

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μελέτη Δυναμικής Συμπεριφοράς Μεταλλικών Κτιρίων υπό  
Σεισμική Διέγερση**

**ΝΤΖΙΜΑΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**Λεμεσός, Μάιος 2020**

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ  
ΚΤΙΡΙΩΝ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

του

ΝΤΖΙΜΑΝΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Παπαλεοντίου Χρύσης

Λεμεσός, Μάιος 2020

## **ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ**

Copyright © Ντζιμάνης Δημήτριος, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## *ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ*

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Δρ. Χρύση Παπαλεοντίου, που με ενέπνευσε στο να ξεπεράσω τον εαυτό μου σε αυτήν την πορεία και μου μεταλαμπάδευσε όλες αυτές τις γνώσεις. Την οικογένεια μου, για την αμέριστη στήριξη σε κάθε μου βήμα και όνειρο. Τους συνάδελφους μου, για την συντροφικότητα και την βοήθεια τους σε όλο αυτό το ταξίδι.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κύριος στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης και πιο συγκεκριμένα, η διερεύνηση και η σύγκριση των μεθόδων συνδυασμού των ιδιομορφικών αποκρίσεων SRSS και CQC για τον υπολογισμό των δυνάμεων των δομικών μελών. Πέραν όμως από τις κλασσικές στατιστικές μεθόδους όπου κατά την χρήση τους χάνουμε το πρόσημο των δυνάμεων και οι υπολογισμένες δυνάμεις δε βρίσκονται σε ισορροπία, η σεισμική ανάλυση έγινε και διαμέσου της εντολής IMR (Individual Modal Response) του στατικού προγράμματος STAAD.Pro όπου μετατρέπει κάθε ιδιομορφή σε load case και υπολογίζει τις δυνάμεις μελών, κρατώντας το πρόσημο τους και είναι σε ισορροπία. Ύστερα, τα αποτελέσματα των δυνάμεων των μελών κάθε σημαντικής ιδιομορφής που υπολογίστηκαν διαμέσου της IMR συνδυάζονται αλγεβρικά και συγκρίνονται με τα αποτελέσματα των μεθόδων CQC, SRSS.

Ως δομικό υλικό επιλέχτηκε ο χάλυβας και ως σύστημα πλευρικής αντίστασης των σεισμικών δυνάμεων χρησιμοποιήθηκαν τα δύσκαμπτα μεταλλικά πλαίσια με κεντρικά διαγώνια μέλη (Concentric Braced Frames) διαμόρφωσης "X". Παράλληλα διερευνήθηκαν οι βασικές αρχές και οι ιδιότητες των μεταλλικών δύσκαμπτων πλαισίων. Στο πλαίσιο της σεισμικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε το στατικό πρόγραμμα STAAD.Pro, όπου κατά το στάδιο της μοντελοποίησης αποφασίστηκε να εξεταστούν τρία κύρια (3) επίπεδα μοντέλα ώστε να μελετηθούν τα σεισμικά φαινόμενα και η συμπεριφορά των χαμηλών (Low-rise Buildings) αλλά και των υψηλών κτιρίων (High-Rise Building) κατά τη διάρκεια σεισμικής διέγερσης. Μελετήθηκε η συμπεριφορά των μοντέλων σε οριζόντιο και κάθετο σεισμό και ειδικότερα ο ρυθμός κατά τον οποίο ενσωματώνεται η σεισμική μάζα σε κάθε ιδιομορφή κατά την διάρκεια της ταλάντωσης, η εναλλαγή των πρόσημων των σεισμικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στα μέλη και κατά πόσο αυτή η εναλλαγή επηρεάζει τις μεθόδους συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων CQC, SRSS και IMRC. Τέλος εξετάστηκε, το κατά πόσον επηρεάζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά ( $T, f, \omega_n$ ) των κτιριακών μοντέλων τη σεισμική τους απόκριση.

Μία άλλη διάσταση που δόθηκε στην εν λόγω έρευνα, στα πλαίσια του κατά πόσον επηρεάζει η μοντελοποίηση την σεισμική συμπεριφορά των κατασκευών, ήταν η τοποθέτηση ενδιάμεσων κόμβων στα ανοίγματα των κύριων δοκών των μοντέλων, όπου διαχωρίστηκαν τα τρία (3) κύρια επίπεδα μοντέλα σε δύο (2) υποκατηγορίες μοντέλων A,B δηλαδή χωρίς κόμβους (A) και με κόμβους (B), όπου έγινε και συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων τους. Απώτερος στόχος ήταν διερεύνηση του τρόπου που κατανέμεται η σεισμική μάζα στους κόμβους σε οριζόντιο και κάθετο σεισμό, η επιρροή των ανώτερων συχνοτήτων στη σεισμική συμπεριφορά τους, καθώς και ο ρυθμός ενσωμάτωσης της σεισμικής μάζας σε κάθε ιδιομορφή στους δύο τύπους μοντέλων.

Τέλος, αναλύθηκε η αποτελεσματικότητα της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης, οι αβεβαιότητες της μεθόδου, τα μειονεκτήματα των μεθόδων συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων SRSS, CQC και γενικότερα η κατανόηση των ορίων της εφαρμογής της

ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης σε αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών με βάση τους κανονισμούς του Ευρωκώδικα 8 (EN1998-1:2004).

**Λέξεις κλειδιά:** ιδιομορφική φασματική ανάλυση, IMR, δύσκαμπτα μεταλλικά πλαίσια, CBF

## **ABSTRACT**

The main goal of this thesis is the investigation of the modal spectrum analysis and specifically, the investigation and the comparison of the combination modal maxima SRSS and CQC for the calculation of the member forces of the structural members. However, apart from the classic statistical methods, where when we use them we lose the sign of the forces and the system is not in equilibrium, the seismic analysis was done through the IMR command (Individual Modal Response) of the static program STAAD.Pro, where it converts each mode into a load case and calculates the forces of members, holding their sign and the system is in equilibrium. Then, the results of the member forces of each significant mode that were calculated through IMR, are combined algebraically and compared with the results of the methods CQC, SRSS.

Steel was chosen as the building material and Concentric Braced Frames (CBF) with “X” configuration were used as a lateral resistance system for the applied seismic forces. Parallel the properties and the principles of the braced frames were examined.

In the context of seismic analysis, the static program STAAD.Pro is used, where during the modeling stage it was decided to examine three (3) main plane models and study the seismic phenomena and the behavior of low-rise buildings and high-rise buildings during an earthquake event. It is examined the behavior of the models in horizontal and vertical earthquake and in particular, the rate at which the seismic mass is incorporated in each mode shape during oscillation, the sign alternation of seismic member forces and whether the modal combination methods CQC, SRSS, IMRC are affected by that. Finally, it is examined the way that the physical characteristics ( $T$ ,  $f$ ,  $\omega_n$ ) of the building models affect their seismic response.

Another dimension of this research, in terms of the way that modeling affects the seismic behavior of structures, was the placement of intermediate nodes in the openings of the main beams of the models, where the three (3) main level models were divided into two (2) subcategories of models A, B, where A implies models without nodes and B implies models with nodes (B). A comparative analysis of their seismic results was made. The ultimate goal was to investigate how seismic mass is distributed in nodes in horizontal and vertical earthquakes, the influence of higher frequencies on their seismic behavior, and the rate that the seismic mass integrates in each mode in the two types of models. Finally, it is examined the effectiveness of the modal response spectral analysis, the uncertainties of the method, the disadvantages of the modal combination methods SRSS, CQC and generally the understanding of the limits of the application of the modal spectral analysis in accordance with the provisions of the Eurocode 8 (EN1998-1:2004).

**Keywords:** Modal spectrum analysis, IMR, Braced Frames, CBF

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....  | 5  |
| ABSTRACT .....  | 7  |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....  | 8  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....  | 10 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....   | 12 |
| 1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....   | 12 |
| 1.1 ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ .....   | 12 |
| 1.2 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ .....  | 12 |
| 1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....  | 15 |
| 1.4 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....   | 15 |
| 1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ .....  | 16 |
| 1.5.1 SRSS (Square Root of the Sum of Squares) .....  | 17 |
| 1.5.2 CQC (Complete Quadratic Combination) .....  | 17 |
| 1.5.3 IMRC (Individual Modal Response Combination) .....  | 18 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....   | 19 |
| 2. ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ<br>ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 (EC8) .....                       | 19 |
| 2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ $q$ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ .....   | 20 |
| 2.1.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ (Α)-ΚΠΧ .....   | 20 |
| 2.1.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ (Β)-ΚΠΜ,ΚΠΥ .....   | 21 |
| 2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΗ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ<br>ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....                          | 21 |
| 2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ .....  | 22 |
| 2.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΑ<br>ΔΙΑΓΩΝΙΑ ΜΕΛΗ (CBF-Concentric Braced Frames) ..... | 23 |
| 2.4.1 ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ EC8 ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΔΙΑΓΩΝΙΑ<br>ΜΕΛΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ “Χ” .....                | 24 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....   | 27 |
| 3. ΑΡΧΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ .....  | 27 |
| 3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΙΚΟΥ - ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ .....   | 28 |
| 3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....  | 31 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> .....   | 35 |
| 4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....   | 35 |
| 4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....   | 35 |
| 4.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΙΜΩΝ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ .....   | 37 |
| 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....   | 38 |
| 4.3.1 5-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α .....   | 38 |
| 4.3.2 5-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Β .....   | 49 |
| 4.3.3 18-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α .....  | 60 |



|  |     |
|--|-----|
| 4.3.4 18-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Β.....  | 71  |
| 4.3.5 36-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α.....  | 81  |
| 4.3.6 36-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Β.....  | 93  |
| 4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ CQC ΚΑΙ SRSS.....      | 104 |
| 4.4.1 18-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α.....  | 105 |
| 4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ CQC ΚΑΙ SRSS.....  | 112 |
| 4.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗ ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΕΠΟΧΗ.....         | 113 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° .....  | 114 |
| 5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ Α-Β ΣΕ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ..... | 114 |
| 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....  | 121 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....   | 124 |

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η ιδιομορφική φασματική ανάλυση είναι μία γραμμική ελαστική μέθοδος που προτείνεται από τον κώδικα EC8 (EN1998-1:2004), για την δυναμική ανάλυση όλων των κτιριακών κατασκευών. Προτέρημα της χρήσης της είναι ότι απλοποιεί το δυναμικό πρόβλημα σε στατικό, χρησιμοποιώντας το ελαστικό φάσμα απόκρισης βάση του EC8, το οποίο λαμβάνει υπόψιν πολλές παραμέτρους και κυρίως τις μέσες τιμές επιταχύνσεων διαφόρων σεισμικών γεγονότων συγκεκριμένων περιοχών και τον τύπο εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος.

Για τον υπολογισμό των τελικών μεγεθών της σεισμικής ανάλυσης λαμβάνονται υπόψιν όλες οι σημαντικές ιδιομορφές ταλάντωσης που συμβάλλουν στην συνολική απόκριση του κτιρίου. Οπότε προχωρούμε στη χρήση μεθόδων συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων και βάση του κώδικα EC8 τις SRSS και CQC. Με αυτές τις απλοποιήσεις προκύπτουν όμως προβλήματα στα στάδια ανάλυσης και σχεδιασμού, όπου συνοπτικά κατά την φασματική ανάλυση:

- Χρησιμοποιούμε τις μέγιστες τιμές επιτάχυνσης από το φάσμα απόκρισης για κάθε σημαντική ιδιομορφή, οι οποίες όμως δε συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή.
- Μετατρέποντας τη δυναμική ανάλυση σε στατική ανάλυση χάνουμε την διάσταση του χρόνου και δεν γνωρίζουμε ποια χρονική στιγμή, ενεργοποιείται η κάθε σημαντική ιδιομορφή.
- Εφόσον δεν γνωρίζουμε τη χρονική στιγμή που συμβαίνει η κάθε σημαντική ιδιομορφή, χρησιμοποιούμε στατιστικές μεθόδους συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων (SRSS, CQC) αλλά εφόσον συνδυάζονται στατιστικά χάνουν το πρόσημο.
- Παράλληλα οι δυνάμεις που υπολογίζονται μέσω των μεθόδων SRSS,CQC δε βρίσκονται σε ισορροπία.

Πάνω σε αυτούς τους προβληματισμούς στηρίχτηκε κυρίως η έρευνα της πτυχιακής εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά των βασικών ορισμών που σχετίζονται με την δυναμική ανάλυση, όπως η έννοια του φάσματος απόκρισης, οι μέθοδοι δυναμική ανάλυσης, το θεωρητικό υπόβαθρο της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης καθώς και οι μέθοδοι συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται η έννοια του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  και η σημασία του στη ιδιομορφική φασματική ανάλυση. Επίσης γίνεται αναφορά στις ειδικές διατάξεις του EC8 πάνω στις μεταλλικές κατασκευές και δη στα δύσκαμπτα μεταλλικά με κεντρικά διαγώνια μέλη (CBF) διαμόρφωσης "X" σε θέματα μοντελοποίησης και δυναμικής ανάλυσης. Ουσιαστικά τα

πρώτα δύο κεφάλαια αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίχτηκε η εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στο τρόπο που έγινε η μοντελοποίηση των (3) επίπεδων μοντέλων, η μετάβαση από χωρικά σε επίπεδα, τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και γενικότερα τις παραδοχές που λήφθηκαν υπόψιν στο στάδιο της μοντελοποίησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο που είναι το μεγαλύτερο της εργασίας πραγματοποιείται:

- η αναφορά των δεδομένων και των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην ιδιομορφική φασματική ανάλυση
- η αναφορά των αποτελέσματα της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης για όλα τα μοντέλα και παρατηρήσεις
- επίλυση παραδείγματος με τις μεθόδους συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων CQC και SRSS και σύγκριση των μεθόδων
- γίνεται αναφορά της αποτελεσματικότητας της φασματικής ανάλυσης

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η συγκριτική ανάλυση της σεισμικής συμπεριφοράς των πλαισίων τύπου A (χωρίς ενδιάμεσους κόμβους στις δοκούς) και των πλαισίων τύπου B (με ενδιάμεσους κόμβους στις δοκούς) και ουσιαστικά διαφαίνεται ο τρόπος που η μοντελοποίηση επηρεάζει την σεισμική συμπεριφορά.

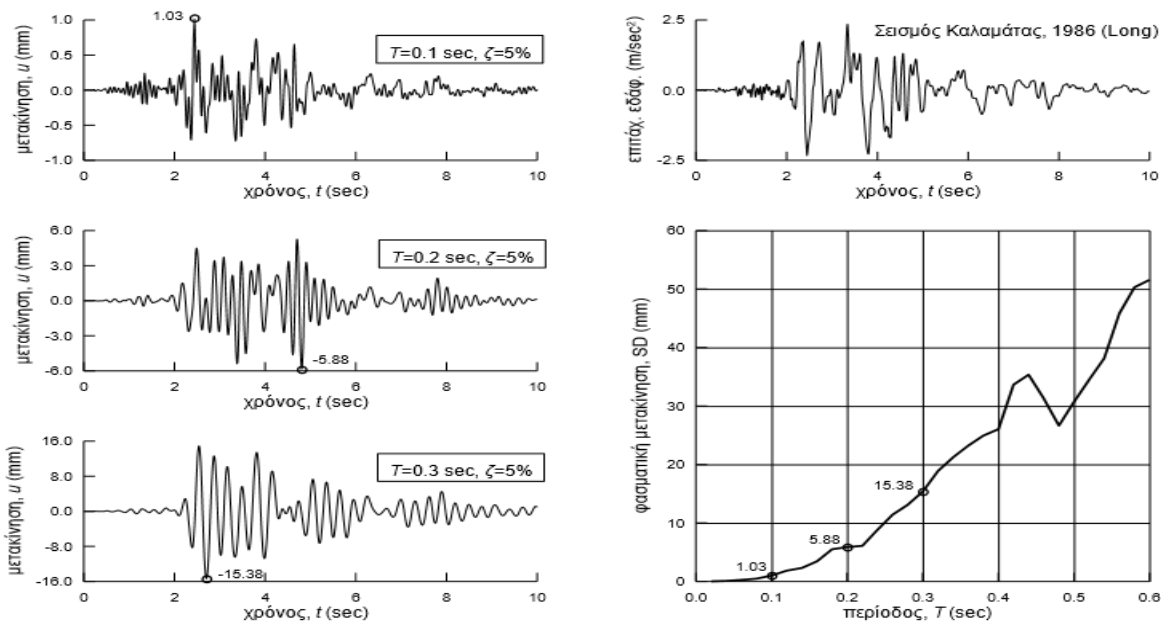
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό καθορίζονται βασικοί ορισμοί της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης και των μεθόδων συνδυασμού των ιδιομορφικών αποκρίσεων.

### 1.1 ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Το φάσμα απόκρισης είναι ένα διάγραμμα που δίνει τη μέγιστη τιμή κάποιου μεγέθους απόκρισης (π.χ. απόλυτη επιτάχυνση, σχετική μετακίνηση, κλπ.) μεταβαλλόμενο στο χρόνο (για χρονική διάρκεια  $t=0-10\text{sec}$ ) που θα αναπτυχθεί σε μονοβάθμιους ταλαντωτές, με συγκεκριμένη απόσβεση  $\zeta$  ( $=0.05$ ) σε κάποια δεδομένη σεισμική διέγερση [1]. Εφόσον η απόσβεση είναι ίδια σε όλους τους ταλαντωτές, η παράμετρος που προσδιορίζει τις ιδιότητες κάθε ταλαντωτή είναι η ιδιοπερίοδός του [1].



**Σχήμα 1.1:** Τρόπος κατασκευής ενός φάσματος απόκρισης για ένα σεισμικό γεγονός [1]

### 1.2 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Το ελαστικό φάσμα απόκρισης αποτελείται από μια ομαλή γραμμή, η οποία αντικατοπτρίζει τις μέσες τιμές των μέγιστων τιμών διάφορων σημαντικών σεισμικών γεγονότων σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές [2]. Ο κώδικας EC8 εισάγοντας την έννοια του ελαστικού φάσματος απόκρισης απλοποιεί το σύνθετο πρόβλημα της δυναμικής ανάλυσης κατασκευών σε στατικό πρόβλημα [2]. Δηλαδή για κάθε φυσική ιδιοπερίοδο του ταλαντωτή, αντιστοιχεί συγκεκριμένη επιτάχυνση του φάσματος απόκρισης και πλέον δεν υπολογίζουμε μεγέθη με βάση τη μεταβολή τους στο χρόνο [2].

Με την χρήση του ελαστικού φάσματος απόκρισης, η εδαφική επιτάχυνση του εδάφους  $a_{gR}$  μετατρέπεται στην ελαστική επιτάχυνση του ελαστικού φάσματος απόκρισης  $S_e(T)$  ( $m/s^2$ ) που απεικονίζει τη δυναμική απόκριση ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή με

συγκεκριμένη μάζα  $m$  (kg) και δυσκαμψίας  $k$  (N/m) όπου του υποβάλλεται  $a_g$  εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού συγκεκριμένης εδαφικής κατηγορίας ( $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$ ) [1][2].

Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά μεγέθη του ταλαντωτή είναι και υπολογίζονται:

- Φυσική γωνιακή ταχύτητα,  $\omega_n = \sqrt{k/m} = 2\pi f_n$  (rad/sec)
- Φυσική ιδιοπερίοδος,  $T_n = 1/f_n$  (sec)
- Φυσική ιδιοσυχνότητα,  $f_n = 1/T_n$  (cycles/sec ή Hz)

Καθώς όμως η κατασκευή κτιρίων με ελαστική συμπεριφορά σε μεγάλα σεισμικά γεγονότα είναι επιλογή αντικοινομική και δεν εκμεταλλευόμαστε στο έπακρο τις ιδιότητες των υλικών μας σε διαρροή, ο κώδικας EC8 εισάγει τον συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  [2]. Ανάλογα το υλικό κατασκευής, το πλαίσιακό σύστημα και το σύστημα απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας καθορίζεται και η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο συντελεστής  $q$ . Με αυτή την έννοια αυτή εισάγεται και η πλαστική συμπεριφορά των μελών της κατασκευής και η ανελαστική πλέον επιτάχυνση  $S_d(T)$  υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους [2][3] :

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (1-1) [3]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (1-2) [3]$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (1-3) [3]$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (1-4) [3]$$

όπου:

**$S_d(T)$**  είναι το φάσμα σχεδιασμού

**$T$**  είναι η περίοδος ταλάντωσης ενός γραμμικού συστήματος μίας ελευθερίας κίνησης

**$a_g$**  είναι η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος κατηγορίας A

**$T_B$**  είναι η περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

**$T_C$**  είναι η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

**$T_D$**  είναι η τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετακίνησης του φάσματος

**$q$**  είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς

$\beta$  είναι συντελεστής κατώτατου ορίου για το οριζόντιο φάσμα σχεδιασμού. Η συνιστώμενη τιμή σύμφωνα με το Εθνικό προσάρτημα είναι  $\beta=0.2$ .

