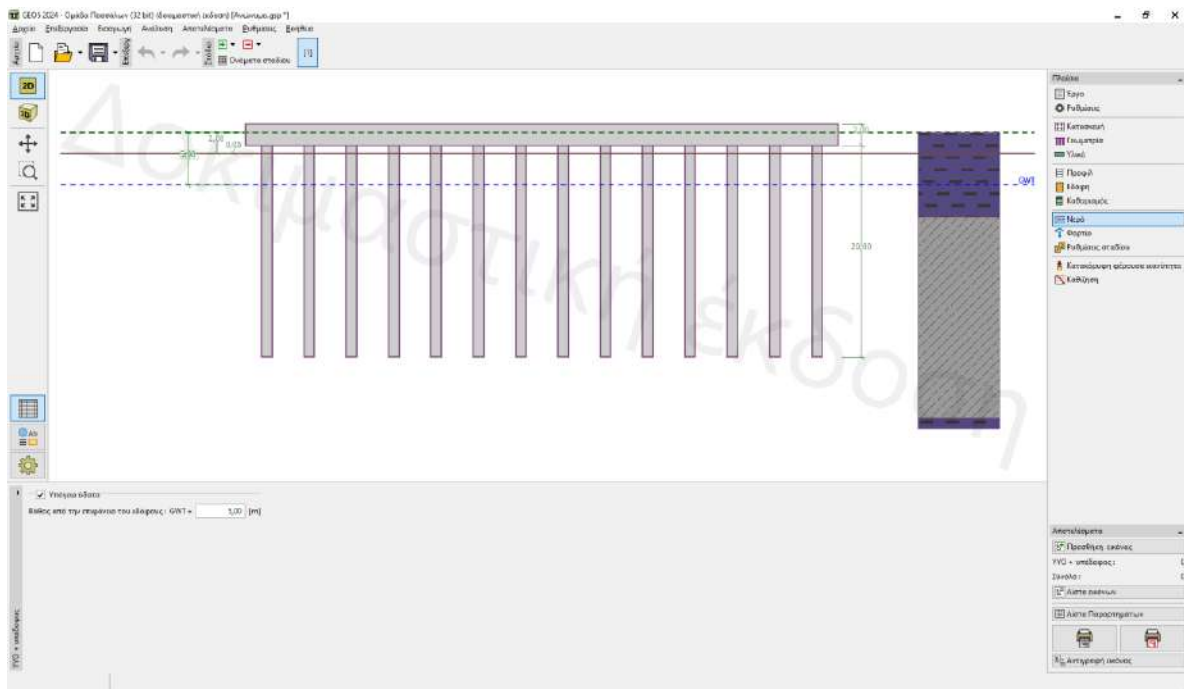
Σχήμα 4.5 Στρώσεις εδάφους.

Οι συνδυασμοί φόρτισης που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση είναι οι δυσμενέστεροι που προέκυψαν από την επίλυση του κτιρίου στο ETBAS2020 και τα αποτελέσματα που πήραμε για τις αντιδράσεις στην βάση του κτιρίου όπως αυτές παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα.



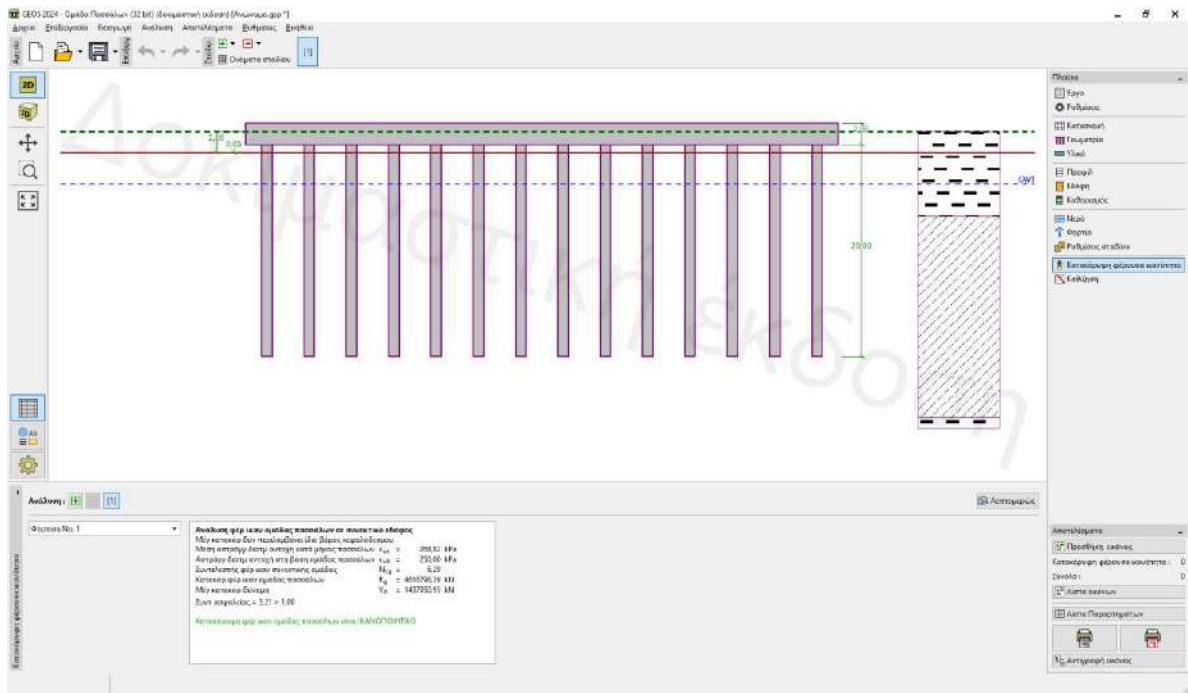
Σχήμα 4.6 Δυσμενέστεροι συνδυασμοί φόρτισης.

Επιπρόσθετα να αναφέρουμε ότι θεωρήθηκε ότι βρέθηκε νερό στα 5m κατά την εκσκαφή το οποίο με ειδικούς σωλήνες αποστράγγισης και με την χρήση κατάλληλων μέσων αποστραγγίστηκε.



Σχήμα 4.7 Εμφάνιση νερού στα 5m.