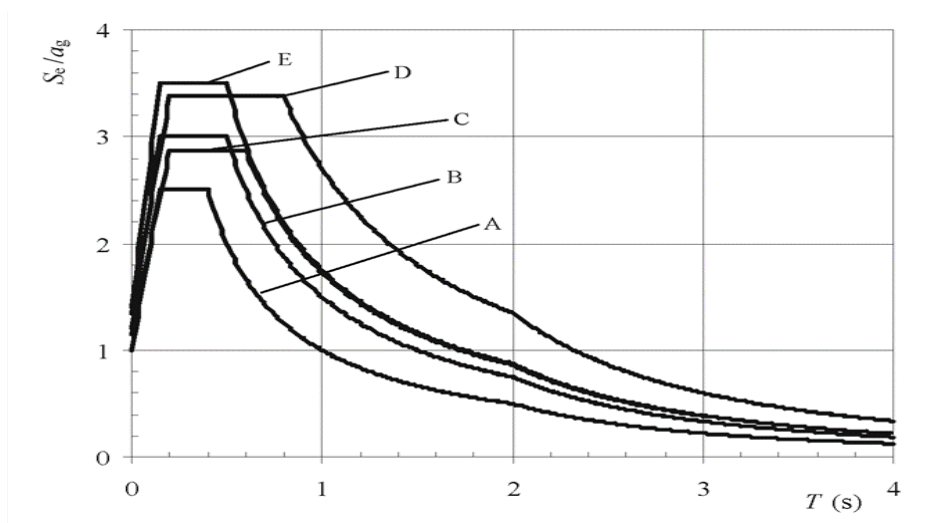
Στην περίπτωση του κάθετου σεισμού για την ανελαστική επιτάχυνση του σεισμού  $S_{vd}(T)$  σύμφωνα με τον EC8 χρησιμοποιούνται οι παραπάνω τύποι με τις παρακάτω παραδοχές<sup>[3]</sup>:

- Αντικαθίσταται η  $\alpha_g$  με την  $\alpha_{vg}= 0.90 \cdot \alpha_g$
- Ισχύει πάντα  $S=1.00$
- Η τιμή του συντελεστή συμπεριφορά  $q$  λαμβάνεται ίση μέχρι 1.5. Αυτό συμβαίνει γιατί λόγω του κάθετου σεισμού καταπονούνται περισσότερο τα υποστυλώματα της κατασκευής τα θέλουμε να συμπεριφερθούν ελαστικά ή να πλαστικοποιηθούν πάρα πολύ λίγο.
- Για μεγαλύτερες τιμές από  $q=1.5$  χρειάζεται ειδική μελέτη.

Ανάλογα την κατηγορία εδάφους μελέτης (A,B,C,D,E) και τον Τύπο (1,2) φάσματος που αντιστοιχεί για κάθε χώρα επιλέγουμε την καμπύλη του ελαστικού φάσματος, σύμφωνα με το Σχήμα 1.2 και τον Πίνακα 1.1<sup>[3]</sup>.

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

**Πίνακας 1.1:** Τιμές των παραμέτρων που περιγράφουν τα συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης Τύπου 1<sup>[3]</sup>



**Σχήμα 1.2:** Συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης Τύπου 1 για κατηγορίες εδάφους A έως E (5% απόσβεση)<sup>[3]</sup>

Για σεισμογενής χώρες όπως η Ελλάδα και η Κύπρος χρησιμοποιούμε τις τιμές παραμέτρου και το φάσμα Τύπου 1 σύμφωνα με το Πίνακα 1.1 και σχήμα 1.2 αντίστοιχα<sup>[3]</sup>.

### **1.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Ο κώδικας EC8 προτείνει τις ακόλουθες μεθόδους για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων και την ερμηνεία της σεισμικής τους συμπεριφοράς <sup>[3]</sup>:

1. Ισοδύναμη Στατική μέθοδος, η οποία είναι γραμμική ελαστική μέθοδος.
2. Ιδιομορφική φασματική ανάλυση, η οποία είναι και αυτή γραμμική ελαστική μέθοδος και χρησιμοποιεί το φάσμα σχεδιασμού.
3. Μη-Γραμμική Στατική ανάλυση γνωστή και ως Pushover ανάλυση.
4. Μη-Γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας (Δυναμική ανάλυση).

Ο EC8 προτείνει ως μέθοδο δυναμικής ανάλυσης των κτιρίων την Ιδιομορφική ανάλυση, η οποία σύμφωνα με τον κώδικα μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους των κτιρίων και είναι και αυτή που χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος σεισμικής ανάλυσης για όλα τα επίπεδα μοντέλα της εργασίας <sup>[3]</sup>.

### **1.4 ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

Στη μέθοδο αυτή λαμβάνονται υπόψη όλες οι σημαντικές ιδιομορφές ταλάντωσης που συμβάλλουν στην συνολική απόκριση του κτιρίου <sup>[1][2][3]</sup>. Το κριτήριο που καθορίζει το κατά πόσο είναι σημαντική μία ιδιομορφή είναι το κατά πόση μάζα συμμετέχει (mass participation) σε συγκεκριμένη συχνότητα της ταλάντωσης του κτιρίου, καθώς σε κάθε ιδιομορφή ταλαντώνονται συγκεκριμένα μέλη (μάζες) της κατασκευής, βάση πάντα της μοντελοποίησης των μαζών που επιλέχτηκε (διαφραγματική λειτουργία, τοποθέτηση κόμβων στο μοντέλο κτλ.)<sup>[1]</sup>. Σύμφωνα με τον κώδικα EC8:

- πρέπει το άθροισμα των δρώσεων ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη να είναι τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας της κατασκευής <sup>[3]</sup>.
- λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές με δρώσεις ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας <sup>[3]</sup>.

Η δρώσα ιδιομορφική μάζα  $m_k$  που αντιστοιχεί σε ιδιομορφή  $k$ , καθορίζεται έτσι ώστε η τέμνουσα δύναμη βάσης  $F_{bk}$ , που δρα στην διεύθυνση εφαρμογής της σεισμικής δράσης, να μπορεί να εκφραστεί ως  $F_{bk} = S_d(T_k) m_k$  <sup>[3]</sup>. Αποδεικνύεται ότι το άθροισμα των δρώσεων ιδιομορφικών μαζών (για όλες τις ιδιομορφές και μια δεδομένη διεύθυνση) είναι ίση με τη μάζα του φορέα, για αυτό και το πρόβλημα από δυναμικό μετατρέπεται σε στατικό <sup>[1][2]</sup>.

Σε περίπτωση που έχουμε πολύ σταδιακή συμμετοχή της μάζας, δηλαδή πολλές ιδιομορφές με κοντινές ιδιοπεριόδους και με ποσοστά συμμετοχής μάζας μικρότερα του 5%, τότε θα μπορούσαμε να αθροίσουμε και αυτά έτσι ώστε να φτάσουμε το 90% της συνολικής μάζας του φορέα.

Γενικότερα όμως, το καθοριστικό ρόλο στη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής, τον καθορίζουν οι ιδιομορφές με την μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας και ιδιαίτερα σε χαμηλά κτίρια κυρίως μία.

Παρόλο που θεωρείται μια γραμμική ελαστική μέθοδος, εφόσον χρησιμοποιείται το ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού, συνυπολογίζονται οι ανελαστικές σεισμικές δυνάμεις λόγω του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  [2]. Ουσιαστικά μειώνονται οι φασματικές επιταχύνσεις από  $S_e(T)$  σε  $S_d(T)$  αφού διαιρούνται με τον συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , καθώς δεχόμαστε ότι θα δημιουργηθούν στα επιθυμητά μέλη ελεγχόμενες ανελαστικές παραμορφώσεις και δυνατότητα μεγαλύτερων μετατοπίσεων [2].

### **1.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ**

Χρησιμοποιώντας την ιδιομορφική φασματική ανάλυση, χρησιμοποιούμε το φάσμα απόκρισης άρα και τις μέγιστες τιμές απόκρισης σε επιτάχυνση [2]. Δηλαδή χρησιμοποιούνται οι μέγιστες αποκρίσεις της κατασκευής όταν αυτή ταλαντώνεται σε κάθε σημαντική ιδιομορφή. Έτσι υπολογίζουμε για κάθε σημαντική ιδιομορφή τις μέγιστες δυνάμεις μελών, τις μετατοπίσεις και γενικότερα όλες τις τιμές των μεγεθών που προκύπτουν σε κάθε σημαντική ιδιομορφή στα μέλη της κατασκευής [1][2][4].

Ύστερα, συνδυάζονται οι υπολογισμένες τιμές των μεγεθών κάθε σημαντικής ιδιομορφής για να υπολογιστεί η συνολική απόκριση της κατασκευής [1][4]. Βέβαια, εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το στάδιο συνδυασμού των το σύστημα παύει να είναι σε ισορροπία και οι υπολογισμένες τιμές των μεγεθών δεν έχουν πρόσημο [1][4].

Αυτό είναι συνέπεια του γεγονότος ότι οι μέγιστες αποκρίσεις δεν συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή (ή ακόμα καλύτερα δε είναι γνωστό ποια χρονική στιγμή ενεργοποιείται η κάθε ιδιομορφή) και όταν τις συνδυάζουμε χάνουμε το πρόσημο των τιμών των μεγεθών καθώς χρησιμοποιούμε στατιστικές μεθόδους (SRSS, CQC) οπότε τα αποτελέσματα μας είναι πάντα θετικά [1][5]. Ουσιαστικά, προσεγγίζουμε στατιστικά τον τρόπο που θα αλληλοεπιδράσει η κάθε ιδιομορφή σε σχέση με την άλλη, εξετάζοντας μόνο το κατά πόσο είναι διαχωρισμένες οι περίοδοι των ιδιομορφών. Για το στάδιο του σχεδιασμού προχωρούμε σε συνδυασμό φορτίσεων των βαρυτικών δυνάμεων και των σεισμικών δυνάμεων με εναλλαγή πρόσημων στο κάθε όρο και για κάθε διεύθυνση ανάλυσης (X,Y,Z) και επιλέγουμε την δυσμενέστερη τιμή επίλυσης [1][3].

Σύμφωνα με τον SEAOC (Structural Engineers Association of California), ένας τρόπος για να ελέγξουμε κατά πόσον τα αποτελέσματα των στατιστικών μεθόδων είναι ακριβή ή συντηρητικά, είναι να ελέγξουμε μεμονωμένα κάθε σημαντική ιδιομορφή όπου οι δυνάμεις και οι μετατοπίσεις είναι σε ισορροπία και γνωρίζουμε τα πρόσημα [4].

Οι μέθοδοι συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία για την ανάλυση των μοντέλων είναι οι εξής:



- SRSS (Square Root of the Sum of Squares)
- CQC (Complete Quadratic Combination)
- IMRC (Individual Modal Response Combination) η οποία δεν προβλέπεται μέσα στους κώδικες και η ακρίβεια της είναι και το ζητούμενο της εργασίας.

### **1.5.1 SRSS (Square Root of the Sum of Squares)**

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, συνδυάζουμε τις μέγιστες τιμές που προκύπτουν σε κάθε σημαντική ιδιομορφική απόκρισης, στατιστικά και όχι αλγεβρικά. Ο τύπος της μεθόδου είναι ο εξής:

$$R = \sqrt{\sum_{m=1}^N R_m^2} \quad (1-5) [8]$$

όπου  $R_m$  είναι τυχαίο μέγεθος (μετατόπιση, εντατικό μέγεθος κτλ.) που προέκυψε από την επίλυση  $m$  ιδιομορφής και  $R$  είναι το μέγεθος που προκύπτει από την συνολική απόκριση των σημαντικών ιδιομορφών [8].

Στη μέθοδο SRSS θεωρούμε ότι τα μέγιστα μεγέθη που προκύπτουν σε κάθε σημαντική ιδιομορφή είναι στατιστικά ανεξάρτητα. Αυτή η παραδοχή όμως δεν είναι πάντα ορθή γιατί σε πολλές κατασκευές οι συχνότητες τους είναι σχεδόν ίσες οπότε οδηγούμαστε σε μικρότερες ή μεγαλύτερες τιμές από τις αναμενόμενες [4]. Για αυτό το λόγο η μέθοδος αυτή είναι αποδοτική μόνο για ιδιοπεριόδους  $T$  που ισχύει ο περιορισμός:

$$T_j \leq 0.9 T_i, \text{ δηλαδή απευθύνεται για κατασκευές με ανεξάρτητες ιδιοπεριόδους } [1][2][4]$$

Εάν ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει τότε προχωρούμε στην χρήση της μεθόδου CQC σύμφωνα με τον EC8 που χρησιμοποιείται κυρίως για κατασκευές με κοντινές ιδιοπεριόδους και είναι ένας πιο γενικός τύπος [2].

### **1.5.2 CQC (Complete Quadratic Combination)**

Η μέθοδος CQC που βασίζεται στη θεωρία RVT (Random Vibration Theory)[6], υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R_i \rho_{ij} R_j} \quad (1-6) [6][8]$$

όπου οι τιμές  $R_i$  και  $R_j$  είναι οι του μεγέθους  $R$  που προέκυψαν από την επίλυση των ιδιομορφών  $i$  και  $j$  αντίστοιχα [6][8]. Επίσης σημαντική προσθήκη στην μέθοδο αυτή είναι ο συντελεστής συσχέτισης  $\rho_{ij}$  που ισούται με:

$$\rho_{ij} = \frac{8(\xi_i \xi_j)^{1/2} (\xi_i + r \xi_j) r^{3/2}}{(1 - r^2)^2 + 4\xi_i \xi_j r(1 + r^2) + 4(\xi_i^2 + \xi_j^2) r^2} \quad (1-7) [6][8]$$

όπου επειδή σε περίπτωση που οι αποσβέσεις είναι  $\xi_i = \xi_j$  [8] σε όλες τις ιδιομορφές τότε:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\xi^2 r(1+r)^2} \quad (1-8) [6][8]$$

και  $r_{ij} = \omega_i / \omega_j$  όπου είναι η αναλογία των φυσικών γωνιακών ταχυτήτων για ιδιομορφές  $i$  και  $j$  [6][8].

Συμπερασματικά, εφόσον η τιμή του συντελεστή συσχέτισης  $\rho_{ij}$  πλησιάζει τη μονάδα δηλαδή  $\rho_{ij} = 1$  τότε ουσιαστικά η μέθοδος CQC παίρνει τη μορφή της SRSS [1][4][6]. Θεωρητικά δηλαδή η SRSS είναι προέκταση της CQC, οπότε η CQC είναι συμβατή για όλες τις περιπτώσεις κτιρίων [4][3].

### **1.5.3 IMRC (Individual Modal Response Combination)**

Όπως προαναφέρθηκε για την ανάλυση και τη δημιουργία των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το στατικό πρόγραμμα STAAD.Pro V8i. Μία από τις εντολές του προγράμματος που βοηθάει στη ιδιομορφική φασματική ανάλυση είναι η IMR (Individual Modal Response) [7].

Τα Individual Modal Response cases είναι load cases τα οποία αντιπροσωπεύουν την κάθε ιδιομορφή σύμφωνα με το μέγεθος της (σημαντικότητα) κάθε ιδιομορφής που έχει στην ιδιομορφική φασματική ανάλυση, πριν αυτές συνδυαστούν με άλλες ιδιομορφές [7]. Μετατρέπει δηλαδή ξεχωριστά load cases για κάθε ιδιομορφή που προκύπτει (σύμφωνα με την ιδιομορφική φασματική ανάλυση) συγκρατώντας το πρόσημο των τιμών των μεγεθών [7]. Έτσι, μπορεί να φανεί πόσο σημαντικά επηρεάζει η κάθε ιδιομορφή την κατασκευή σε κρίσιμα σημεία [7]. Διαμέσου αυτής της μεθόδου μπορούν να αναλυθούν οι δυνάμεις, μετατοπίσεις και άλλα μεγέθη ώστε να σχεδιαστούν μέλη τη κατασκευής με μία ιδιομορφή ή συνδυασμό ιδιομορφών [7].

Ουσιαστικά είναι μία ισοδύναμη ισοστατική μέθοδος όπου χρησιμοποιούνται περισσότερες ιδιομορφές. Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα παραπάνω δεδομένα με την εξής μεθοδολογία:

1. Αναλύθηκε κάθε μοντέλο με ιδιομορφική φασματική ανάλυση και με την χρήση των μεθόδων CQC, SRSS όπου συνδυάστηκαν όλες οι ιδιομορφές για τα τελικά αποτελέσματα. Παράλληλα συγκρίθηκαν και τα αποτελέσματα μεταξύ των δύο μεθόδων.
2. Ύστερα αναλύθηκε κάθε ιδιομορφή ξεχωριστά, με ξεχωριστή ανάλυση για την κάθε μια και με την χρήση πάλι των μεθόδων CQC, SRSS.

3. Μετά χρησιμοποιήθηκε η IMR για να βρεθούν τα πρόσημα των μεγεθών (από το προηγούμενο βήμα) για κάθε ιδιομορφή ξεχωριστά και να συγκρίνουμε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της IMR με τα αποτελέσματα του βήματος 2.
4. Παράλληλα χρησιμοποιώντας τις μεθόδους CQC και SRSS, αναλύθηκαν οι δυνάμεις σε συγκεκριμένα μέλη των μοντέλων με βάση τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από την IMR. Σαν παραδείγματα χρησιμοποιήθηκαν μέλη που είχαν εναλλαγή του πρόσημου σε κάθε ιδιομορφή έτσι ώστε:
  - να αποδειχτεί κατά πόσο επηρεάζονται τα αποτελέσματα των μεθόδων CQC και SRSS με την εναλλαγή των πρόσημων.
  - Να ελεγχτούν τα αποτελέσματα που δόθηκαν από την ιδιομορφική φασματική ανάλυση του συνδυασμού όλων των ιδιομορφών σύμφωνα με το πρόγραμμα STAAD.Pro.
5. Στο τελικό στάδιο συνδυάστηκαν αλγεβρικά τα αποτελέσματα όλων των σημαντικών ιδιομορφών για συγκεκριμένα μέλη των μοντέλων που δόθηκαν από τη μέθοδο IMR (σύμφωνα με την διαδικασία των άλλων μεθόδων), έτσι ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα της IMR με τις μεθόδους CQC και SRSS.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **2. ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 (EC8)**

Η φιλοσοφία του κώδικα EC8 για την κατασκευή οικονομικών και αντισεισμικών μεταλλικών κτιρίων βασίζεται κυρίως στο καθορισμό κανόνων για την συμπεριφορά απόσβεσης των μελών της κατασκευής <sup>[2][3]</sup>. Δηλαδή ανάλογα με το σύστημα δομοστατικής συμπεριφοράς στη παραλαβή των πλευρικών δράσεων που θα επιλέξει ο Μηχανικός καθορίζονται μέλη τα οποία θα λειτουργήσουν σαν μέσα απόσβεσης της ενέργειας στις κυκλικές φορτίσεις του σεισμού χωρίς να μειωθεί η αντοχή τους, ενώ τα υπόλοιπα μέλη της κατασκευής θα παραμείνουν στην ελαστική ζώνη <sup>[2]</sup>.

Η πλαστική συμπεριφορά των μελών επιτρέπει στο σύστημα να σχεδιαστεί για μικρότερες σεισμικές δυνάμεις και άρα στην επιλογή μικρότερων διατομών (οικονομικότητα) αλλά όλα τα μέλη της κατασκευής, απόσβεσης και μη, πρέπει να υπακούσουν στους σχεδιαστικούς κανόνες που προβλέπει ο EC8, διαμέσου του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  που αντιστοιχεί στο εκάστοτε σύστημα και των εκάστοτε σχεδιαστικών απαιτήσεων, έτσι ώστε να επιτευχθεί <sup>[2][3]</sup> :

- ιεραρχία στη συμπεριφορά μεταξύ των μελών σε απόσβεση και μελών μη-απόσβεσης <sup>[2][3]</sup>.

- η ορθή λειτουργία των πλαστικών ζωνών του συστήματος έτσι ώστε θα πλαστικοποιηθούν χωρίς να επέλθει θραύση <sup>[2][3]</sup>.
- τα υπόλοιπα μέλη θα φερθούν ελαστικά με την κατάλληλη υπεραντοχή <sup>[2][3]</sup>.

Γενικότερα με την χρήση του συντελεστή  $q$  μετατρέπουμε τις ελαστικές δυνάμεις του σεισμού σε μειωμένες ανελαστικές δυνάμεις σχεδιασμού. Ανάλογα με την δυνατότητα ανελαστικής συμπεριφοράς κάθε στατικού συστήματος καθορίζεται και ο συντελεστής  $q$  <sup>[2][3]</sup>.

## **2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ $q$ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ**

Ο EC8 διαχωρίζει τα μεταλλικά σε κατηγορίες πλαστιμότητας σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1. Οι κατηγορίες πλαστιμότητας ουσιαστικά υποδηλώνουν την κατηγορία αποσβεστικής ικανότητας των κτιρίων <sup>[3]</sup>. Συνεπώς, τα αντισεισμικά μεταλλικά κτίρια θα σχεδιάζονται σύμφωνα με μία από τις ακόλουθες αρχές <sup>[3][10]</sup> :

- **Αρχή α:** Περιορισμένη πλάστιμη συμπεριφορά
- **Αρχή β:** Πλάστιμη συμπεριφορά

| Αρχή σχεδιασμού                              | Κατηγορία πλαστιμότητας | Φάσμα των τιμών αναφοράς του συντελεστή συμπεριφοράς $q$ |
|--|-------------------------|--|
| Αρχή α)<br>Περιορισμένη πλάστιμη συμπεριφορά | ΚΠΧ (Χαμηλή)            | $\leq 1,5 - 2$   |
| Αρχή β)<br>Πλάστιμη συμπεριφορά              | ΚΠΧ (Μέτρια)            | $\leq 4$   |
|  | ΚΠΥ (Υψηλή)             | περιορίζεται μόνο από τις τιμές του Πίνακα 3.2           |

***Πίνακας 2.1: Αρχές σχεδιασμού, κατηγορίες πλαστιμότητας και ανώτερες τιμές αναφοράς των συντελεστών συμπεριφοράς <sup>[3]</sup>***

### **2.1.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ (Α)-ΚΠΧ**

Βάση της αρχής (α) τα αποτελέσματα των δράσεων μπορούν να υπολογίζονται βάσει μιας ελαστικής ανάλυσης συνόλου, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη σημαντική μη γραμμική συμπεριφορά του υλικού <sup>[3]</sup>. Κτίρια ΚΠΧ σχεδιάζονται με βάση κυρίως την ιδιότητα αντοχής των μελών (σχεδιασμός βάση EC3) και όχι την αποσβεστική τους ικανότητα σε σεισμικές δράσεις, καθώς τις σεισμικές δράσεις τις αντιμετωπίζουν όπως οποιοσδήποτε πλευρικές δυνάμεις <sup>[2]</sup>. Κτίρια ΚΠΧ κατασκευάζονται κυρίως σε χώρες με χαμηλή σεισμικότητα, όπου τα σεισμικά φορτία σε συνδυασμούς φορτίσεων μπορεί να είναι μικρότερα και από συνδυασμούς φορτίσεων με ανεμικά <sup>[2][3]</sup>.

### **2.1.2 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ (Β)-ΚΠΜ,ΚΠΥ**

Στην αρχή β) λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα μερών του φορέα (ζώνες απόδοσης ενέργειας) να αντιστέκονται σε δράσεις σεισμού μέσω ανελαστικής συμπεριφοράς <sup>[2][3]</sup>. Δηλαδή σχεδιάζονται μέλη του δομικού συστήματος τα οποία πλαστικοποιούνται, χωρίς να κινδυνεύσει η ασφάλεια ή η λειτουργία της κατασκευής <sup>[2][3]</sup>. Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  για κτίρια με ΚΠΜ-ΚΠΗ κυμαίνεται μεταξύ 2 και ανώτατο όριο 4 <sup>[3]</sup>. Η επιλογή μια κατασκευή να συμπεριφερθεί ΚΠΜ ή ΚΠΥ επαφίεται στον Μηχανικό. Γενικότερα εισήχθη η έννοια της μέσης και της υψηλής πλαστιμότητας για σεισμογενείς περιοχές, όπου θα ήταν εντελώς αντικοινωνική επιλογή να κατασκευαστούν κτίρια με παραδοχές αντοχής και μόνο, δηλαδή να συμπεριφέρονται μόνο ελαστικά, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη το περιθώριο της πλαστιμότητας <sup>[2]</sup>.

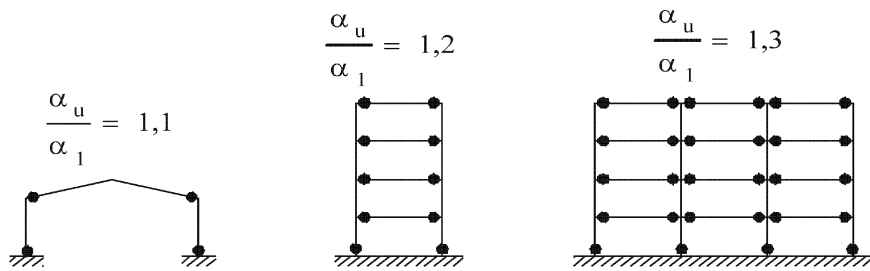
### **2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΗ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

Ο κώδικας EC8 καθορίζει στις μεταλλικές κατασκευές ανάλογα με την μοντελοποίηση και την επιλογή στατικού συστήματος, τον ανάλογο συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , σύμφωνα με τον πίνακα 2.2 <sup>[3]</sup>.

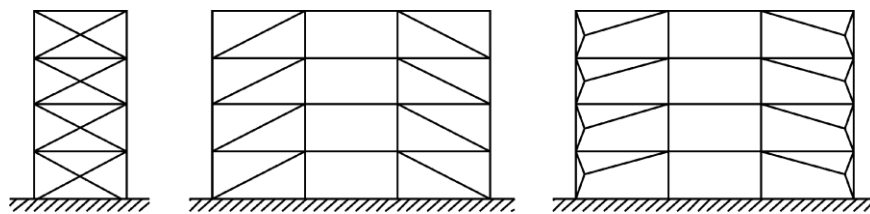
| ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ                                    | Κατηγορία Πλαστιμότητας |                      |
|---|-------------------------|----------------------|
|   | ΚΠΜ                     | ΚΠΥ                  |
| α) Πλαίσια παραλαβής ροπών (MRF)                  | 4                       | $5\alpha_w/\alpha_1$ |
| β) Πλαίσιο με συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα (CBF) |                         |                      |
| Διαγώνιοι σύνδεσμοι                               | 4                       | 4                    |
| Σύνδεσμοι μορφής V                                | 2                       | 2,5                  |
| γ) Πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους (EBF)         | 4                       | $5\alpha_w/\alpha_1$ |

**Πίνακας 2.2: Τιμές για τα πιο διαδεδομένα στατικά συστήματα μεταλλικών κατασκευών** <sup>[3]</sup>

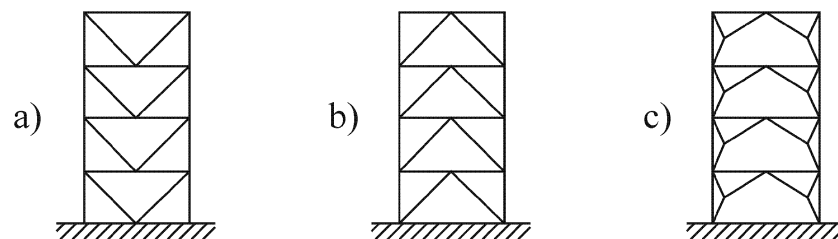
Παρατίθενται σχηματικά τα κυριότερα δομικά συστήματα. Στα σχήματα δείχνονται και οι λόγοι  $\alpha_w/\alpha_1$  οι οποίες χρησιμοποιούνται για κατασκευές ΚΠΥ <sup>[3]</sup>. Παρατηρείται ότι τα πλαίσια παραλαβής ροπών (MRF) παρόλο που έχουν την ικανότητα να πλαστικοποιούνται περισσότερο από τα υπόλοιπα συστήματα έχουν τον ίδιο συντελεστή συμπεριφοράς <sup>[2]</sup>.



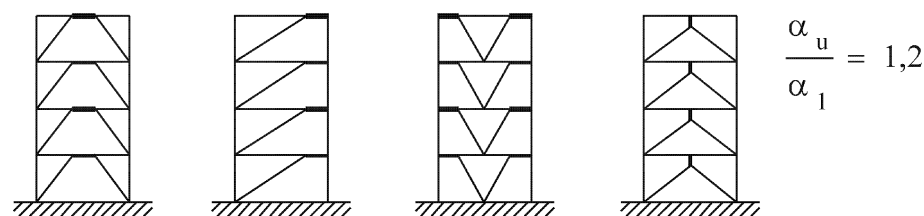
**Σχήμα 2.1:** Πλαίσια παραλαβής ροπών (ζώνες απόδοσης ενέργειας σε δοκούς και στη βάση των υποστυλωμάτων) [3]



**Σχήμα 2.2:** Πλαίσια με διαγώνιους συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα (ζώνες απόδοσης ενέργειας μόνο σε εφελκόμενες διαγώνιους) [3]



**Σχήμα 2.3:** Πλαίσια με συνδέσμους μορφής V χωρίς εκκεντρότητα (ζώνες απόδοσης ενέργειας σε εφελκόμενες και θλιβόμενες διαγώνιους). (μορφής V a), μορφής Λ b) σύνθετης μορφής c)) [3]



**Σχήμα 2.4:** Πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους (ζώνες απόδοσης ενέργειας σε συνδέσμους κάμψης ή τέμνουσας) [3]

### **2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

Η επαρκής τοπική πλαστιμότητα των μελών τα οποία αποδίδουν ενέργεια υπό θλίψη ή κάμψη θα εξασφαλίζεται με τον περιορισμό του λόγου πλάτους-πάχους ( $b/t$ ) σύμφωνα με τις κατηγορίες διατομών οι οποίες ορίζονται στον EC3 [10].

Για στοιχεία που πλαστικοποιούνται ή γενικά είναι μέλη που λειτουργούν σαν μέσα απόσβεσης ενέργειας, για κάθε κατηγορία πλαστιμότητας κατασκευής, απαιτείται η ανάλογη κατηγορία διατομής σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 [3][10]:

| Κατηγορία Πλαστιμότητας | Τιμή αναφοράς του συντελεστή συμπεριφοράς $q$ | Απαιτούμενη κατηγορία διατομής |
|-------------------------|---|--------------------------------|
| ΚΠΜ                     | $1,5 < q \leq 2$                              | κατηγορία 1, 2 ή 3             |
|                         | $2 < q \leq 4$                                | κατηγορία 1 ή 2                |
| ΚΠΥ                     | $q > 4$                                       | κατηγορία 1                    |

**Πίνακας 2.3:** Απαιτήσεις της κατηγορίας διατομής των πλαστικών στοιχείων ανάλογα με την Κατηγορία Πλαστιμότητας και τον συντελεστή συμπεριφοράς [3]

## **2.4 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΔΙΑΓΩΝΙΑ ΜΕΛΗ (CBF-Concentric Braced Frames)**

Στα πλαίσια με διαγώνιους συνδέσμους χωρίς εκκεντρότητα, οι πλευρικές δυνάμεις παραλαμβάνονται ως αξονικές δυνάμεις από τα κάθετα διαγώνια μέλη [2][3]. Ως σύστημα απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας ορίζουμε τα διαγώνια μέλη σε εφελκυσμό [2][3]. Η ευστάθεια του συστήματος βασίζεται στη θεμελιώδη αρχή της γεωμετρίας του τριγωνικού κάθετου δικτυώματος, όπου λειτουργεί σαν βαθιά δοκός με ύψος το άνοιγμα του πλαισίου<sup>[14]</sup>. Γενικότερα, η συμπεριφορά του πλαισίου καθορίζεται από τη συμπεριφορά των διαγώνιων μελών [2]. Τα πλαίσια με κεντρικούς διαγώνιους συνδέσμους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Πλάισια με Χ διαμόρφωση των διαγώνιων μελών.



**Εικόνα 1.1:** Λεπτομέρειες διάταξης διαγώνιων μελών Χ διαμόρφωσης  
(Πηγή: <https://gr.Pinterest.com/pin/377317275000461611/?autologin=true>)

- Πλαίσια με V ή Λ διαμόρφωση των διαγώνιων μελών.



**Εικόνα 2.2:** Λεπτομέρειες διάταξης διαγώνιων μελών V, Λ διαμόρφωσης  
(Πηγή: <https://www.hera.org.nz/brittle-fracture-update/>)

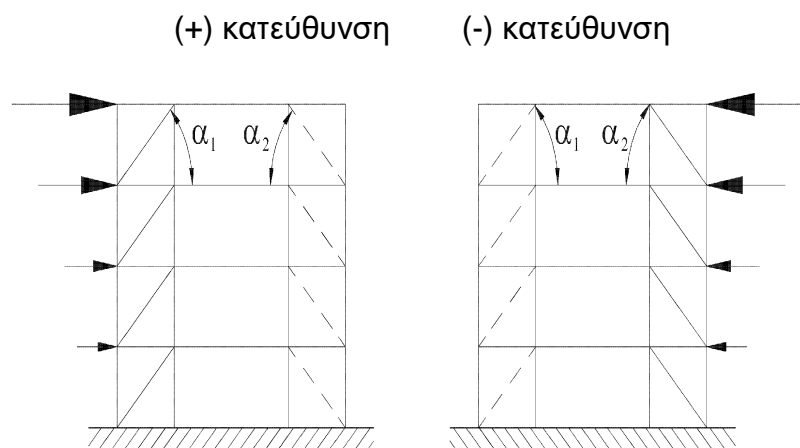
#### **2.4.1 ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ EC8 ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΔΙΑΓΩΝΙΑ ΜΕΛΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ “X”**

Στα κατασκευαστικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν μόνο αυτού του τύπου πλαίσια και για αυτό το λόγο θα αναλυθούν οι παραδοχές μόνο για αυτά. Όπως αναφέρθηκε οι οριζόντιες σεισμικές δυνάμεις παραλαμβάνονται αξονικά από τα διαγώνια μέλη και δεν δημιουργούνται ροπές, λειτουργεί το πλαίσιο ως δικτύωμα.

Στα πλαίσια διαμόρφωσης X τις σεισμικές δυνάμεις τις παραλαμβάνουν μόνο τα διαγώνια μέλη σε εφελκυσμό, αμελώντας την συνεισφορά των μελών σε θλίψη <sup>[2][3]</sup>. Η ανάλυση μιας κατασκευής με αυτό το σύστημα πλευρικής αντίστασης, γίνεται με γραμμική ελαστική ανάλυση πλαισίου, θεωρώντας ότι μόνο τα μέλη σε εφελκυσμό είναι ενεργά, ενώ για τα μέλη σε θλίψη αγνοούμε την ύπαρξη τους καθώς θεωρούμε ότι έχουν ήδη διαρρεύσει (λυγίσει) λόγω θλίψης και δε μπορούν να παραλάβουν φορτία <sup>[2]</sup>.

Αυτές οι παραδοχές είναι συντηρητικές για την ακαμψία και την συνεισφορά των μελών σε θλίψη, καθότι και τα θλιβόμενα μέλη παραλαμβάνουν και αποσβένουν σεισμική ενέργεια ως ένα βαθμό <sup>[2]</sup>. Βέβαια είναι μια ασφαλής παραδοχή για την εξασφάλιση της πλαστικής συμπεριφοράς του πλαισίου μετά το σεισμό (Post-Buckling Behavior) <sup>[2]</sup>.





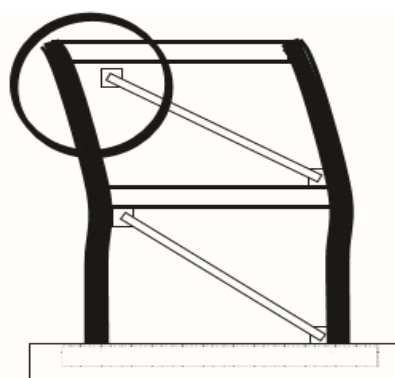
**Σχήμα 2.5:** Σχηματική απεικόνιση της επιθυμητής συμπεριφοράς των μελών σε κάθε κατεύθυνση. Τα διαγώνια μέλη με την διακεκομμένη γραμμή είναι τα μέλη υπό θλίψη. [3]

Επίσης, σύμφωνα με τον EC8, τα διαγώνια στοιχεία των συνδέσμων θα τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο φορέας να επιδεικνύει παρεμφερή χαρακτηριστικά καμπτικής παραμόρφωσης σε κάθε όροφο κάτω από τις εναλλασσόμενες κατευθύνσεις καταπόνησης [2][3].

Όσον αφορά τις εφελκόμενες διαγώνιους θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε η διαρροή τους να πραγματοποιείται πριν από στην αστοχία των συνδέσεων και πριν από την διαρροή ή τον λυγισμό των δοκών ή των υποστυλωμάτων [2][3].

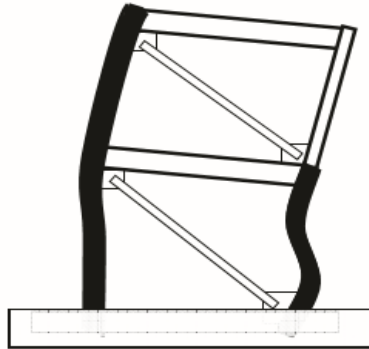
Γενικότερα, πρέπει να αποφεύγονται οι παρακάτω συνθήκες κατά τη σεισμική φόρτιση:

1. Αποκόλληση της σύνδεσης των διαγώνιων μελών [13] .



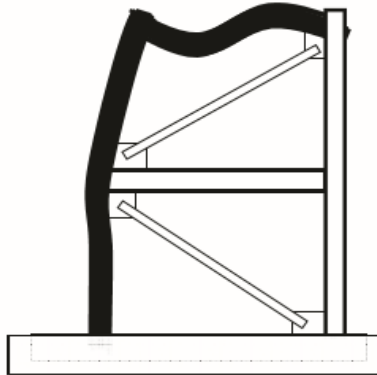
**Σχήμα 2.6:** Σχηματική απεικόνιση της αποκόλλησης [13]

2. Λυγισμός υποστυλώματος <sup>[13]</sup>.



**Σχήμα 2.7:** Σχηματική απεικόνιση λυγισμού υποστυλώματος <sup>[13]</sup>

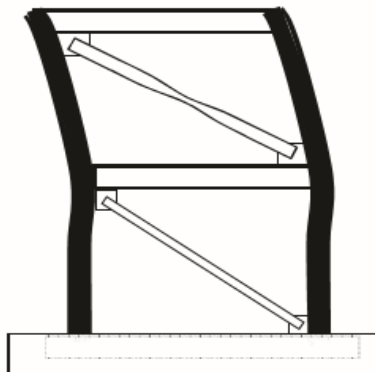
3. Αστοχία δοκού <sup>[13]</sup>.