Μετά από την επίλυση της θεμελίωσης στο λογισμικό GEO5 προέκυψε ότι επαρκεί έναντι των φορτίων που προέκυψαν από την ανωδομή με ένα συντελεστή ασφαλείας $3.21 > 1.00$.



Σχήμα 4.8 Συντελεστής ασφαλείας που προέκυψε και τελικός έλεγχος.

5. Συνδέσεις μελών

Στην ενότητα αυτή μελετήθηκαν κάποιες τυπικές συνδέσεις του φορέα μεταξύ μεταλλικών μελών (δοκών) που χρησιμοποιήθηκαν στους ορόφους του κτιρίου.

Για την διαστασιολόγηση και τον έλεγχο των συνδέσεων αυτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό IDEA STATICA.

Παρακάτω ακολουθούν τα βήματα και η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο λογισμικό ώστε να γίνει ο έλεγχος που αναφέρουμε.

Στο επόμενο στιγμιότυπο οθόνης βλέπουμε τις γωνίες με τις οποίες τοποθετήθηκαν τα μέλη μεταξύ τους κατά την κατασκευή όπως επίσης και τις διατομές που χρησιμοποιήθηκαν. Οι διατομές αυτές είναι οι HEA320 και η HEA400.

Project item HEA400-HEA320

Design

Name	HEA400-HEA320
Description	
Analysis	Stress, strain/ loads in equilibrium

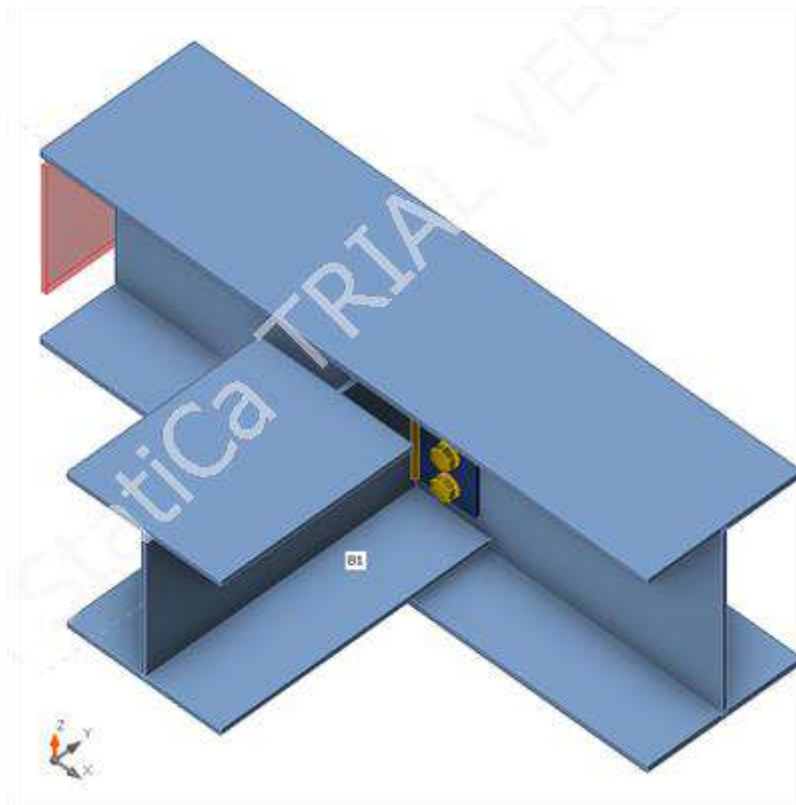
Members

Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B	3 - CON1(HEA400A)	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B1	4 - CON1(HEA320A)	-90.0	0.0	0.0	0	0	-1

Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
B / begin	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
B / end		Node	0
B1 / end		Position	5



Σχήμα 3D απεικόνιση της σύνδεσης μεταξύ της δοκού HEA320 και της δοκού HEA400.

Παρακάτω παρουσιάζεται από τι υλικό είναι κατασκευασμένα τα μέλη των συνδέσεων όπως επίσης και οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν.

Cross-sections

Name	Material
3 - CON1(HEA400A)	S 355
4 - CON1(HEA320A)	S 355

Bolts

Name	Diameter [mm]	f_y [MPa]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M22 8.8	22	640.0	800.0	380

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B / Begin	0.0	0.0	50.0	-0.3	0.0	0.0
	B / End	0.0	0.0	50.0	-0.3	0.0	0.0
	B1 / End	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0

Unbalanced forces

Name	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	0.0	0.0	-100.0	0.5	0.0	0.0

Check

Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	2.0 < 5.0%	OK
Bolts	27.7 < 100%	OK
Welds	68.7 < 100%	OK
Buckling	9.61	

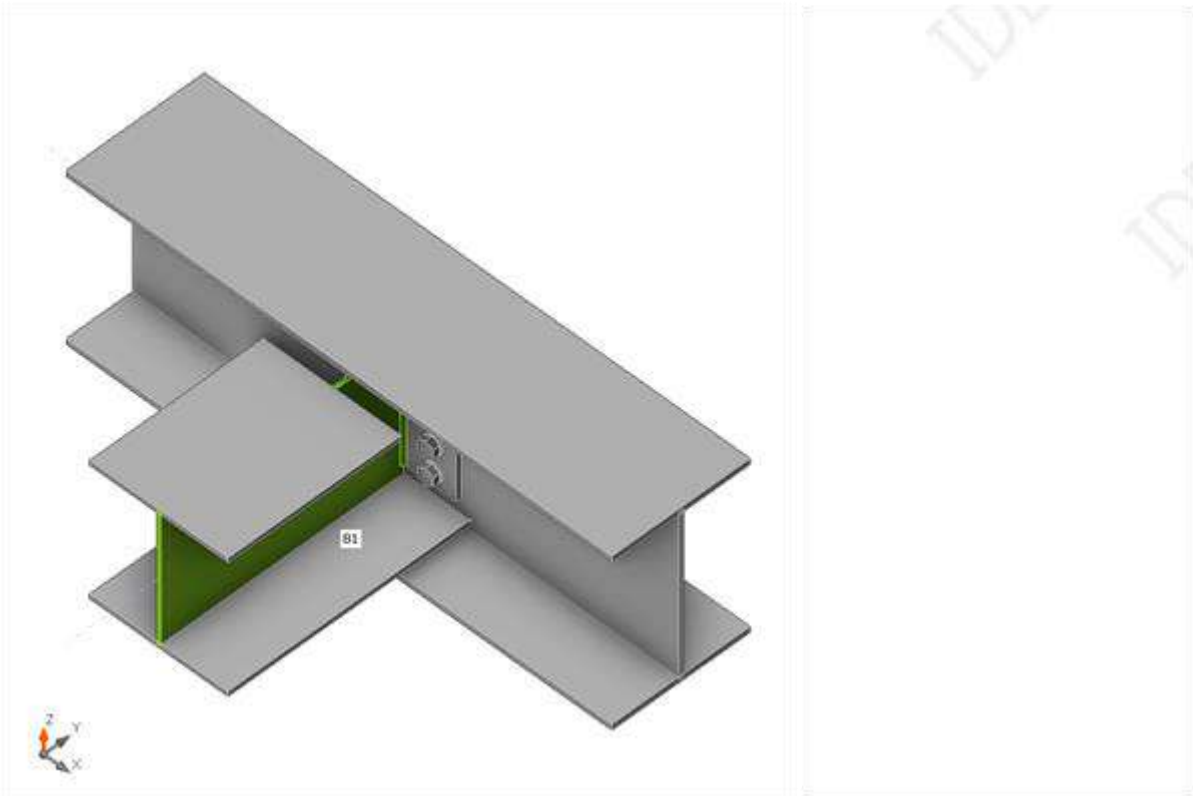
Plates

Name	t_p [mm]	Loads	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B-bfl 1	13.0	LE1	60.0	0.0	0.0	OK
B-tfl 1	13.0	LE1	59.9	0.0	0.0	OK
B-w 1	9.5	LE1	164.4	0.0	6.6	OK
B1-bfl 1	11.0	LE1	110.7	0.0	0.0	OK
B1-tfl 1	11.0	LE1	154.8	0.0	0.0	OK
B1-w 1	8.0	LE1	307.2	0.0	0.0	OK
EP1	10.0	LE1	170.7	0.0	9.0	OK

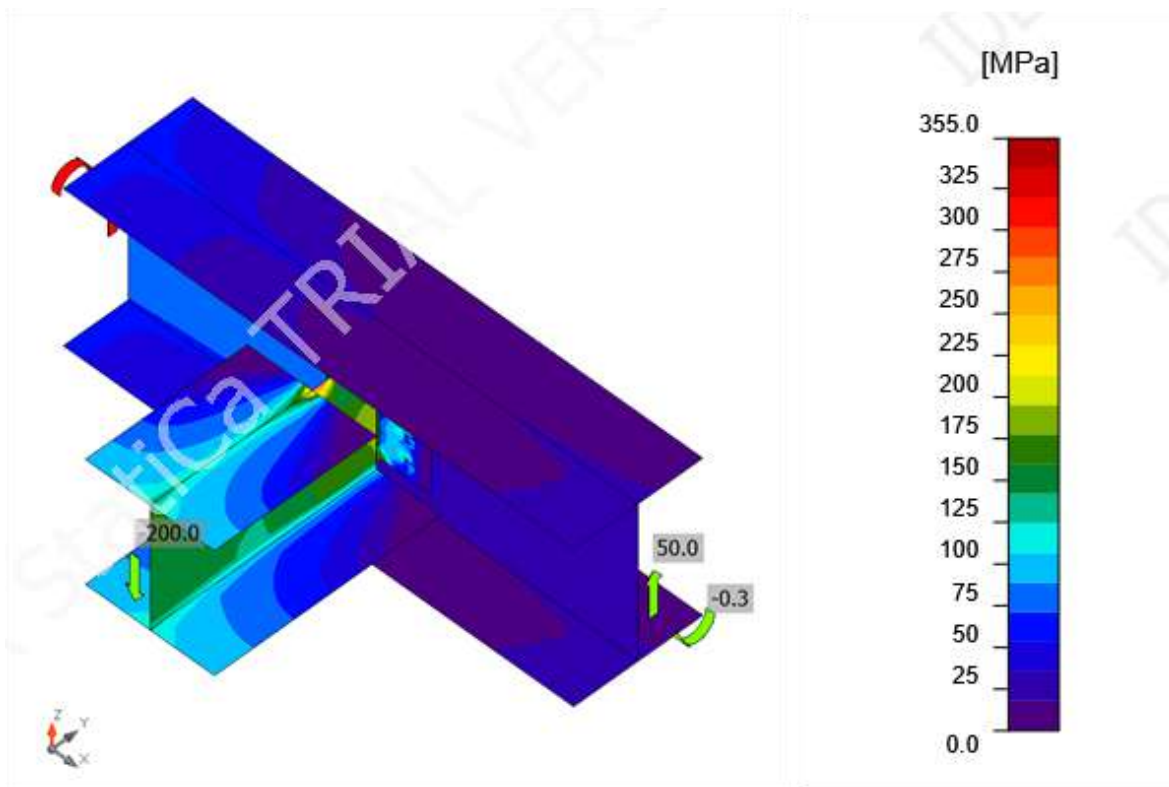
Design data

Material	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [%]
S 355	355.0	5.0

Symbol explanation



Στην παρακάτω 3D απεικόνιση φαίνεται ο έλεγχος τάσεων που έλαβε μέρος στα μέλη που απαρτίζουν την σύνδεση όπως και οι έλεγχοι που αφορούν τους κοχλίες και τα ελάσματα που τοποθετήθηκαν στην σύνδεση.