**Σχήμα 2.8:** Σχηματική απεικόνιση αστοχίας δοκού <sup>[13]</sup>

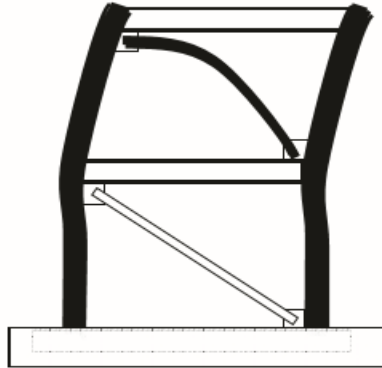
Επιδιωκόμενη συμπεριφορά διαγώνιων μελών και πλαισίου:

1. Διαρροή των εφελκυσμένων μελών σε εφελκυσμό <sup>[13]</sup>.



**Σχήμα 2.9:** Σχηματική απεικόνιση διαρροής εφελκυσμένου μέλους <sup>[13]</sup>

## 2. Λυγισμός διαγώνιου μέλους <sup>[13]</sup>.



**Σχήμα 2.10:** Σχηματική απεικόνιση λυγισμού διαγώνιου μέλους <sup>[13]</sup>

Τέλος, να αναφερθεί ότι κατά το στάδιο σχεδιασμού για τα φορτία βαρύτητας δεν λαμβάνονται υπόψιν τα διαγώνια μέλη (θεωρούνται ανενεργά), παρά μόνο οι δοκοί και τα υποστυλώματα <sup>[2][3]</sup>.

Τα διαγώνια μέλη θεωρούνται ανενεργά έτσι ώστε κατά την συνθήκη οριακής κατάστασης να υπολογίζεται η δυσμενέστερη φόρτιση για τα υποστυλώματα και τις δοκούς και να μην λαμβάνονται υπόψιν για την στατικότητα του κτιρίου τα διαγώνια μέλη καθώς σε μια σεισμική διέγερση είναι αυτά που θέλουμε να αστοχήσουν ή να διαρρεύσουν πρώτα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **3. ΑΡΧΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ**

Η πρώτη έννοια την οποία πρέπει να κατανοήσει ένας Πολιτικός Μηχανικός είναι η έννοια των φορτίων βαρύτητας. Τα φορτία βαρύτητας είναι σταθερές φορτίσεις στη διάρκεια του χρόνου, για αυτό και ονομάζονται και στατικά φορτία και δημιουργούν στατικές δυνάμεις τις οποίες μπορεί εύκολα να καθορίσει ένας Μηχανικός, να υπολογίσει τα εντατικά μεγέθη και να προχωρήσει στο στάδιο του σχεδιασμού. Η ευκολία όμως αυτή έγκειται και στο γεγονός ότι τα φορτία βαρύτητας είναι σταθερά λόγω του γεγονότος ότι είναι σταθερή η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) και γνωστή η διεύθυνση της φόρτισης. Εδώ είναι η μεγάλη διαφορά των στατικών φορτίων σε σχέση με τα σεισμικά φορτία, τα οποία ουσιαστικά είναι η ίδια μάζα (kg) των φορτίων βαρύτητας επί την επιτάχυνση του σεισμού την οποία δε γνωρίζουμε αλλά χρησιμοποιούμε τιμές επιτάχυνσης από μεγάλα σεισμικά γεγονότα του παρελθόντος ή χρησιμοποιούμε την μέση τιμή τους (Κεφ. 1<sup>ο</sup>) και επίσης δε γνωρίζουμε ούτε την διεύθυνση της σεισμικής φόρτισης αλλά ούτε τη διάρκεια της φόρτισης.

Άρα η μάζα (kg) κάθε ορόφου είναι ουσιαστικά συγκεντρωμένη ενέργεια (energy potential) όπου με το κατάλληλο φαινόμενο ή γεγονός (σεισμός, ισχυρός άνεμος) ενεργοποιείται παράγοντας δυνάμεις. Επίσης, όσο περισσότερο απέχει η μάζα από το έδαφος τόσο μεγαλύτερη επιρροή ασκεί στην κατασκευή όσον αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά της κατασκευής ( $T, f, \omega$ ) και τις δυνάμεις που δημιουργούνται.

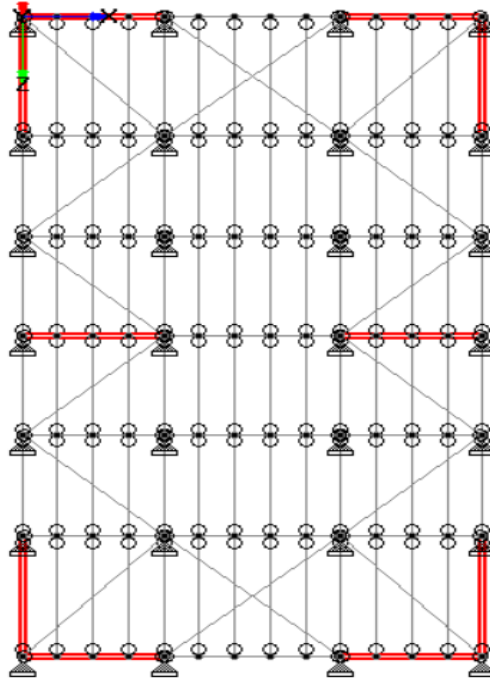
Για αυτούς τους λόγους υπάρχουν διάφορα συστήματα παραλαβής πλευρικών δυνάμεων, το καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και τη δικιά του φιλοσοφία ως προς την καταλληλότητα και την αποδοτικότητα της χρήσης του. Έτσι η μοντελοποίηση μίας κατασκευής είναι το πρώτο και το πιο σημαντικό στάδιο το οποίο θα καθορίσει τη συμπεριφορά της κατασκευής στις δυναμικές και τις στατικές φορτίσεις, τα εντατικά μεγέθη που θα δημιουργηθούν καθώς και το πιο σημαντικό, την “ενεργειακή αποδοτικότητα” (απόσβεσης και αντίστασης της δυναμικής ενέργειας) και συνάμα την οικονομικότητα στο τελικό στάδιο του σχεδιασμού.

### **3.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΙΚΟΥ - ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ**

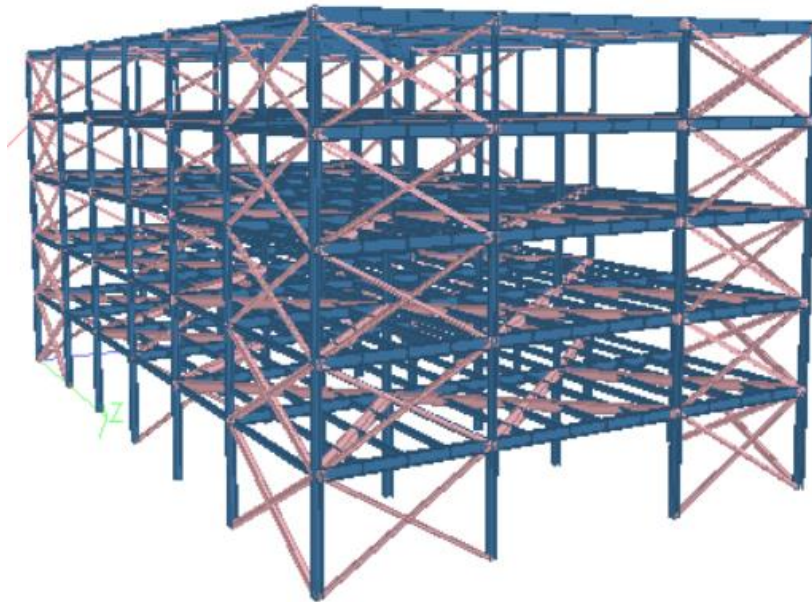
Εν αρχή της εν λόγω έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν χωρικά μοντέλα, όπου η σεισμική μάζα του κτιρίου κατανεμήθηκε ομοιόμορφα ως συγκεντρωμένες μάζες σε κάθε όροφο, συγκεκριμένα στις δευτερεύουσες δοκούς του χωρικού μοντέλου. Ως σεισμική μάζα θεωρήθηκαν τα φορτία βαρύτητας. Η διαφραγματική λειτουργία του χωρικού μοντέλου αντί σύμμικτης πλάκας προσομοιώθηκε με τη χρήση οριζόντιου πλευρικά στηριζόμενου πλαισίου (δικτύωμα) με διαγώνια κεντρικά μέλη (CBF).

Στο επίπεδο μοντέλο οι σεισμικές μάζες κατανεμήθηκαν πάλι σαν συγκεντρωμένες μάζες σε κάθε όροφο στις δοκούς του επίπεδου πλαισίου αλλά επιλέχτηκε διαφορετικό πλάτος επιρροής σε σχέση με τα χωρικά <sup>[4]</sup>.

Το σύστημα πλαισίων που επιλέχτηκε ήταν επίπεδα πλαίσια κατά σειρά όπου ενωνόντουσαν εκτός επιπέδου με συνδετήριες δοκούς<sup>[14]</sup>. Το χωρικό μοντέλο αποτελούνταν από 7 επίπεδα πλαίσια κατά την διεύθυνση X, εκ των οποίων τα 3 από αυτά ήταν δύσκαμπτα πλαίσια CBF. Επιλέχτηκαν επίσης να τοποθετηθούν τα 2 από αυτά στις άκρες του κτιρίου και το ένα στο κέντρο. Επίσης 2 δύσκαμπτα πλαίσια CBF είχαν τοποθετηθεί στις άκρες του κτιρίου κατά την διεύθυνση Z.



**Σχήμα 3.1:** Κάτοψη χωρικού μοντέλου. Διαφάνονται με κόκκινο χρωματισμό η θέση των δύσκαμπτων πλαισίων (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 3.2:** Προοπτική 5-όροφου χωρικού μοντέλου (Πηγή: STAAD.Pro)

Στο σύστημα αυτό κάθε πλαίσιο έχει ανεξάρτητη συμπεριφορά από τα υπόλοιπα, οπότε μπορούσε να αναλυθεί ξεχωριστά <sup>[14]</sup>.

Το κτήριο εκπλήρωνε τις προϋποθέσεις σε κανονικότητα σε κάτοψη και όψη καθώς οι μάζες ήταν ομοιόμορφα κατανομημένες σε κάθε όροφο όπως και τα δύσκαμπτα πλαίσια που θα παραλάμβαναν τις σεισμικές δράσεις <sup>[3]</sup>. Επίσης λόγω συμμετρίας μπορούσαμε

για ελέγξουμε τα εντατικά μεγέθη σε ένα μόνο όροφο χωρίς να χρειάζεται να υπολογίσουμε και τους υπόλοιπους.

Επειδή όμως στη παρούσα έρευνα δε θα προχωρούσαμε σε στάδιο σχεδιασμού των μελών, αλλά η έρευνα θα επικεντρωνόταν στην ιδιομορφική φασματική ανάλυση και στον τρόπο που υπολογίζονται οι σεισμικές δυνάμεις καθώς και στη συμπεριφορά των διαγώνιων μελών τόσο σε χαμηλά κτίρια, όσο και σε υψηλά κτίρια, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν επίπεδα μοντέλα. Με αυτό τον τρόπο απλοποιήθηκε το πρόβλημα σε θέματα υπολογισμού και ανάλυσης και βελτιστοποιήθηκε και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων λόγω στατικής απλότητας και αποφυγής στρεπτικών επιδράσεων. Επίσης επιλέγοντας ως σύστημα πλευρικής αντίστασης σεισμικών δυνάμεων τα δύσκαμπτα πλαίσια με κεντρικά διαγώνια μέλη, τα μέλη της κατασκευής λειτουργούν μόνο σε εφελκυστικές και θλιπτικές δυνάμεις και αυτό απλοποίησε ακόμα περισσότερο την ανάλυση της κατασκευής.

Να σημειωθεί ότι τα χωρικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν μόνο σε στάδιο προδιαστασιολόγησης των μελών υπό φορτία βαρύτητας σε οριακή κατάσταση αστοχίας και με βάση τις διατάξεις του κώδικα EC8 για τα δύσκαμπτα πλαίσια CBF <sup>[3][10]</sup>.

Κατά την διαδικασία της μοντελοποίησης, αποφασίστηκε να εξεταστούν τρία (3) επίπεδα μοντέλα έτσι ώστε να μελετηθούν τα σεισμικά φαινόμενα και σε χαμηλά (Low-rise Buildings) αλλά και σε υψηλά κτίρια (High-Rise Building), έτσι ώστε να έχουμε μία ολιστική εικόνα των σεισμικών δυνάμεων που προκύπτουν και της συμπεριφοράς των κατασκευών.

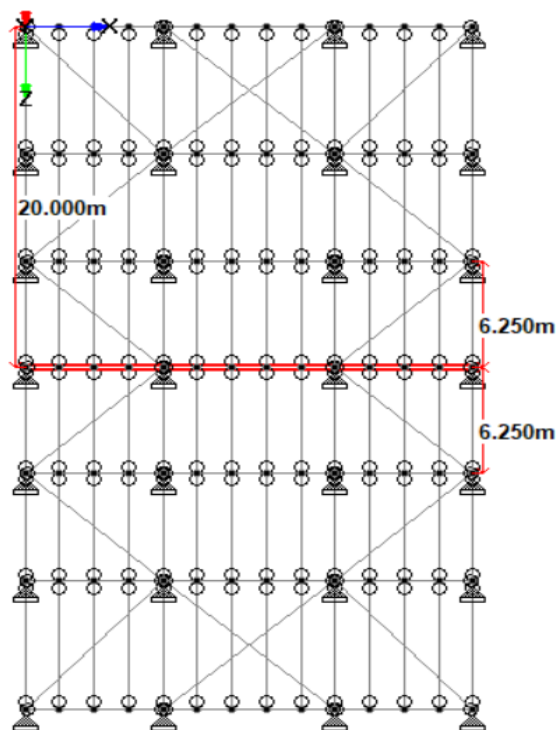
Υπ' αυτές τις προϋποθέσεις, δημιουργήθηκε ένα:

- 5-όροφο κτιριακό μοντέλο
- 18-όροφο κτιριακό μοντέλο
- 36-όροφο κτιριακό μοντέλο

Για κάθε κτιριακό μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν άλλες δύο υποκατηγορίες μοντέλων:

- Χωρίς ενδιάμεσους κόμβους στα ανοίγματα των κυρίων δοκών (Τύπου Α)
- Με ενδιάμεσους κόμβους στα ανοίγματα των κυρίων δοκών (Τύπου Β)

Η χρήση και η μη χρήση κόμβων στα επίπεδα μοντέλα ήταν μια άλλη διάσταση που δόθηκε στην έρευνα, έτσι ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά και η ταλάντωση της κατασκευής σε κάθετο σεισμό, αλλά αυτή η ανάλυση θα γίνει στο κεφ. 5 της παρούσας εργασίας. Για κάθε μοντέλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3 επιλέχτηκε το κεντρικό επίπεδο δύσκαμπτο πλαίσιο για σεισμική ανάλυση:



**Σχήμα 3.3:** Κάτοψη χωρικού μοντέλου όπου διαφάνεται το κεντρικό δύσκαμπτο πλαίσιο και το πλάτος επιρροής του κεντρικού πλαισίου (Πηγή: STAAD.Pro)

Τα φορτία βαρύτητας, οι συνδέσεις των μελών, καθώς και το σύστημα πλευρικής αντίστασης είναι ίδιο σε όλα τα μοντέλα (5,18,36). Τα μοντέλα διαφέρουν καθ' ύψος (άξονας Y) καθώς και στο 36-όροφο μοντέλο επιλέχθηκε να τοποθετηθούν επιπλέον δύο δύσκαμπτα πλαίσια όποτε έχει μεγαλύτερη διάσταση κατά μήκος (άξονας X).

### **3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ**

#### **1. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ**

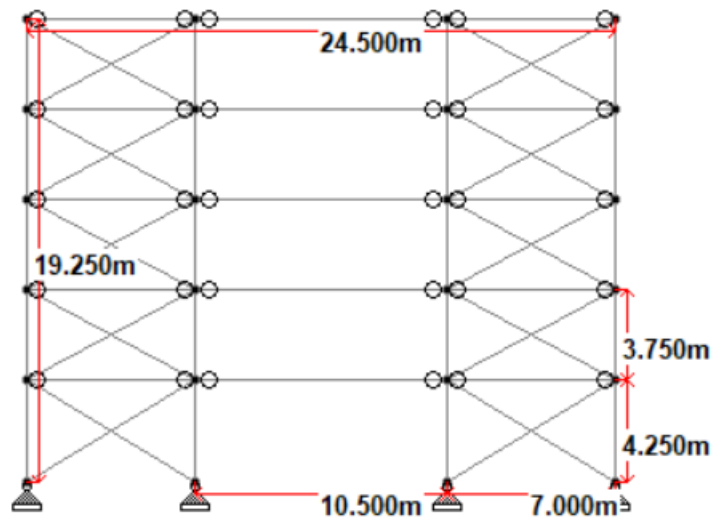
Σε όλα τα μοντέλα επιλέχτηκαν:

- απλές συνδέσεις ή συνδέσεις τέμνουσας ώστε να επιτευχθεί συμπεριφορά δικτυώματος και μεταφορά των σεισμικών δράσεων διαμέσου αξονικών δυνάμεων.
- Για αποφυγή ασταθειών χρησιμοποιήθηκαν άκαμπτες συνδέσεις μόνο μεταξύ των υποστυλωμάτων.
- Τα διαγώνια μέλη δεν έχουν μοντελοποιηθεί με κεντρικό σύνδεσμο αλλά λειτουργεί το καθένα ανεξάρτητα από το άλλο.
- Τέλος, οι στηρίξεις κάθε επίπεδου πλαισίου είναι αρθρώσεις.

## 2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

### 5-ΟΡΟΦΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.4 το μοντέλο έχει συνολικό ύψος  $L_y=19.25$  m και μέγιστο μήκος  $L_x=24.50$  m. Το κτιριακό μοντέλο αποτελείται επίσης από 3 πλαίσια σε κάθε όροφο εκ των οποίων τα 2 ακριανά είναι δύσκαμπτα και αποτελείται από 5 πατώματα. Όλα τα δύσκαμπτα πλαίσια έχουν άνοιγμα  $L_{xBr}=7.00$  m, ενώ το μη υποστηριζόμενο στο κέντρο έχει  $L_{xUn}=10.5$  m. Τέλος, στον ισόγειο όροφο τα πλαίσια έχουν ύψος  $L_{yGf}=4.25$  m, ενώ στους υπόλοιπους ορόφους το ύψος είναι  $L_{yF}=3.75$  m.

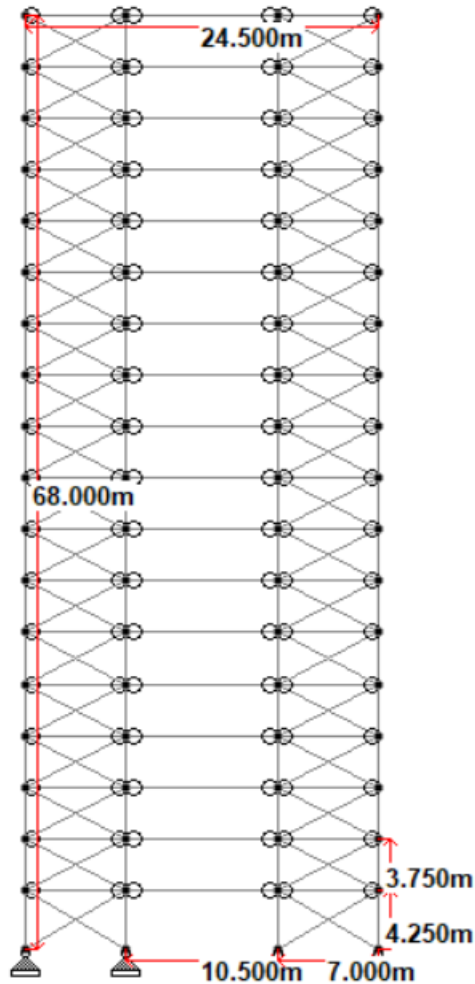


**Σχήμα 3.4:** Όψη και διαστάσεις επίπεδου 5-όροφου μοντέλου (Πηγή: STAAD.Pro)



### 18-ΟΡΟΦΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.5 το μοντέλο έχει συνολικό ύψος  $L_y=68.00$  m και αποτελείται από 18 πατώματα. Τα υπόλοιπα γεωμετρικά στοιχεία είναι παρόμοια με το 5-όροφο μοντέλο.



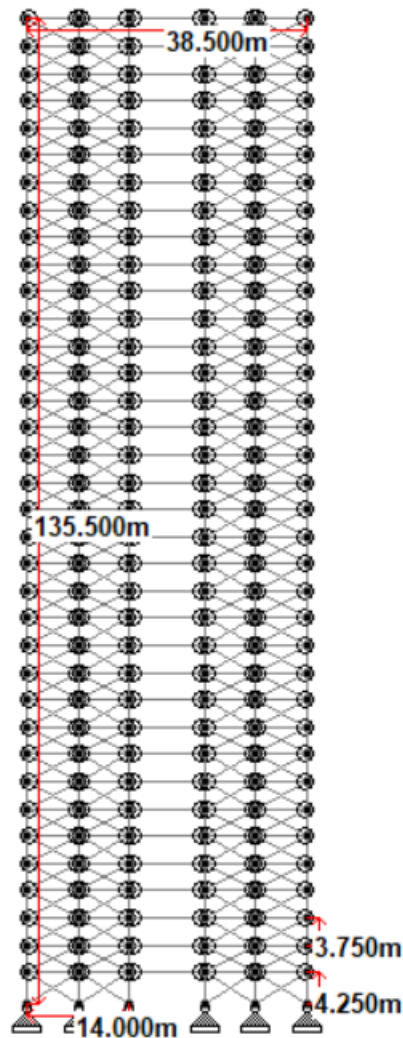
**Σχήμα 3.5:** Όψη και διαστάσεις επίπεδου 18-όροφου μοντέλου (Πηγή: STAAD.Pro)

### 36-ΟΡΟΦΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.6 το μοντέλο έχει συνολικό ύψος  $L_y=135.5$  m και μέγιστο μήκος  $L_x=38.50$  m. Το κτιριακό μοντέλο αποτελείται από 5 πλαίσια σε κάθε όροφο εκ των οποίων τα 4 είναι δύσκαμπτα και αποτελείται και από 36 πατώματα. Όλα τα δύσκαμπτα πλαίσια έχουν άνοιγμα  $L_{xBr}=7.00$ m, ενώ το μη υποστηριζόμενο στο κέντρο έχει  $L_{xUn}=10.5$ m. Τέλος, στον ισόγειο όροφο τα πλαίσια έχουν ύψος  $L_{yGf}=4.25$ m, ενώ στους υπόλοιπους ορόφους το ύψος είναι  $L_{yF}=3.75$ m.

Η προσθήκη των επιπλέον δύσκαμπτων πλαισίων στη κάθε πλευρά του μοντέλου, έγινε για τους εξής λόγους:

- Λόγω του μεγάλου ύψους του μοντέλου παρουσίαζε μεγάλες ιδιοπεριόδους T, δηλαδή ήταν αρκετά εύκαμπτο σε πλευρικές δυνάμεις. Επίσης λόγω του μεγάλου λόγου ύψους-μήκους αυξάνονταν η λυγρότητα του κτιρίου και λειτουργούσε κυρίως ως λεπτόκορμη κατασκευή (slender member).
- Επίσης τα φορτία βαρύτητας, λόγω των τεράστιων αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται στα υποστυλώματα των χαμηλών ορόφων, πλέον κατανέμονται σε περισσότερα υποστυλώματα, οπότε χρησιμοποιήθηκαν μικρότερες διατομές και διατηρήθηκαν οι κλάσεις S1 και S2.



**Σχήμα 3.6: Όψη και διαστάσεις επίπεδου 36-όροφου μοντέλου (Πηγή: STAAD.Pro)**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ**

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία καθώς και τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν.

#### **4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

##### **ΚΑΘΟΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΟΝΤΕΛΩΝ**

##### **1. Παράμετροι Οριζόντιας σεισμικής φόρτισης (X διεύθυνση)**

- Φάσμα Τύπου 1
- Κατηγορία εδάφους: A (Βράχος) άρα  $S=1.00$ ,  $T_B=0.15s$ ,  $T_C=0.40s$ ,  $T_D=2.00s$
- Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση αναφοράς  $\alpha_{gR}=0.25g$  Σεισμική Ζώνη III ( $g=9.81m/s^2$ )
- Συντελεστής σπουδαιότητας  $\gamma_I=1.00$  (Συνήθη κτίρια)
- Συντελεστής συμπεριφοράς  $q=4.00$  (ΚΠΜ)
- Εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού  $\alpha_g = \gamma_I * \alpha_{gR} = 1.00 * 0.25g = 0.25g$

##### **2. Παράμετροι Κάθετης σεισμικής φόρτισης (Y διεύθυνση)**

- Φάσμα Τύπου 1
- $S=1.00$ ,  $T_B=0.05s$ ,  $T_C=0.15s$ ,  $T_D=1.00s$
- Συντελεστής συμπεριφοράς  $q=1.50$
- $\alpha_{vg}/\alpha_g = 0.90 \Rightarrow \alpha_{vg} = 0.9 * 0.25g = 0.225g$

##### **3. Χαρακτηριστικά Φορτία**

###### **ΦΟΡΤΙΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ**

- Μόνιμα φορτία:
    - \* Διαχωριστικά  $0.75 \text{ kN/m}^2$
    - \* Συστήματα μηχανολογικά-ηλεκτρικά  $0.50 \text{ kN/m}^2$
    - \* Μεταλλικό πάνελ 1mm  $0.10 \text{ kN/m}^2$
    - \* Ψευδοτάβανο  $0.30 \text{ kN/m}^2$
    - \* Πλάκα από σκυρόδεμα 125 mm  $2.10 \text{ kN/m}^2$
    - \* Ιδιοβάρος δοκών  $0.25 \text{ kN/m}^2$
- Συνολικό μόνιμο φορτίο  $G_k$ :  $4.00 \text{ kN/m}^2$**

Υπολογισμός κατανεμημένου φορτίου κύριας δοκού

Πλάτος επιρροής δοκούς:  $6.25m / 2 + 6.25m / 2 = 6.25m$

- **$W_{Gk} = 4.00 \text{ kN/m}^2 * 6.25m = 25.00 \text{ kN/m}$**

- Μεταβλητά φορτία:

\*Τα κτίρια προορίζονται για να χρησιμοποιηθούν για στέγαση γραφείων εταιριών, οπότε σύμφωνα με τον EN1991:2002 <sup>[12]</sup> προτείνεται:

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| *Στέγαση γραφείων                                      | 2.00 kN/m <sup>2</sup>              |
| <b><u>Συνολικό μεταβλητό φορτίο q<sub>k</sub>:</u></b> | <b><u>2.00 kN/m<sup>2</sup></u></b> |

Υπολογισμός κατανεμημένου φορτίου κύριας δοκού  
Πλάτος επιρροής δοκού: 6.25m /2 + 6.25m /2 = 6.25m

- **W<sub>qk</sub> = 2.00 kN/m<sup>2</sup> \* 6.25m = 12.50 kN/m**

Για προδιαστασιολόγηση των διατομών έγινε ο συνδυασμός φορτίσεων σύμφωνα με τον EN 1990:2002 <sup>[11]</sup> για συνθήκη οριακής κατάστασης αστοχίας:

**E<sub>d</sub> = 1.35G<sub>k</sub> + 1.50q<sub>k</sub>** και πρέπει E<sub>d</sub> < R<sub>d</sub> <sup>[11]</sup>

Όπου **E<sub>d</sub>** είναι οι δράσεις σχεδιασμού και **R<sub>d</sub>** είναι η αντίσταση διατομής σχεδιασμού <sup>[11]</sup>. Να αναφερθεί ότι τα φορτία είναι παρόμοια κατανεμημένα και ίδιου μεγέθους σε κάθε όροφο.

Άρα **W<sub>ολ, G</sub> = 1.35 \* 25.00 kN/m + 1.50 \* 12.50 kN/m => W<sub>ολ, G</sub> = 52.50 kN/m**

### ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Ως σεισμικές μάζες του κτιρίου θεωρήθηκαν τα υπολογισμένα μόνιμα και μεταβλητά φορτία του κάθε ορόφου. Οι συγκεντρωμένες μάζες του σεισμού (σεισμικές μάζες) κατανέμονται στις κύριες δοκούς. Ως πλάτος επιρροής όμως χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό καθώς η σεισμική ενέργεια ενεργοποιεί μάζα, την οποία παραλαμβάνουν και αντιστέκονται μόνο τα δύσκαμπτα πλαίσια. Επίσης με αυτόν το τρόπο προσομοιώθηκε και η σεισμική συμπεριφορά των πλαισίων από χωρικά σε επίπεδα.

- Συνολικό μόνιμο φορτίο G<sub>k</sub>: 4.00 kN/m<sup>2</sup>  
Πλάτος επιρροής δοκού: 10.00m /2 + 10.00m /2 = 10.00m  
- **W<sub>EGk</sub> = 4.00 kN/m<sup>2</sup> \* 10.00 m = 40.00 kN/m**
- Συνολικό μεταβλητό φορτίο q<sub>k</sub>: 2.00 kN/m<sup>2</sup>  
Πλάτος επιρροής δοκού: 10.00m /2 + 10.00m /2 = 6.25m  
- **W<sub>EQk</sub> = 2.00 kN/m<sup>2</sup> \* 10.00 m = 20.00 kN/m**

Σύμφωνα με τον EN 1998:2004 [3] τα αδρανειακά αποτελέσματα της σεισμικής δράσης σχεδιασμού θα αποτιμώνται λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία των μαζών που συνδέονται με όλα τα φορτία βαρύτητας που περιλαμβάνονται στον ακόλουθο συνδυασμό δράσεων:

$$\Sigma G_{k,j} "+" \Sigma \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad [3]$$

$\psi_{E,i} = \psi_2 \cdot \phi = 1.00 \cdot 0.3 = 0.3$  [3] άρα οι σεισμικές μάζες αδράνειας ισούνται με:

$$\mathbf{E_d = 1.00G_k + 0.3q_k} \quad [3]$$

Άρα  $W_{o\lambda,E} = 1.00 \cdot 40.00 \text{ kN/m} + 0.3 \cdot 20.00 \text{ kN/m} \Rightarrow \mathbf{W_{o\lambda,E} = 46.00 \text{ kN/m}}$

## **4.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΙΜΩΝ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ**

Για την ακρίβεια των τιμών επιτάχυνσης  $S_e(T)$  και  $S_v(T)$ , κατασκευάστηκε για κάθε διεύθυνση σεισμικής διέγερσης, οριζόντια και κάθετη, τα αντίστοιχα φάσματα απόκρισης βάση τις διατάξεις του κώδικα EC8 [3], όπως αναφέρονται στη παράγραφο 1.2 της παρούσας εργασίας.

Με αυτό το τρόπο ήταν δυνατό να υπολογιστεί για κάθε φυσική ιδιοπερίοδο των μοντέλων, η αντίστοιχη επιτάχυνση  $S_e(T)$  του φάσματος απόκρισης και συνάμα να επιτευχθεί ακρίβεια στις τιμές των επιταχύνσεων. Έτσι δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι σημαντικές τιμές του φάσματος απόκρισης και όσες κρίνει ο Μηχανικός σημαντικές για την ιδιομορφική φασματική ανάλυση.

Επίσης, δόθηκε η δυνατότητα να γίνει ξεχωριστή ανάλυση για κάθε σημαντική ιδιομορφή των μοντέλων, όπου απομονώθηκε η χαρακτηριστική ιδιοπερίοδος  $T$  και η αντίστοιχη επιτάχυνση  $S_e(T)$  της επιθυμητής ιδιομορφής με παράλληλο μηδενισμό όλων των υπόλοιπων. Με αυτό τον τρόπο μπορούσαν να ελεγχτούν και τα αποτελέσματα των αναλύσεων IMR.

Για την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , χρησιμοποιήθηκε η παράμετρος SCALE [7] του προγράμματος STAAD.Pro η οποία αυξομειώνει τις τιμές του φάσματος απόκρισης και όπου για κάθε διεύθυνση σεισμικής ανάλυσης υπολογίστηκε:

- Οριζόντια διεύθυνση X:  
SCALE=  $(\alpha_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S)$ /q -> SCALE =  $(0.25 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 1.0 \cdot 1.0)$ /4.0= 0.613
- Κάθετη διεύθυνση Y:  
SCALE=  $(\alpha_{vg} \cdot \gamma_I \cdot S)$ /q -> SCALE =  $(0.225 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 1.0 \cdot 1.0)$ /1.5= 1.4715

Εδώ διαφαίνεται ότι οι επιταχύνσεις του κάθετου σεισμού έχουν 2.4 φορές μεγαλύτερο SCALE καθώς θέλουμε πολύ μικρές παραμορφώσεις στα υποστυλώματα και σχεδιάζουμε περισσότερο ελαστικά.

Να αναφερθεί ότι σύμφωνα με το φάσμα απόκρισης του κώδικα EC8 [3], μπορούμε να πάρουμε τιμές επιτάχυνσης  $S_e(T)$  μέχρι ιδιοπεριόδους  $T=4s$ . Στη περίπτωση μεγαλύτερων τιμών ιδιοπεριόδων όπως μπορεί να συμβεί σε υψηλά κτίρια, παρόλο που είναι μικρότερη η τιμή επιτάχυνσης  $S_e(T)$  που αντιστοιχεί για ιδιοπεριόδους  $T>4s$ , χρησιμοποιήθηκε η τιμή που αντιστοιχεί σε ιδιοπερίοδο  $T=4s$ .

### **4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Για κάθε μοντέλο έγινε ιδιομορφική φασματική ανάλυση με τη χρήση του προγράμματος STAAD.Pro [7]. Αναλύθηκε η κατανομή των αξονικών δυνάμεων και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των μεθόδων ιδιομορφικών συνδυασμών SRSS, CQC και η Individual Modal Response Combination. Τα μοντέλα όπως προαναφέρθηκε, χωρίζονται σε τύπου Α,Β όπου:

- Α μοντέλα είναι αυτά χωρίς κόμβους στο άνοιγμα των κύριων δοκών (girders)
- Β μοντέλα είναι με κόμβους στο άνοιγμα των κύριων δοκών (girders)

#### **4.3.1 5-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α**

##### **1. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ-5Α**

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s) | X (%) | SUM X (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 1,24         | 7,76             | 0,810 | 82,84 | 82,84     | 360,12              |
| 2 <sup>η</sup>  | 3,62         | 22,71            | 0,277 | 12,87 | 95,71     | 113,36              |
| 3 <sup>η</sup>  | 5,43         | 34,09            | 0,184 | 0,30  | 96,01     | 2,61                |
| 4 <sup>η</sup>  | 5,75         | 36,08            | 0,174 | 0,34  | 96,35     | 2,98                |
| 5 <sup>η</sup>  | 6,59         | 41,40            | 0,152 | 2,51  | 98,86     | 22,13               |
| 6 <sup>η</sup>  | 8,65         | 54,32            | 0,116 | 0,70  | 99,56     | 5,33                |
| 7 <sup>η</sup>  | 9,11         | 57,20            | 0,110 | 0,16  | 99,72     | 1,16                |
| 8 <sup>η</sup>  | 9,74         | 61,15            | 0,103 | 0,05  | 99,77     | 0,33                |
| 9 <sup>η</sup>  | 10,59        | 66,52            | 0,094 | 0,18  | 99,95     | 1,23                |
| 10 <sup>η</sup> | 12,98        | 81,50            | 0,077 | 0,00  | 99,95     | 0,02                |
| 11 <sup>η</sup> | 13,22        | 82,99            | 0,076 | 0,01  | 99,96     | 0,03                |
| 12 <sup>η</sup> | 13,63        | 85,58            | 0,073 | 0,00  | 99,96     | 0,00                |
| SRSS            |              |                  |       |       |           | 378,25              |
| CQC             |              |                  |       |       |           | 378,69              |

**Πίνακας 4.1:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση μοντέλου 5-Α

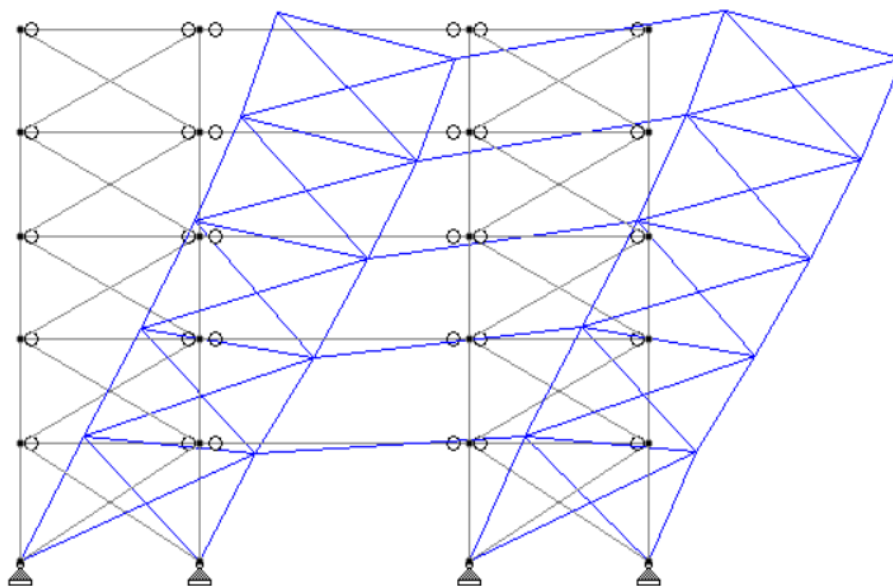
Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

1<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_1=0.810s$   $X_{MASS}=82.84\%$   $F_{bx1}=360.12$  kN

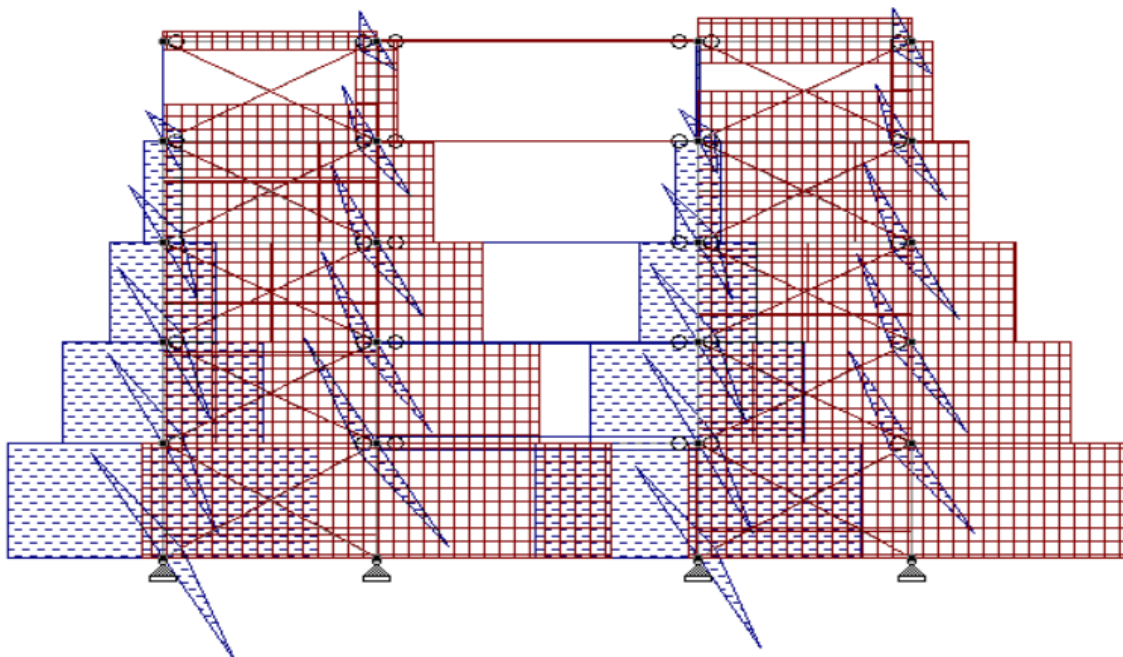
2<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_2=0.277s$   $X_{MASS}=12.873\%$   $F_{bx2}=113.36$  kN