Bolts - Κοχλίες

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	U_t [%]	U_s [%]	U_{ts} [%]	Detailing	Status
	B1	M22 8.8 - 1	LE1	4.1	24.0	89.8	2.4	26.7	22.3	OK	OK
	B2	M22 8.8 - 1	LE1	4.7	24.9	89.8	2.7	27.7	23.4	OK	OK
	B3	M22 8.8 - 1	LE1	3.7	24.8	125.8	2.1	21.3	22.8	OK	OK
	B4	M22 8.8 - 1	LE1	3.7	25.9	125.8	2.1	22.2	23.7	OK	OK
	B5	M22 8.8 - 1	LE1	1.2	24.7	119.5	0.7	21.3	21.8	OK	OK
	B6	M22 8.8 - 1	LE1	1.2	25.7	119.5	0.7	22.1	22.6	OK	OK
	B7	M22 8.8 - 1	LE1	0.2	24.5	119.5	0.1	21.1	21.2	OK	OK
	B8	M22 8.8 - 1	LE1	0.3	25.5	119.5	0.2	21.9	22.0	OK	OK

Design data

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M22 8.8 - 1	174.5	251.7	116.4

Symbol explanation

$F_{t,Ed}$ Tension force

Welds

Item	Edge	T_w [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{pI} [%]	σ_{\perp} [MPa]	τ_{\perp} [MPa]	τ_{\parallel} [MPa]	Ut [%]	Ut _c [%]	Detailing	Status
EP1	B1-w 1	▲ 5.0 L	240	LE1	298.4	0.0	65.3	65.4	-154.8	68.5	52.3	OK	OK
		▲ 5.0 L	240	LE1	299.1	0.0	64.3	-64.0	156.1	68.7	52.6	OK	OK

Design data

Material	f_u [MPa]	β_w [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	0.9 σ [MPa]
S 355	490.0	0.90	435.6	352.8

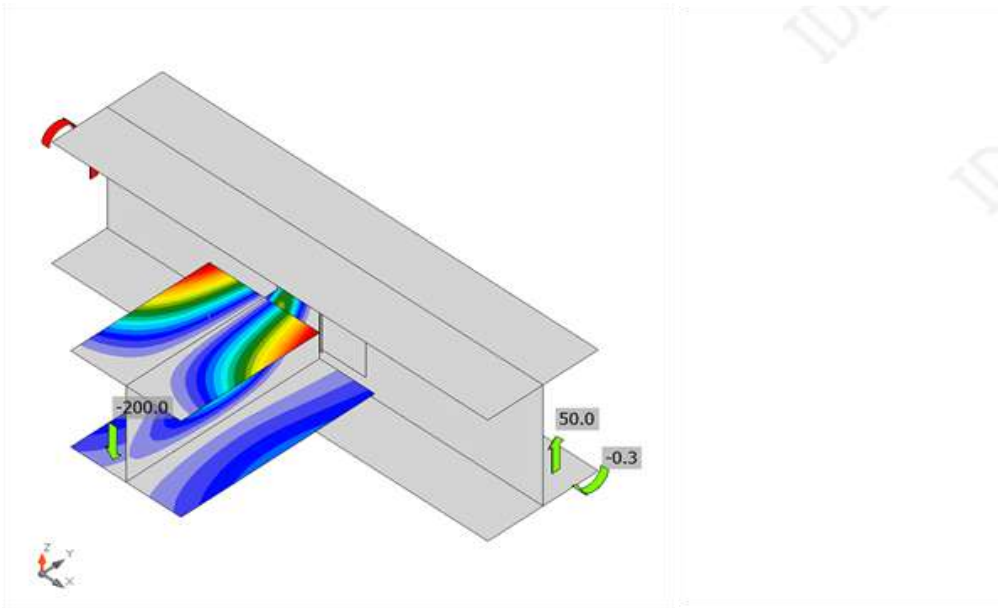
Εδώ βλέπετε τον έλεγχο και την απεικόνιση του ελέγχου κατάρρευσης της σύνδεσης.

Symbol explanation

T_w	Throat thickness a
L	Length
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
ϵ_{pI}	Strain
σ_{\perp}	Perpendicular stress
τ_{\perp}	Shear stress perpendicular to weld axis
τ_{\parallel}	Shear stress parallel to weld axis
Ut	Utilization
Ut _c	Weld capacity estimation
▲	Fillet weld
f_u	Ultimate strength of weld
β_w	Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
0.9 σ	Perpendicular stress resistance: $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$

Buckling

Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	9.61
	2	11.06
	3	13.74
	4	16.97
	5	19.03
	6	19.86



Code settings-Συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιήθηκαν

Item	Value	Unit	Reference
Safety factor γ_{M0}	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor γ_{M1}	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor γ_{M2}	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor γ_{M3}	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Safety factor γ_C	1.50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Safety factor γ_{Inst}	1.20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Joint coefficient β_j	0.67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0.10	-	
Friction coefficient - concrete	0.25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0.30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0.05	-	EN 1993-1-5
Detailing	Yes		
Distance between bolts [d]	2.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance check	Both		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Use calculated a_b in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		EN 1992-4
Local deformation check	Yes		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Local deformation limit	0.03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Geometrical nonlinearity (GMNA)	Yes		Analysis with large deformations for hollow section joints
Braced system	No		EN 1993-1-8: 5.2.2.5

6 . Συμπεράσματα

Η κατασκευή ενός πολυώροφου κτιρίου (ουρανοξύστη) στον Ελλαδικό χώρο, παρά τα προφανή οφέλη και την αναπτυξιακή του σημασία, περιλαμβάνει μια σειρά από προκλήσεις και παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ακολουθούν τα βασικά συμπεράσματα:

Πλεονεκτήματα

1. **Οικονομική Ανάπτυξη:** Η κατασκευή ουρανοξυστών μπορεί να προσελκύσει επενδύσεις, να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας και να ενισχύσει την τοπική οικονομία.
2. **Αξιοποίηση Γης:** Σε περιοχές με περιορισμένο χώρο, οι ουρανοξύστες επιτρέπουν την αξιοποίηση του διαθέσιμου οικοπέδου σε ύψος, αντί για πλάτος, παρέχοντας μεγαλύτερη χωρητικότητα.

Σεισμολογία: Η Ελλάδα είναι μια σεισμογενής περιοχή. Η κατασκευή ουρανοξυστών απαιτεί προηγμένη τεχνολογία και αυστηρά πρότυπα αντισεισμικής προστασίας.