Η μορφή των ιδιομορφών 1, 2 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:

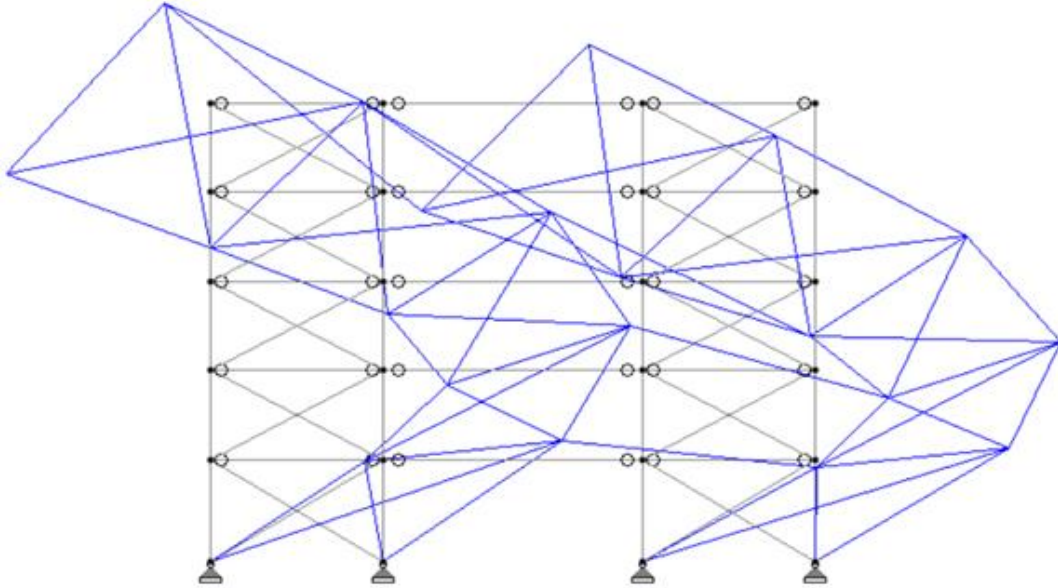
*\*Οι εφελκυστικές δυνάμεις σκιαγραφούνται με μπλε χρώμα, ενώ οι θλιπτικές με κόκκινο.*



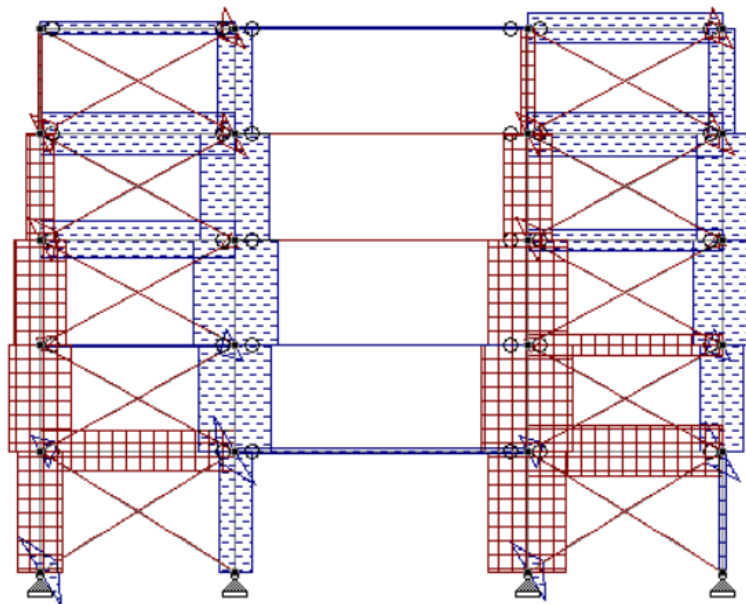
**Σχήμα 4.1:** Σχήμα 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.2:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.3:** Σχήμα 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.4:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



## **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Παρατηρείται ότι σύμφωνα με το σχήμα της κάθε σχηματιζόμενης ιδιομορφής, καθορίζονται και τα δημιουργούμενα εντατικά μεγέθη.

Επίσης, παρατηρείται ότι ενώ τα προεπιλεγμένα ενεργά διαγώνια μέλη στην 1<sup>η</sup> ιδιομορφή λειτουργούν σε όλους τους ορόφους σε εφελκυσμό (Σχήμα 4.2), στην 2<sup>η</sup> ιδιομορφή τα ενεργά διαγώνια μέλη στους ορόφους 3,4,5 λειτουργούν σε θλίψη, πράγμα το οποίο δε το προβλέπει ο κώδικας EC8<sup>[3]</sup>. Σύμφωνα με την παράγραφο 6.7.2 (2P)<sup>[3]</sup> στην γραμμική ελαστική ανάλυση λαμβάνονται υπόψιν στην σεισμική ανάλυση μόνο τα ενεργά εφελκυσόμενα διαγώνια μέλη. Σε αυτήν την περίπτωση ίσως να μην επαρκεί η γραμμική ελαστική ανάλυση και να πρέπει να λάβουμε υπόψιν στην ανάλυση και την μη γραμμική συμπεριφορά των θλιβόμενων κάνοντας μη-γραμμική στατική (pushover) ανάλυση του συνόλου ή μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας (EC8 6.7.2(3))<sup>[3]</sup>. Εφόσον ένα μέλος παραμορφωθεί έχουμε ανακατανομή των φορτίων της κατασκευής σε κάθε κύκλο φόρτισης και πλέον δεν μας καλύπτει η γραμμική ελαστική ανάλυση. Επίσης δε μας καλύπτει ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  σε περιπτώσεις μη γραμμικής συμπεριφοράς, καθώς μπορεί να προβλέπει πλαστική συμπεριφορά μέλους αλλά είναι και πάλι ένας πρακτικός τρόπος γραμμικής ανάλυσης ώστε να υπολογιστούν ανελαστικές σεισμικές δυνάμεις<sup>[2][3]</sup>.

## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ 5-A X ΔΙΕΥΘ.**

Στο μοντέλο επιλέχθηκαν συγκεκριμένα μέλη για συνδυασμό ιδιομορφικών αποκρίσεων με τις μεθόδους CQC, SRSS και IMRC. Κριτήριο ήταν η εναλλαγή πρόσημου των φορτίσεων των μελών (εφελκυσμός, θλίψη) σε κάθε ιδιομορφή, καθότι εξετάστηκε και το κατά πόσο επηρεάζονται τα αποτελέσματα των μεθόδων από το πρόσημο.

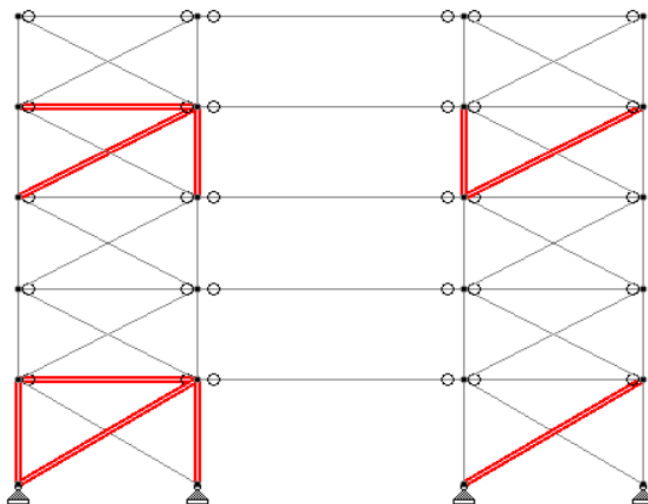
Για να υπολογιστεί το πρόσημο των δυνάμεων των μελών σε κάθε ιδιομορφή χρησιμοποιήθηκε η εντολή IMR (Individual Modal Response) στο πρόγραμμα STAAD.Pro σύμφωνα με την διαδικασία που αναφέρεται στο Κεφ. 1<sup>ο</sup>, παρ. 1.5.3 της παρούσας εργασίας.

Τέλος, δεν ήταν σκοπός της εργασίας το στάδιο του σχεδιασμού μελών, δηλαδή να υπολογιστούν οι μέγιστες τιμές για τα μεγέθη από τον μέγιστο συνδυασμό ιδιομορφών που θα προκύπτει συμμετοχή μάζας  $\geq 90\%$ .

Η διερεύνηση της εργασίας εστιάζει στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων που δίνεται από τις μεθόδους συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων. Δηλαδή, τα αποτελέσματα αφορούν και υπολογίζονται με βάση τον δοθείσα αριθμό ιδιομορφών για κάθε μοντέλο που ορίστηκε καθολικά στις 12 ιδιομορφές για κάθε μοντέλο.

Τα μέλη που επιλέχθηκαν για σεισμική ανάλυση φαίνονται με κόκκινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα:

\*Η αρίθμηση των μελών ξεκινάει από αριστερά προς τα δεξιά



**Σχήμα 4.5:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά X διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |         |        |        |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 1001         | 1      | -171,1                                | -35,96                | -207,06 | 174,88 | 174,87 |
| 1010         | 4      | -68,92                                | 36,29                 | -32,63  | 78,47  | 78,70  |

**Πίνακας 4.2:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά X διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

| Υποστυλώματα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |         |        |        |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 253,52                                | -40,91                | 212,61  | 257,13 | 257,37 |
| 2002         | 1      | -383,39                               | 28,90                 | -354,49 | 384,81 | 385,13 |
| 2014         | 4      | -93,95                                | 62,66                 | -31,29  | 112,74 | 113,14 |
| 2015         | 4      | 36,67                                 | -42,43                | -5,76   | 57,84  | 57,92  |

**Πίνακας 4.3:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά X διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |        |        |        |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|               |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 3001          | 1      | 226,31                                | 70,57                 | 296,88 | 237,71 | 237,48 |
| 3003          | 1      | 197,06                                | 60,94                 | 258,00 | 206,89 | 206,63 |
| 3013          | 4      | 116,97                                | -43,90                | 73,07  | 125,17 | 125,22 |
| 3015          | 4      | 121,17                                | -43,53                | 77,64  | 129,10 | 129,02 |

**Πίνακας 4.4:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά X διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

## 2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ-Α

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s) | Y (%) | SUM Y (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 1,24         | 7,76             | 0,810 | 0,05  | 0,05      | 0,22                |
| 2 <sup>η</sup>  | 3,62         | 22,71            | 0,277 | 0,03  | 0,08      | 0,46                |
| 3 <sup>η</sup>  | 5,43         | 34,09            | 0,184 | 45,34 | 45,42     | 935,77              |
| 4 <sup>η</sup>  | 5,75         | 36,08            | 0,174 | 25,55 | 70,97     | 558,36              |
| 5 <sup>η</sup>  | 6,59         | 41,40            | 0,152 | 0,56  | 71,53     | 13,98               |
| 6 <sup>η</sup>  | 8,65         | 54,32            | 0,116 | 0,63  | 72,16     | 15,98               |
| 7 <sup>η</sup>  | 9,11         | 57,20            | 0,110 | 8,11  | 80,27     | 205,68              |
| 8 <sup>η</sup>  | 9,74         | 61,15            | 0,103 | 2,37  | 82,64     | 60,04               |
| 9 <sup>η</sup>  | 10,59        | 66,52            | 0,094 | 0,02  | 82,66     | 0,55                |
| 10 <sup>η</sup> | 12,98        | 81,50            | 0,077 | 5,59  | 88,25     | 141,73              |
| 11 <sup>η</sup> | 13,22        | 82,99            | 0,076 | 1,13  | 89,38     | 28,56               |
| 12 <sup>η</sup> | 13,63        | 85,58            | 0,073 | 0,67  | 90,05     | 16,51               |
|                 |              |                  |       |       | SRSS      | 1120,26             |
|                 |              |                  |       |       | CQC       | 1462,00             |

**Πίνακας 4.5:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση μοντέλου 5-Α

Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

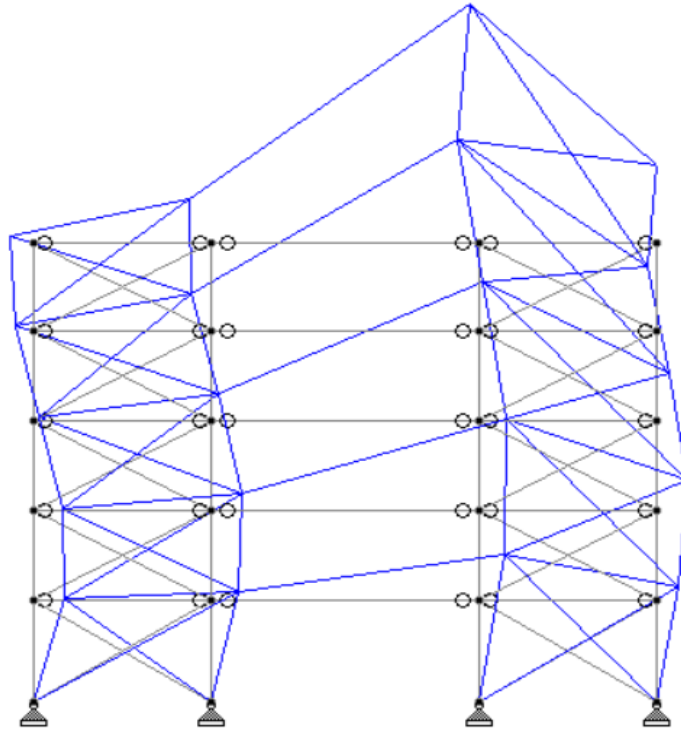
3<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_3=0.184s$   $Y_{MASS}=45.34\%$   $F_{by}=935.77$  kN

4<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_4=0.174s$   $Y_{MASS}=25.55\%$   $F_{by}=558.36$  kN

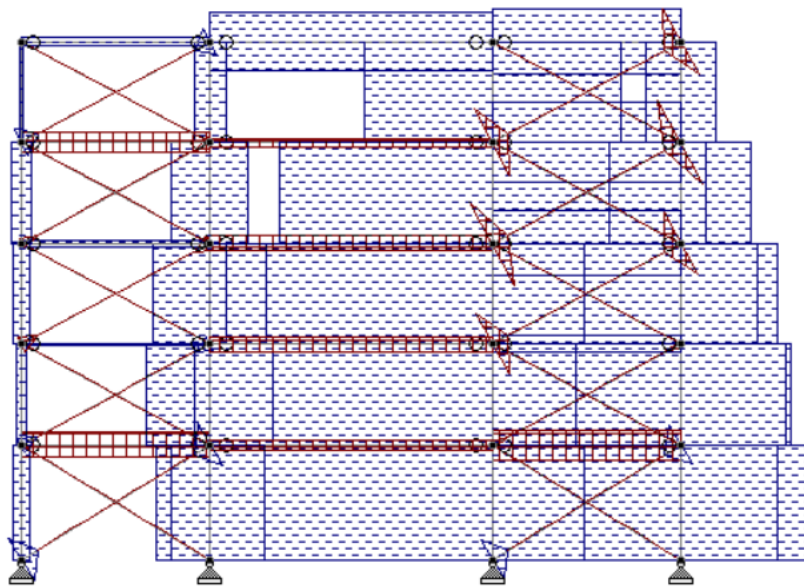
7<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_7=0.110s$   $Y_{MASS}=8.11\%$   $F_{by}=205.68$  kN

10<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_{10}=0.077s$   $Y_{MASS}=5.59\%$   $F_{by}=141.73$  kN

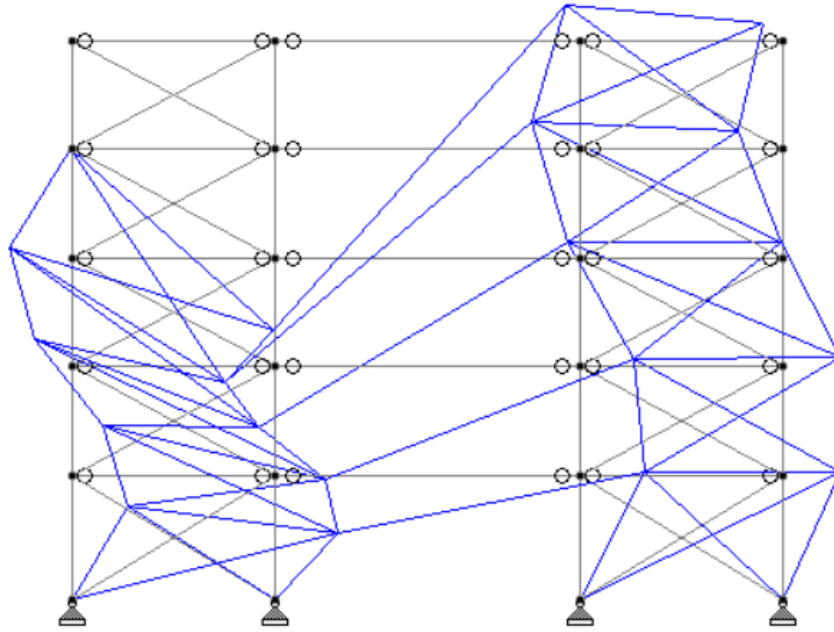
Η μορφή των ιδιομορφών 3, 4, 7, 10 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



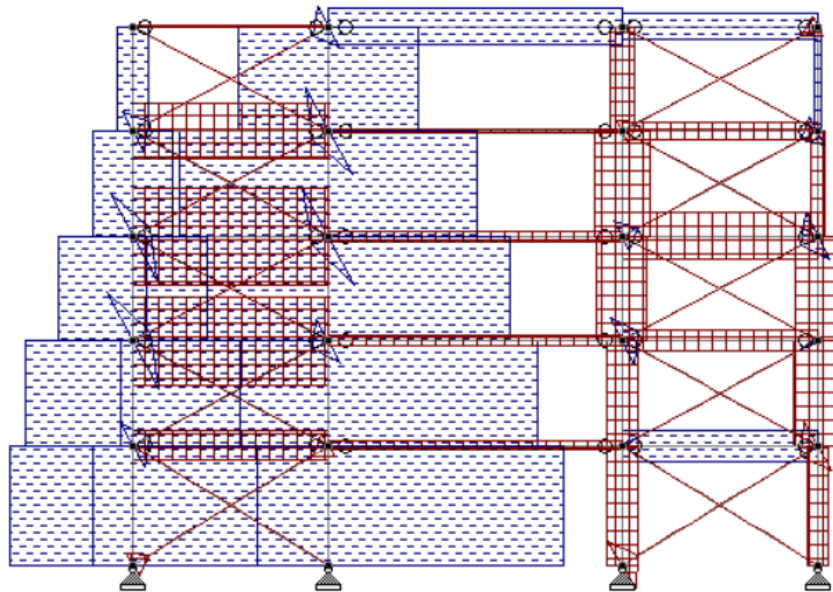
**Σχήμα 4.6:** Σχήμα 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



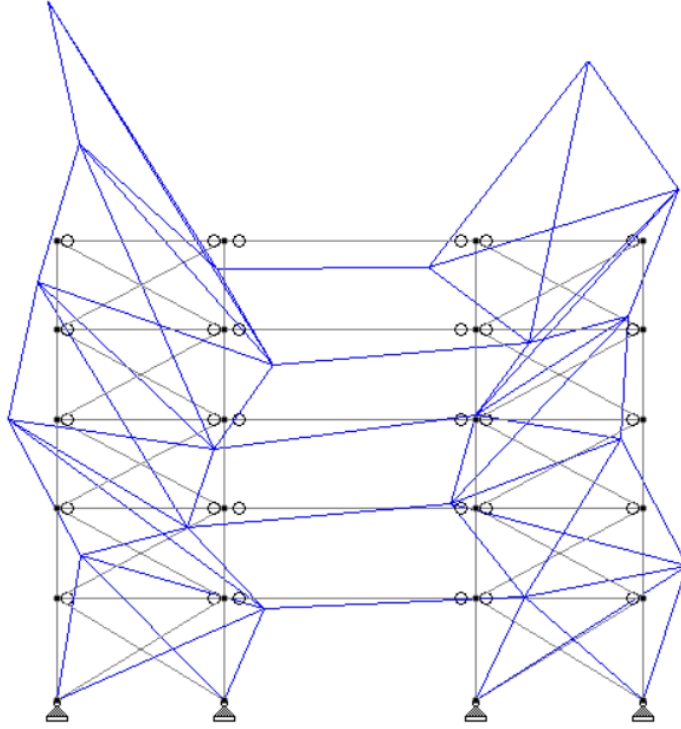
**Σχήμα 4.7:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