Η κατασκευή ουρανοξύστη στην Ελλάδα μπορεί να είναι εφικτή και ωφέλιμη, υπό την προϋπόθεση ότι θα ληφθούν υπόψη οι συγκεκριμένες γεωγραφικές, σεισμολογικές και πολιτισμικές παράμετροι της περιοχής. Οι σωστές τεχνολογικές και αρχιτεκτονικές λύσεις, μαζί με την αναγκαία προσαρμογή του ρυθμιστικού πλαισίου, μπορούν να οδηγήσουν σε επιτυχημένα έργα που θα ενισχύσουν την οικονομική και αστική ανάπτυξη της χώρας.

Είδαμε ότι ο σχεδιασμός ενός πολύ υψηλού κτιρίου είναι δυνατός στον Ελλαδικό χώρο. Ο άνεμος για μια περιοχή σαν το Ελληνικό με χαμηλό συντελεστή σεισμού είναι περισσότερο κρίσιμος όπως φάνηκε άλλωστε και από τις μετακινήσεις που προκαλούνται στον φορέα λόγω δυνάμεων ανέμου σε 2 κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις (X και Y). Το περιβάλλον είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην κατασκευή του κτιρίου. Για να καταφέρουμε να κατασκευάσουμε τέτοιου ύψους κτίρια θα πρέπει να είναι εφικτή η κατασκευή μεγάλης επιφάνειας θεμελίωση.

Βιβλιογραφία και αναφορές

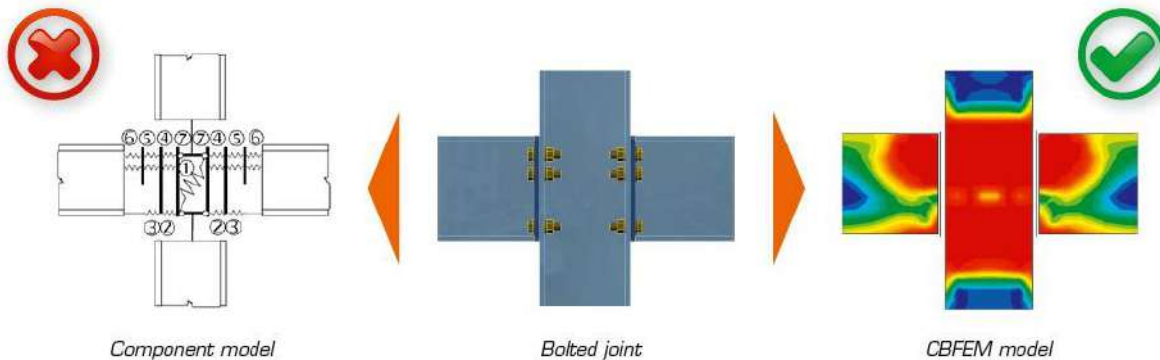
- (1) Ιωάννης Κ. Βάγιας "Σύμμικτες Κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα 3η έκδοση", Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- (2) Ι.Χ. Ερμόπουλος ,Ι.Κ Βάγιας , Ιωαννίδης Γ. "Σιδηρές κατασκευές ",Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- (3) Ι.Χ.Ερμόπουλος, Κ.Ι Βάγιας, Ιωαννίδης Γ. "Σχεδιασμός Δομικών Έργων από Χάλυβα", Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- (4) Ι.Χ.Ερμόπουλος,"Ευρωκώδικας 1,Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών", Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- (5) Ι. Βάγιας, Χ. Γαντές, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης "Παραδείγματα εφαρμογής σε ειδικά θέματα μεταλλικών κατασκευών.
- (6) Ι.Χ. Ερμόπουλος "Ευρωκώδικας 1, Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών Ερμηνευτικά σχόλια και παραδείγματα εφαρμογής.
- (7) Ευρωκώδικας 1 - Δράσεις σε κτίρια
- (7) Ευρωκώδικας 3 Μέρος 1 - Γενικοί κανόνες για κτίρια.
- (8) Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός σχεδιασμός, Γενικοί Κανόνες, Σεισμικές Δράσεις Και Κανόνες Για Κτίρια.
- (9) Ευρωκώδικας 4 - Δράσεις ανέμου.
- (10) prEN 13474-1 Glass in building – Design of glass panes -Part 1 : General basis of design.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Θεωρία συνδέσεων.

Theoretical Background

CBFEM versus Component method

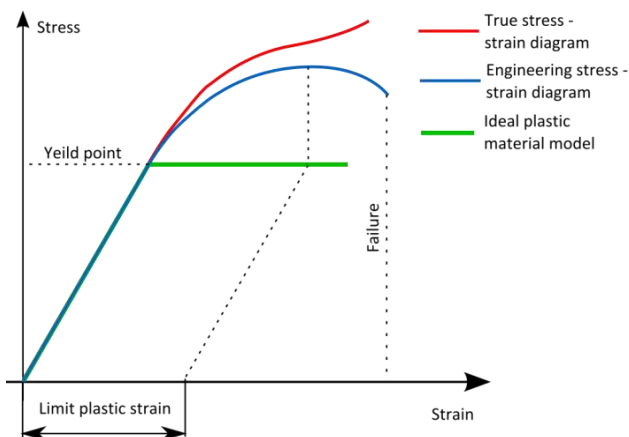
The weak point of standard Component method is in analyzing of internal forces and stress in a joint. CBFEM replaces specific analysis of internal forces in joint with general FEA.



Check methods of specific components like bolts or welds are done according to standard Component method (Eurocode).

For the fasteners – bolts and welds – special FEM components had to be developed to model the welds and bolts behaviour in joint. All parts of 1D members and all additional plates are modelled as plate/walls. These elements are made of steel (metal in general) and the behaviour of this material is significantly nonlinear.

The real stress-strain diagram of steel is replaced by the ideal plastic material for design purposes in building practice. The advantage of ideal plastic material is, that only yield strength and modulus of elasticity must be known to describe the material curve. The granted ductility of construction steel is 15 %. The real usable value of limit plastic strain is 5% for ordinary design (1993-1-5 appendix C paragraph C.8 note 1). The stress in steel cannot exceed the yield strength when using the ideal elastic-plastic stress-strain diagram.



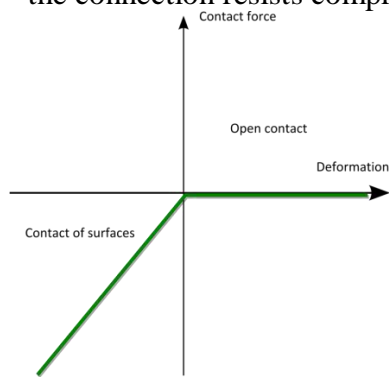
Real tension curve and the ideal elastic-plastic diagram of material

CBFEM method aims to model the real state precisely. Meshes of plates / walls are not merged, no intersections are generated between them, unlike it is used to when modelling structures and buildings. Mesh of finite elements is generated on each individual plate independently on mesh of other plates.

Between the meshes, special massless force interpolation constraints are added. They ensure the connection between the edge of one plate and the surface or edge of the other plate.

This unique calculation model provides very good results – both for the point of view of precision and of the analysis speed. The method is protected by patent.

The steel base plate is placed loosely on the concrete foundation. It is a contact element in the analysis model – the connection resists compression fully, but does not resist tension.



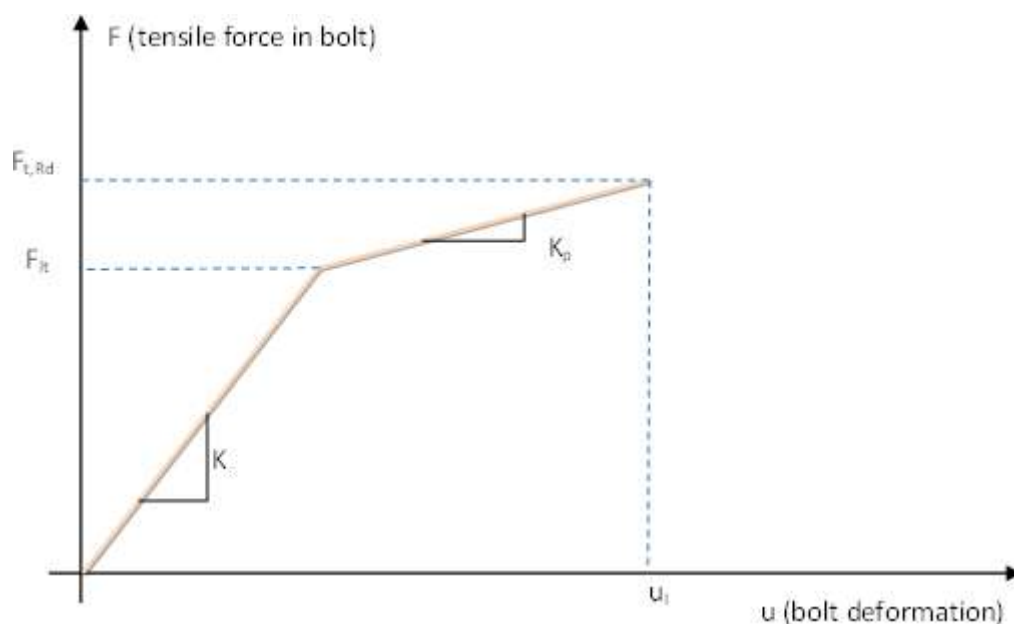
Stress-strain diagram of contact between the concrete block and the base plate

Welds are modelled using a special elastoplastic element, which is added to the interpolation links between the plates. The element respects the weld throat thickness, position and orientation. The plasticity state is controlled by stresses in the weld throat section. The plastic redistribution of stress in welds allows for stress peaks to be redistributed along the longer part of the weld.

Bolted connection consists of two or more clasped plates and one or more bolts. Plates are placed loosely on each other.

A contact element is inserted between plates in the analysis model, which acts only in compression. No forces are carried in tension.

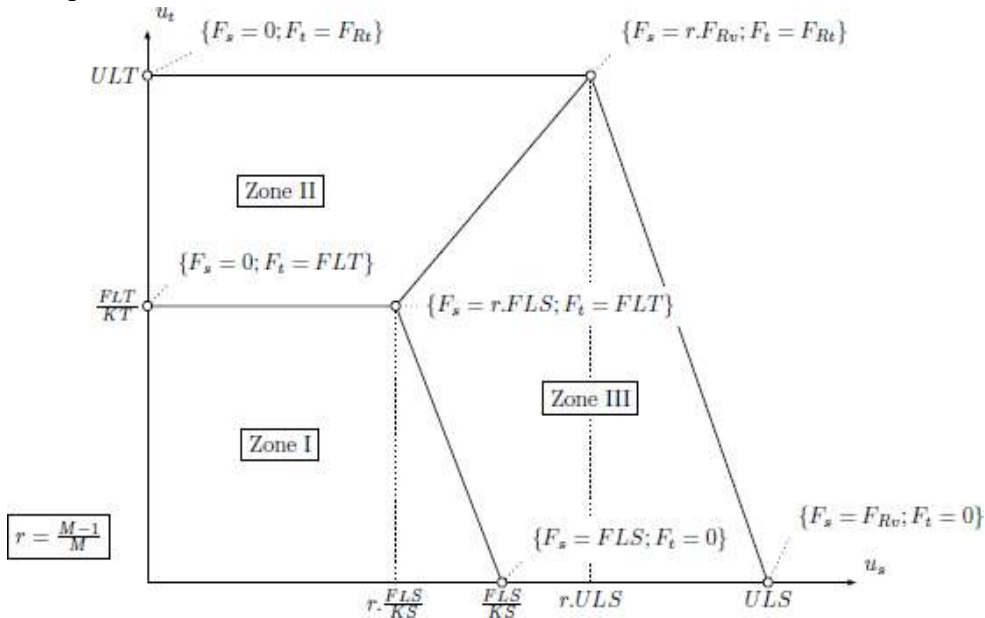
Shear force is taken by bearing. Special model for its transferring in the force direction only is implemented. IDEA StatiCa Connection can check bolts for interaction of shear and tension. The bolt behavior is implemented according to the following picture.



Bolt – tension

Symbols explanation:

- K – linear stiffness of bolt,
- K_p – stiffness of bolt at plastic branch,
 F_{lt} – limit force for linear behaviour of bolt,
- $F_{t,Rd}$ – limit bolt resistance,
- u_l – limit deformation of bolt.