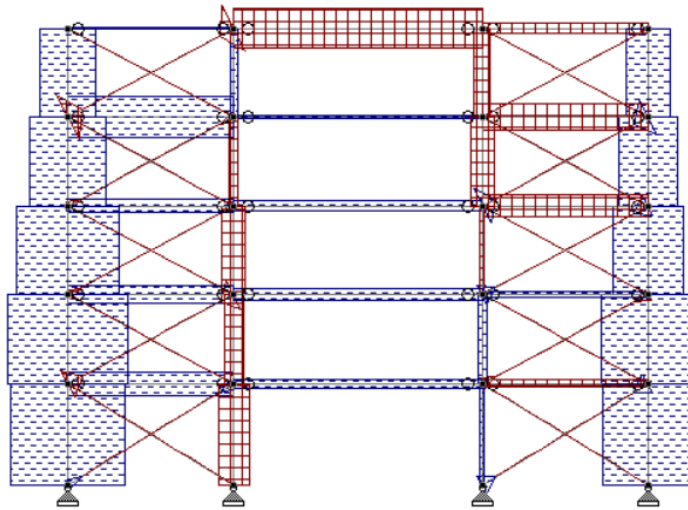
**Σχήμα 4.8:** Σχήμα 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



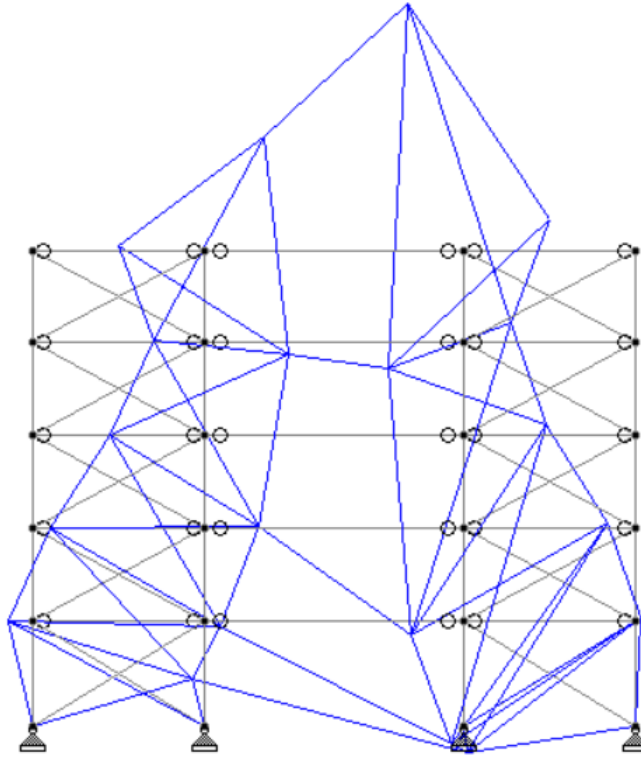
**Σχήμα 4.9:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



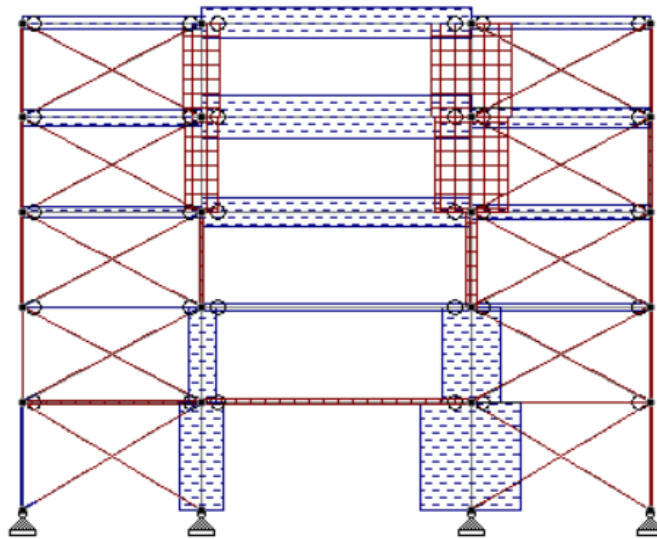
**Σχήμα 4.10:** Σχήμα 7<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.11:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 7<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.12:** Σχήμα 10<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.13:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 10<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

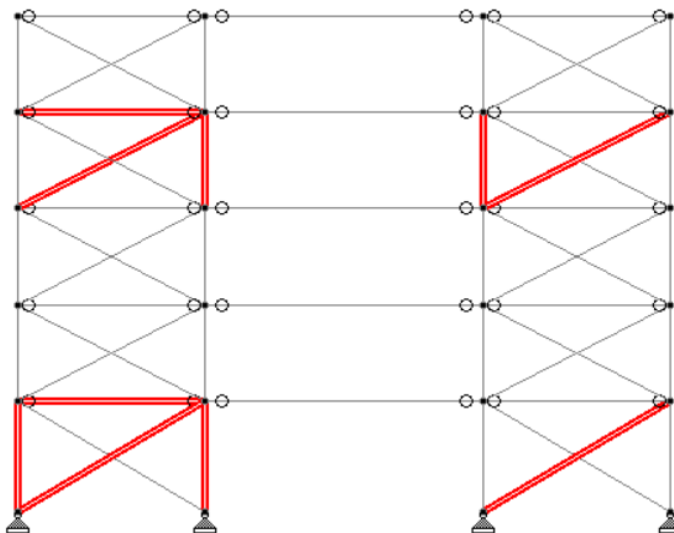
### **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Σύμφωνα με τα σχήματα κατανομής αξονικών δυνάμεων ο κάθετος σεισμός επηρεάζει περισσότερο τα υποστυλώματα παρά τα υπόλοιπα μέλη του μοντέλου και για αυτό εξάλλου έχουμε πολύ χαμηλότερο συντελεστή συμπεριφοράς  $q=1.5$  <sup>[3]</sup>, καθότι τα υποστυλώματα θέλουμε να λειτουργούν περισσότερο ελαστικά, παρά πλαστικά. Είναι το

τελευταίο δομικό μέλος που πρέπει να αστοχήσει [2][3][13]. Οπότε με τόσο μικρό συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ , συνεπάγεται και μεγαλύτερες επιταχύνσεις  $S_v(T)$  οπότε και μεγαλύτερες τέμνουσες βάσης. Αυτό αποδεικνύεται και από την ανάλυση που έγινε, καθώς σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μεθόδου CQC υπολογίστηκε  $F_{bx}=378.69 \text{ kN} < F_{by}=1462.00 \text{ kN}$

### **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ 5-A Υ ΔΙΕΥΘ.**

Χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μέλη και κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση και φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.14:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |                        |        |       |       |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------|-------|
|              |        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 1001         | 1      | -23,17                       | -26,17                | 24,06                 | -3,97                  | -29,25 | 49,30 | 45,19 |
| 1010         | 4      | -17,93                       | -50,06                | 42,19                 | 15,29                  | -10,51 | 78,84 | 74,04 |

**Πίνακας 4.6:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

| Υποστυλώματα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |                        |        |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 15,02                        | 221,36                | 121,85                | 0,56                   | 358,79 | 276,79 | 256,84 |
| 2002         | 1      | 100,87                       | 420,95                | -32,71                | 43,52                  | 532,63 | 515,45 | 439,28 |
| 2014         | 4      | 71,41                        | 265,68                | -10,24                | -32,66                 | 294,19 | 328,95 | 279,37 |
| 2015         | 4      | 396,75                       | -49,20                | -25,6                 | -71,77                 | 250,18 | 368,10 | 407,58 |

**Πίνακας 4.7:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα



| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις Ν <sub>Ε</sub> (kN) |                       |                       |                        |        |       |       |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------|-------|
|               |        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 3001          | 1      | 45,56                                 | -23,16                | 10,62                 | 4,11                   | 37,13  | 39,31 | 57,26 |
| 3003          | 1      | 41,96                                 | -49,85                | 20,95                 | -0,51                  | 12,55  | 35,93 | 71,20 |
| 3013          | 4      | -9,24                                 | 88,00                 | -9,22                 | 0,13                   | 69,67  | 85,53 | 91,64 |
| 3015          | 4      | -88,1                                 | 29,14                 | 40,18                 | -4,28                  | -23,06 | 78,14 | 103,6 |

**Πίνακας 4.8:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

#### 4.3.2 5-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Β

##### 1. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ-Β

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | ω (rad/s) | T (s) | X (%) | SUM X (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|-----------|-------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 1,238        | 7,775     | 0,808 | 83,45 | 83,45     | 363,78              |
| 2 <sup>η</sup>  | 1,964        | 12,334    | 0,509 | 0,05  | 83,50     | 0,33                |
| 3 <sup>η</sup>  | 2,016        | 12,660    | 0,496 | 0,00  | 83,50     | 0,00                |
| 4 <sup>η</sup>  | 2,023        | 12,704    | 0,494 | 0,00  | 83,50     | 0,00                |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,025        | 12,717    | 0,494 | 0,00  | 83,50     | 0,00                |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,026        | 12,723    | 0,494 | 0,00  | 83,50     | 0,00                |
| 7 <sup>η</sup>  | 3,707        | 23,280    | 0,270 | 12,37 | 95,87     | 108,96              |
| 8 <sup>η</sup>  | 3,934        | 24,706    | 0,254 | 0,14  | 96,01     | 1,26                |
| 9 <sup>η</sup>  | 3,970        | 24,932    | 0,252 | 0,01  | 96,02     | 0,10                |
| 10 <sup>η</sup> | 4,344        | 27,280    | 0,230 | 0,00  | 96,02     | 0,00                |
| 11 <sup>η</sup> | 4,349        | 27,312    | 0,230 | 0,08  | 96,10     | 0,74                |
| 12 <sup>η</sup> | 4,391        | 27,575    | 0,228 | 0,00  | 96,10     | 0,00                |
| SRSS            |              |           |       |       |           | 379,45              |
| CQC             |              |           |       |       |           | 380,12              |

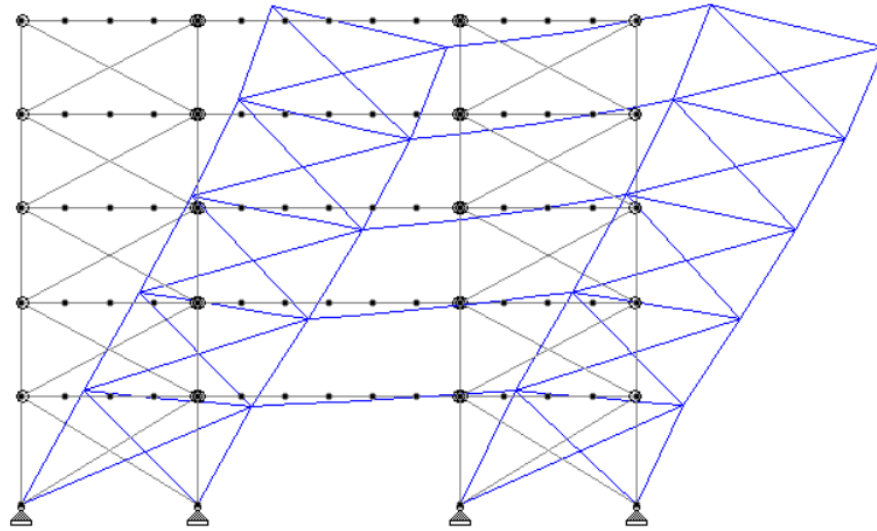
**Πίνακας 4.9:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση μοντέλου 5-Β

Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

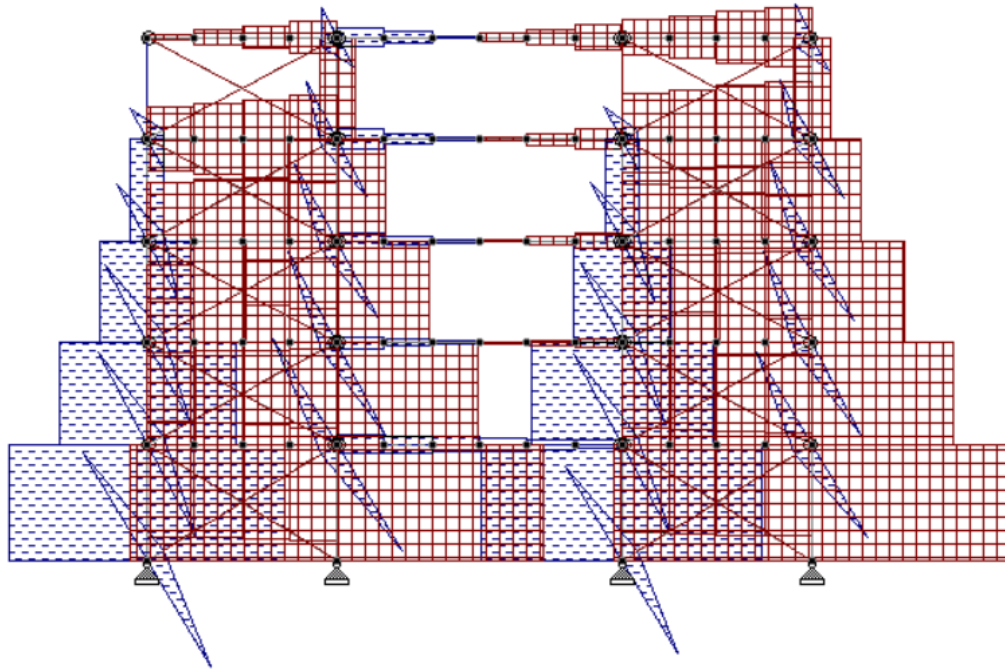
1<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_1=0.808s$   $X_{MASS}=83.45\%$   $F_{bx1}=363.78$  kN

7<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_7=0.270s$   $X_{MASS}=12.37\%$   $F_{bx2}=108.96$  kN

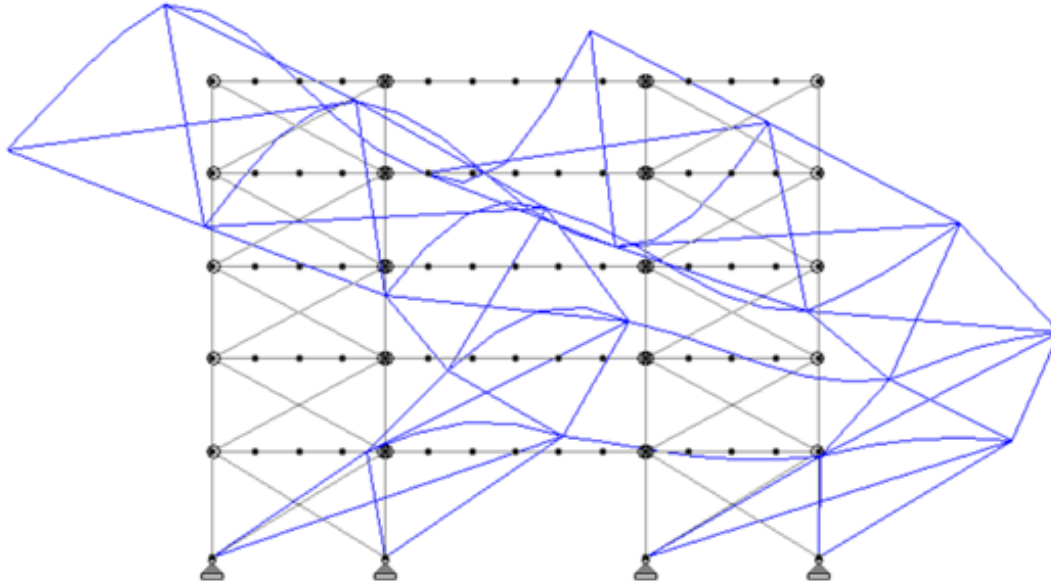
Η μορφή των ιδιομορφών 1, 7 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



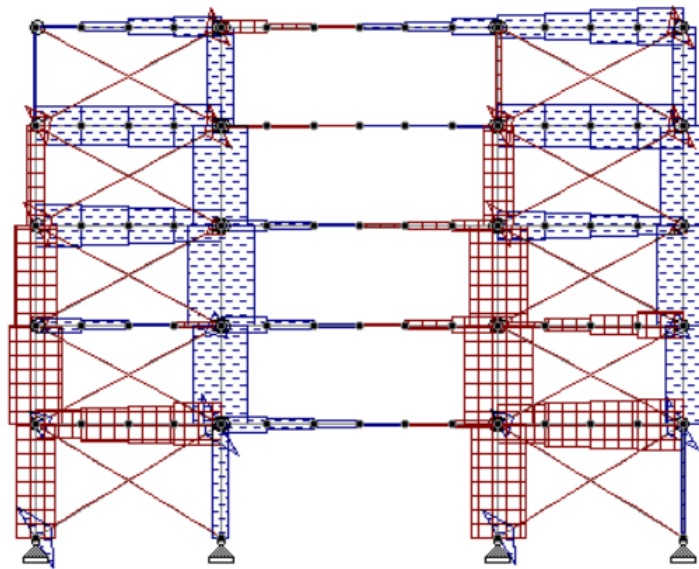
**Σχήμα 4.15:** Σχήμα 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.16:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.17:** Σχήμα 7<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.18:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 7<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

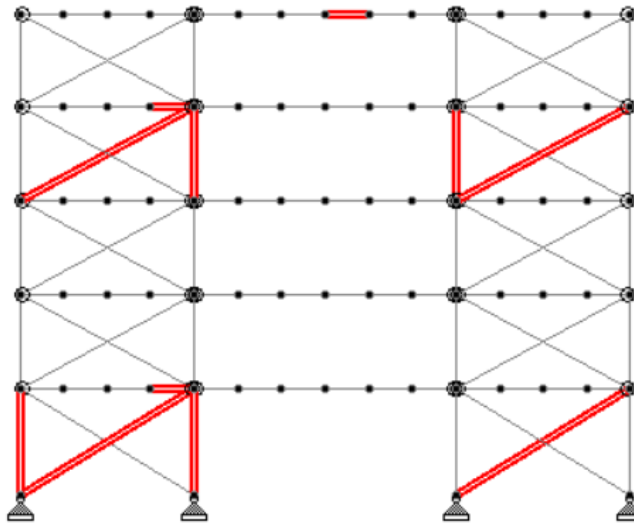
### **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Σύμφωνα με τα σχήματα των ιδιομορφών και τα αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυσης, το μοντέλο 5-B έχει ίδια συμπεριφορά με το μοντέλο 5-A. Αυτό αποδεικνύεται αφού και στα δύο μοντέλα οι σημαντικές ιδιομορφές ενεργοποιούνται στην ίδια ιδιοπερίοδο και επίσης υπολογίζεται και η ίδια τέμνουσα βάσης, αφού σύμφωνα με τους πίνακες των αποτελεσμάτων, η μέθοδος CQC υπολογίζει:

**$F_{bx,B}=380.12 \text{ kN} \geq F_{bx,A}= 378.69 \text{ kN}$**  όπου η μικρή διαφορά προκύπτει λόγω της μικρής διαφοράς στις σημαντικές ιδιοπεριόδους των σημαντικών ιδιομορφών.