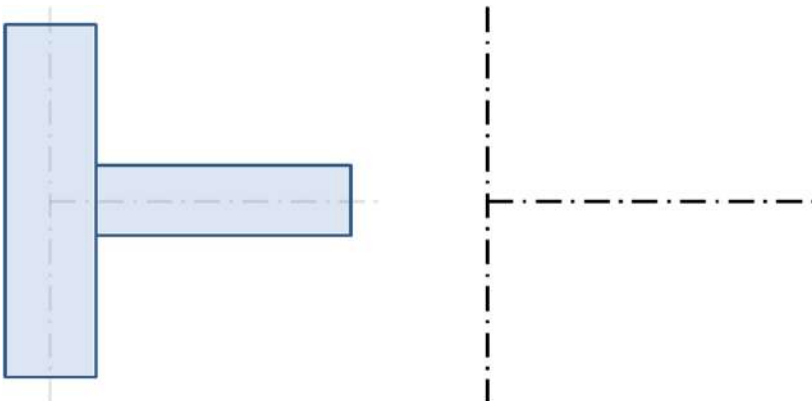


Bolt – interaction of shear and tension

The concrete block in CBFEM is modelled using Winkler-Pasternak subsoil model. The stiffness of subsoil is determined using modulus of elasticity of concrete and effective height of subsoil. The concrete block is not designed by CBFEM method.

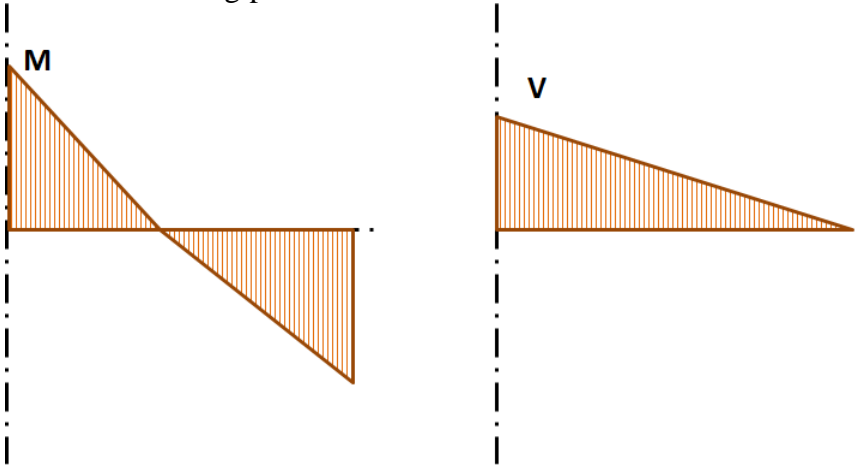
Loads

End forces of member of the frame analysis model are transferred to the ends of member segments. Eccentricities of members caused by the joint design are respected during load transfer. The analysis model created by CBFEM method corresponds to the real joint very precisely, whereas the analysis of internal forces is performed on very idealised 3D FEM 1D model, where individual beams are modelled using centrelines and the joints are modelled using immaterial nodes.



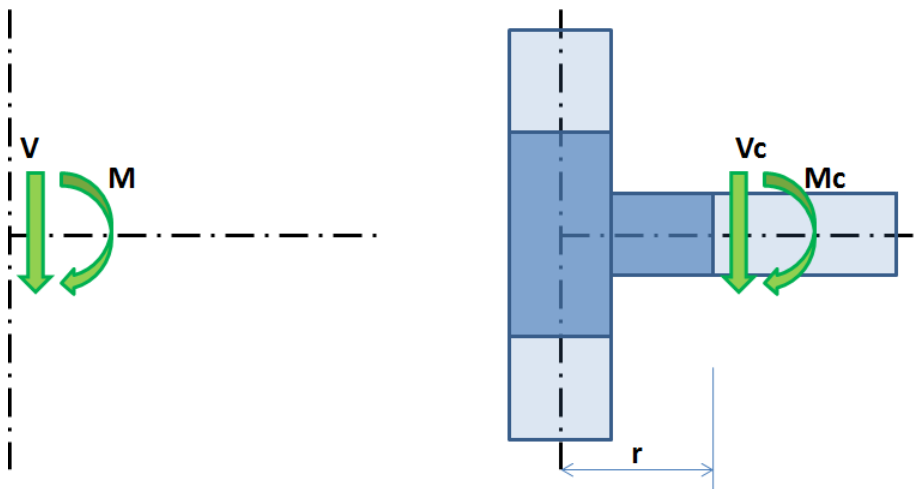
Joint of a vertical column and a horizontal beam

Internal forces are analysed using 1D members in 3D model. There is an example of courses of internal forces in the following picture.



Internal forces in horizontal beam. M and V are the end forces at joint.

The effects caused by member on the joint are important to design the joint (connection). The effects are illustrated in the following picture.



Effects of the member on the joint. CBFEM model is drawn in dark blue color.

Moment M and shear force V act in a theoretical joint. The point of theoretical joint does not exist in CBFEM model, thus the load cannot be applied here. The model must be loaded by actions M and V , which have to be transferred to the end of segment in the distance r .

$$M_c = M - V \cdot r$$

$$V_c = V$$

In CBFEM model, the end section of segment is loaded by moment M_c and force V_c .

Welds

Design resistance

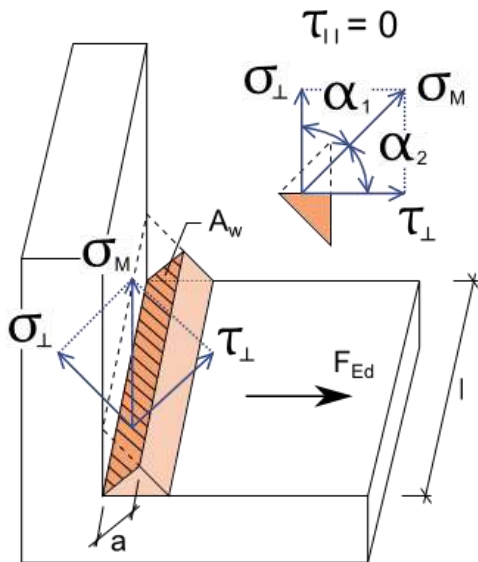
The stress in the throat section of fillet weld is determined according to EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3:

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Rd} &= f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \\ &= 0.9 \cdot \sigma_{w,Rd} \\ &= f_u / \gamma_{M2} \end{aligned}$$

Weld utilisation

$$U_t = \min(\sigma_{w,Ed} / \sigma_{w,Rd}; \sigma_{\perp} / (0.9 \cdot \sigma_{w,Rd}) \beta_w - \text{correlation factor} - \text{Tab. 4.1}$$



Bolts

-Design tension resistance of bolt: $F_{t,Rd} = 0.9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$.

-Design shear resistance at punching of bolt head or nut EN 1993-1-8: $B_{p,Rd} = 0.6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$. Design shear resistance per one shear plane: $F_{v,Rd} = \alpha_v f_{ub} A / \gamma_{M2}$.

-Design bearing resistance of plate EN 1993-1-8: $F_{b,Rd} = k_1 a_b f_u d t / \gamma_{M2}$. Utilisation in tension [%]: $U_{tt} = F_{t,Ed} / \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$.

-Utilisation in shear [%]: $U_{ts} = V / \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})$.

-Interaction of shear and tension [%]: $U_{tts} = (V / F_{v,Rd}) + (F_{t,Ed} / 1.4 F_{t,Rd})$. where

- A – gross cross-section of the bolt or tensile stress area of the bolt if threads are intercepted by shear area, • A_s

– tensile stress area of the bolt,

- f_{ub} – ultimate tensile strength, • d_m – bolt head diameter,
 - d – bolt diameter,
 - t_p – plate thickness under the bolt head/nut, • f_u – ultimate steel strength,
 - $\alpha_v = 0.6$ for classes (4.6, 5.6, 8.8)
- $\alpha_v = 0.5$ for classes (4.8, 5.8, 6.8, 10.9), • $k_1 \leq 2.5$ – factor from Table 3.4,
- $a_b \leq 1.0$ – factor from Table 3.4,
 - $F_{t,Ed}$ – design tensile force in bolt, V – resultant of shear forces in bolt.

Preloaded bolts

The design slip resistance of a preloaded class 8.8 or 10.9 bolt is subjected to an applied tensile force, $F_{t,Ed}$.
Preloading force to be used EN 1993-1-8 – 3.9 (3.7)

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_s$$

-Design slip resistance per bolt EN 1993-1-8 3.9 – (3.8) $F_{s,Rd} = k_s n \mu (F_{p,C} - 0.8 F_{t,Ed}) / \gamma_{M3}$

Utilisation in shear [%]:

$$U_{ts} = V / F_{s,Rd} \text{ where}$$

- A_s – tensile stress area of the bolt, • f_{ub} – ultimate tensile strength,
- k_s – coefficient given in Table 3.6; $k_s = 1$, • μ – slip factor obtained,
- n – number of the friction surfaces. Check is calculated for each friction surface separately,

- γ_{M3} – safety factor, V shear force,
- $F_{t,Ed}$ – design tensile force in bolt.

Anchors

Anchors are checked according to EN 1992-4. The following checks are performed: • Tensile steel resistance (Cl. 7.2.1.3) is checked for each individual anchor.

- Concrete cone failure resistance (Cl. 7.2.1.4) is checked for an anchor or a group of anchors loaded in tension with a common concrete cone.
- Pull-out resistance (Cl. 7.2.1.5) is checked for each individual anchor with washer plate.
- Concrete blowout resistance (Cl. 7.2.1.8) is checked for a group of anchors with washer plates near a concrete edge.
- Anchor shear steel resistance (Cl. 7.2.2.3) is checked for each individual anchor. Anchoring with stand-off: direct is considered as shear without lever arm (Cl. 7.2.2.3.1), and anchoring with stand-off: mortar joint is considered as shear with lever arm (Cl. 7.2.2.3.2).
- Concrete pryout failure (Cl. 7.2.2.4) is checked for a group of anchors.
- Concrete edge failure (Cl. 7.2.2.5) is checked for a group of anchors near a concrete edge. It is assumed that the full shear load acting on a base plate is transferred via this group of anchors.

Note that pull-out and combined pull-out and concrete failures of bonded anchors are not checked due to missing values of shear strength of glue. Concrete splitting failure is not checked due to missing splitting forces of post-installed anchor. These checks, if relevant, must be verified by anchor manufacturer.

Anchors with stand-off

Anchor with stand-off is designed as a bar element loaded by shear force, bending moment, and compressive or tensile force. The bar element is designed according to EN 1993-1-1. The linear interaction of tension (compression) and bending moment is assumed.

Concrete block

- Concrete resistance at concentrated compression: $F_{jd} = \beta_j k_j f_{ck} / \gamma_C$.

-Average stress under the base plate:

$$\sigma = N / A_{eff}$$

-Utilisation in compression [%]: $U_t = \sigma / F_{jd}$,

where

f_{ck} – characteristic compressive concrete strength,

- $\beta_j = 0.67$ – foundation joint material coefficient,
- k_j concentration factor, • γ_c – safety factor,
- A_{eff} – effective area, on which the column force N is distributed.

Shear in concrete block

1. Shear is transferred only by friction: $V_{Rd,y} = N \cdot C_f$

$$V_{Rd,z} = N \cdot C_f$$

2. Shear is transferred by shear iron: $V_{Rd,y} = A_{vy} \cdot f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$,

$$V_{Rd,z} = A_{vz} \cdot f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0}).$$

Plates of shear lug, welds to the base plate and concrete in bearing are checked.

3. Shear is transferred by anchors:

Anchors loaded in shear are checked according to EN 1992-4.

Utilisation in shear [%]:

$$U_t = \min (V_y/V_{Rd,y}, V_z/V_{Rd,z}), \text{ where}$$

A_{vy} – shear area of shear iron cross-sec

- A_{vz} – shear area of shear iron cross-section, • f_y – yield strength,
- γ_{M0} – safety factor,
- V_y – shear force component in the base plate plane in y-direction, • V_z – shear force component in the base plate plane in z-direction, • N – compressive force perpendicular to the base plate,
 - C_f – coefficient of friction between steel and concrete.

Software info

Application	IDEA StatiCa Connection
Version	24.0.1.1243
Developed by	IDEA StatiCa