### **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ-5Β Χ ΔΙΕΥΘ.**

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.19:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |         |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 1004         | 1      | -175,75                      | -39,3                 | -215,05 | 179,93 | 179,86 |
| 1046         | 4      | -79,96                       | 39,07                 | -40,89  | 89,14  | 88,90  |
| 1064         | 5      | -6,27                        | 4,24                  | -2,03   | 7,55   | 7,58   |

**Πίνακας 4.10:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

| Υποστυλώματα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |         |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 252,64                       | -36,47                | 216,17  | 255,42 | 255,01 |
| 2002         | 1      | -379,71                      | 15,97                 | -363,74 | 379,35 | 379,60 |
| 2014         | 4      | -90,17                       | 52,18                 | -37,99  | 103,26 | 104,14 |
| 2015         | 4      | 31,78                        | -28,53                | 3,25    | 57,84  | 57,92  |

**Πίνακας 4.11:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένες υποστυλώματα

|               |        | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |        |        |        |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 3001          | 1      | 229,03                                | -67,52                | 161,51 | 238,64 | 238,48 |
| 3003          | 1      | 199,19                                | 58,85                 | 258,04 | 207,71 | 207,45 |
| 3013          | 4      | 118,10                                | -47,10                | 71,00  | 127,27 | 127,00 |
| 3015          | 4      | 122,51                                | -46,69                | 75,82  | 131,08 | 130,96 |

**Πίνακας 4.12:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά X διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

## 2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y-B

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s) | Y (%) | SUM Y (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |        |
|-----------------|--------------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|--------|
| 1 <sup>η</sup>  | 1,238        | 7,775            | 0,808 | 0,08  | 0,08      | 0,36                |        |
| 2 <sup>η</sup>  | 1,964        | 12,334           | 0,509 | 33,14 | 33,22     | 247,45              |        |
| 3 <sup>η</sup>  | 2,016        | 12,660           | 0,496 | 4,45  | 37,67     | 34,14               |        |
| 4 <sup>η</sup>  | 2,023        | 12,704           | 0,494 | 1,20  | 38,87     | 9,27                |        |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,025        | 12,717           | 0,494 | 0,67  | 39,54     | 5,13                |        |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,026        | 12,723           | 0,494 | 0,30  | 39,84     | 2,32                |        |
| 7 <sup>η</sup>  | 3,707        | 23,280           | 0,270 | 0,02  | 39,86     | 0,30                |        |
| 8 <sup>η</sup>  | 3,934        | 24,706           | 0,254 | 0,08  | 39,94     | 1,16                |        |
| 9 <sup>η</sup>  | 3,970        | 24,932           | 0,252 | 38,56 | 78,50     | 582,38              |        |
| 10 <sup>η</sup> | 4,344        | 27,280           | 0,230 | 0,00  | 78,50     | 0,02                |        |
| 11 <sup>η</sup> | 4,349        | 27,312           | 0,230 | 5,17  | 83,67     | 85,55               |        |
| 12 <sup>η</sup> | 4,391        | 27,575           | 0,228 | 1,67  | 85,34     | 27,54               |        |
|                 |              |                  |       |       |           | SRSS                | 640,12 |
|                 |              |                  |       |       |           | CQC                 | 719,91 |

**Πίνακας 4.13:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Y διεύθυνση μοντέλου 5-B

Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

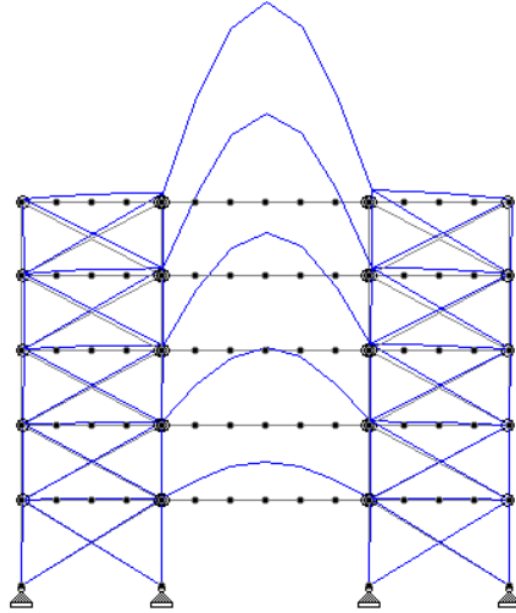
2<sup>η</sup> Ιδιομορφή -> T<sub>2</sub>=0.509s YMASS=33.14% F<sub>by</sub>=247.45 kN

3<sup>η</sup> Ιδιομορφή -> T<sub>3</sub>=0.496s YMASS=4.45% F<sub>by</sub>=34.14 kN

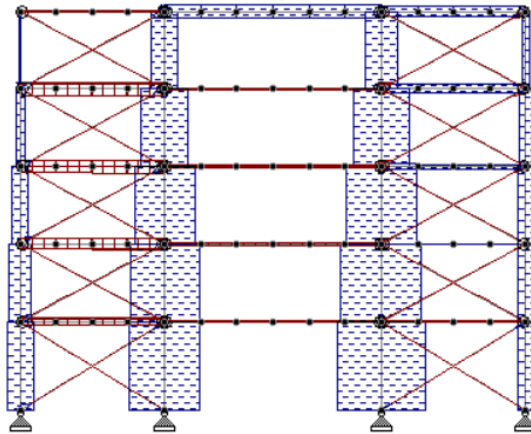
9<sup>η</sup> Ιδιομορφή -> T<sub>9</sub>=0.252s YMASS=38.56% F<sub>by</sub>=582.38 kN

11<sup>η</sup> Ιδιομορφή -> T<sub>11</sub>=0.230s YMASS=5.17% F<sub>by</sub>=85.55 kN

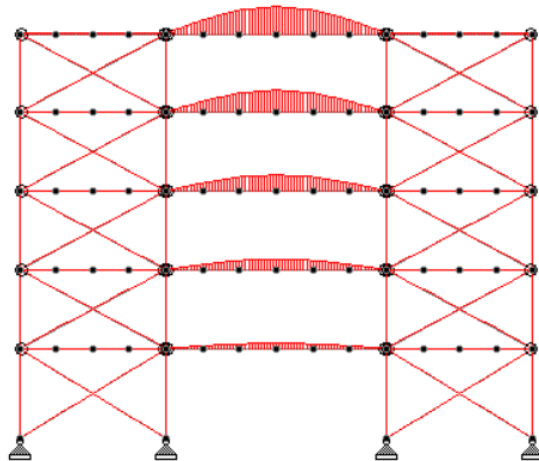
Η μορφή των ιδιομορφών 2, 3, 9, 11 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών και των καμπτικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



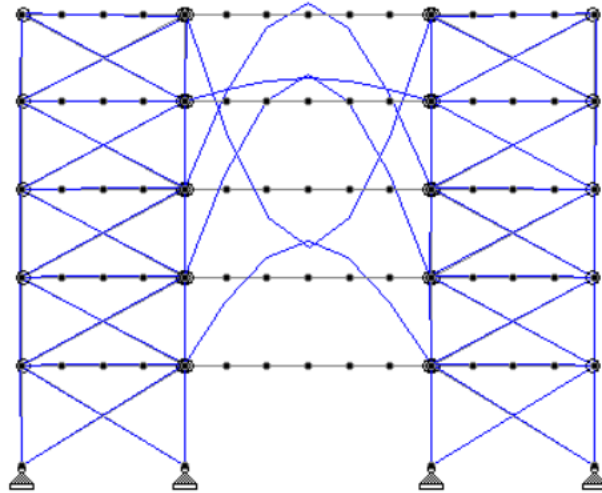
**Σχήμα 4.20:** Σχήμα 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



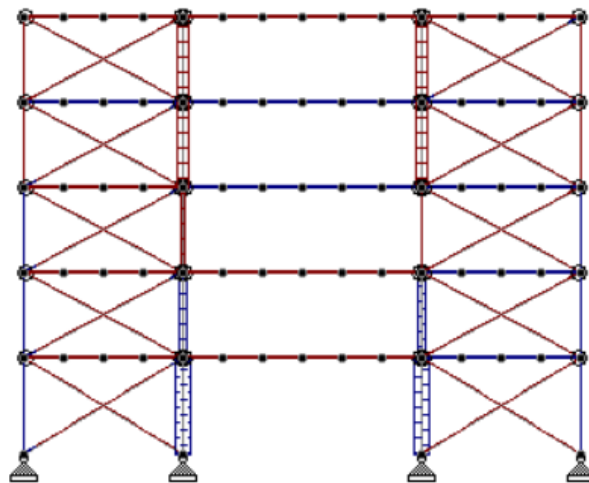
**Σχήμα 4.21:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



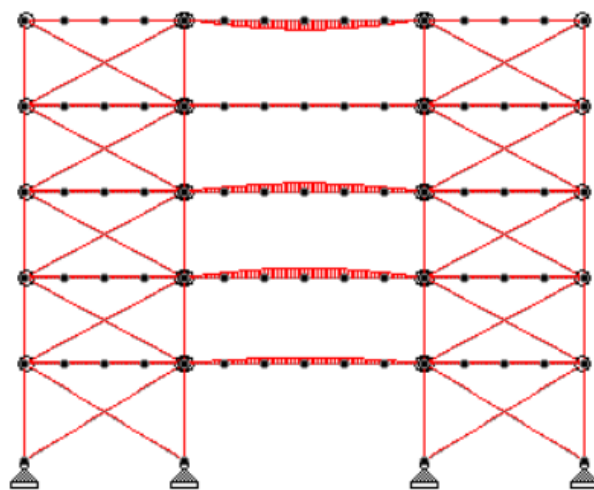
**Σχήμα 4.22:** Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



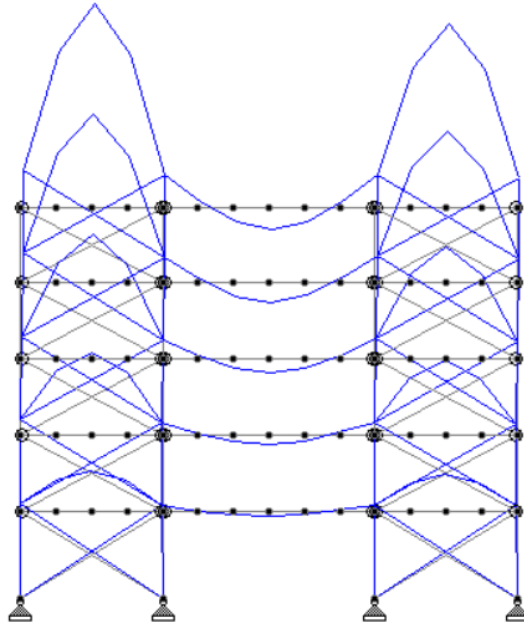
**Σχήμα 4.23:** Σχήμα 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



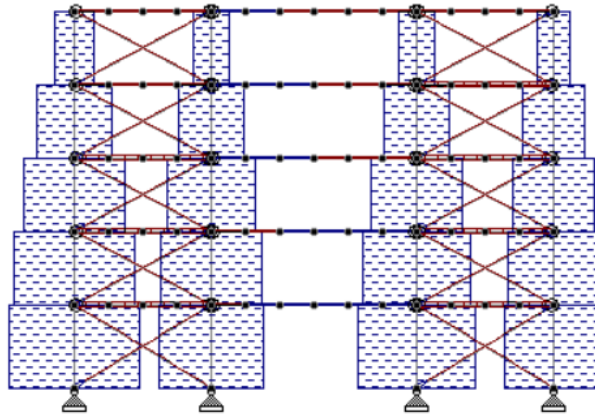
**Σχήμα 4.24:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



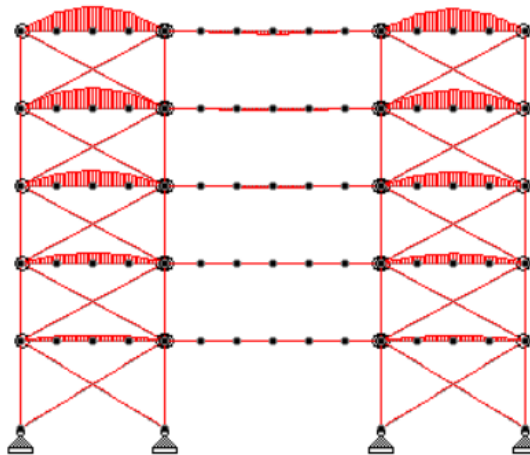
**Σχήμα 4.25:** Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.26:** Σχήμα 9<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

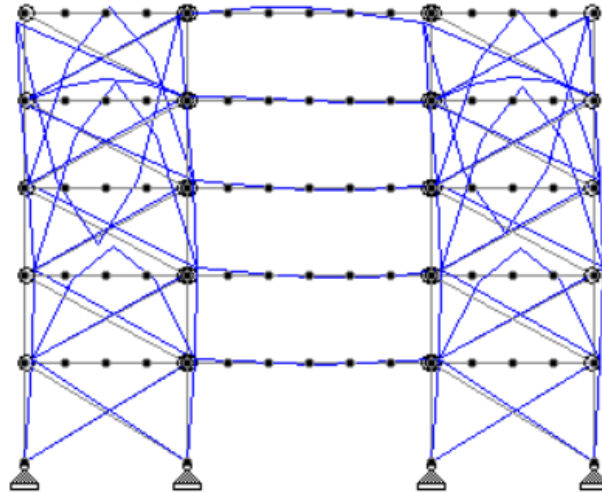


**Σχήμα 4.27:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 9<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

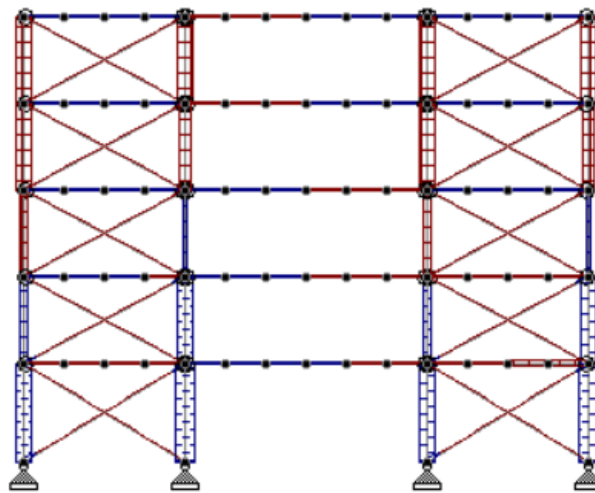


**Σχήμα 4.28:** Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 9<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

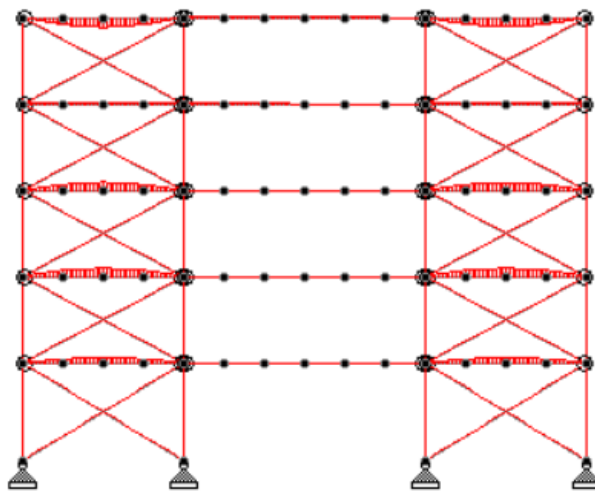




**Σχήμα 4.29:** Σχήμα 11<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.30:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 11<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



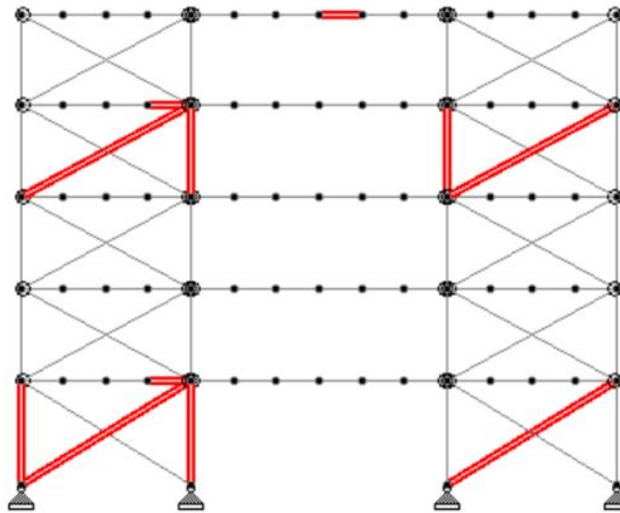
**Σχήμα 4.31:** Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 11<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Είναι ξεκάθαρο ότι το μοντέλο 5-B έχει διαφορετική συμπεριφορά στον κάθετο σεισμό σε σχέση με το μοντέλο 5-A. Δημιουργούνται πολύ περισσότερες σημαντικές ιδιομορφές λόγω των επιπλέον κόμβων στα ανοίγματα των κύριων δοκών αφού οι κόμβοι αυτοί έχουν δυνατότητα μετακίνησης σε κάθετες διεγέρσεις και επιπλέον, εφόσον επηρεάζεται και το μητρώο δυσκαμψίας της κατασκευής [K], έχουμε και διαφορετικές ιδιοπεριόδους T. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα σχήματα των σημαντικών ιδιομορφών, αφού ταλαντώνονται κυρίως τα ανοίγματα των δοκών. Επίσης το μοντέλο έχει διαφορετική στατική συμπεριφορά στο κάθετο σεισμό αφού δημιουργούνται δυνάμεις ροπών στα ανοίγματα των δοκών και μικρές αξονικές δυνάμεις, αφού πλέον οι ισορροπίες δυνάμεων πραγματοποιούνται στους ενδιάμεσους κόμβους και όχι μόνο στους κόμβους των υποστυλωμάτων όπως στο μοντέλο 5-A. Τέλος, η συμμετοχή των διαγώνιων μελών είναι αμελητέα.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ 5-B Υ ΔΙΕΥΘ.

Χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μέλη και κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Y διεύθυνση και φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.32: Μέλη που επιλέχθηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Y διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)**

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |                        |        |       |       |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------|-------|
|              |        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 11 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 1004         | 1      | -23,17                       | -26,17                | 24,06                 | -3,97                  | -29,25 | 49,3  | 45,19 |
| 1010         | 4      | -17,93                       | -50,06                | 42,19                 | 15,29                  | -10,51 | 78,84 | 74,04 |
| 1064         | 5      | 14,72                        | -0,56                 | -0,88                 | 0,34                   | 13,62  | 14,19 | 14,77 |

|              |        | Καμπτικές δυνάμεις $M_E$ (kNm) |                       |                       |                        |        |        |        |
|--------------|--------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|--------|
| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup>          | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 11 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 1004         | 1      | 0,00                           | 0,00                  | -17,11                | -15,53                 | -32,64 | 27,91  | 23,12  |
| 1010         | 4      | 0,00                           | 0,00                  | -70,29                | 0,00                   | -70,29 | 69,03  | 70,43  |
| 1064         | 5      | -130,33                        | 44,82                 | 18,24                 | 0,00                   | -67,27 | 139,90 | 101,18 |

**Πίνακας 4.14:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά  $Y$  διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

|              |        | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |                        |        |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|--------|
| Υποστυλώματα | Όροφος | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 11 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 31,99                        | 1,32                  | 167,89                | 17,32                  | 218,52 | 175,90 | 172,17 |
| 2002         | 1      | 86,61                        | 15,53                 | 134,76                | 22,36                  | 259,26 | 180,70 | 163,17 |
| 2014         | 4      | 55,71                        | -11,97                | 85,41                 | -11,98                 | 117,17 | 86,80  | 103,60 |
| 2015         | 4      | 66,12                        | -11,35                | 83,92                 | -17,80                 | 120,89 | 98,86  | 109,09 |

**Πίνακας 4.15:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά  $Y$  διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

|               |        | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |                        |       |       |       |
|---------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------|-------|-------|
| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 11 <sup>η</sup> | IMRC  | CQC   | SRSS  |
| 3001          | 1      | 8,50                         | 0,35                  | 6,77                  | 6,72                   | 22,34 | 15,63 | 15,47 |
| 3003          | 1      | 2,50                         | -0,67                 | 5,17                  | 5,92                   | 12,92 | 11,36 | 11,29 |
| 3013          | 4      | 17,26                        | 0,78                  | 6,04                  | -4,41                  | 19,67 | 19,31 | 19,49 |
| 3015          | 4      | -11,26                       | -0,33                 | 6,77                  | -4,31                  | -9,13 | 14,20 | 14,73 |

**Πίνακας 4.16:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά  $Y$  διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

### 4.3.3 18-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α

#### 1. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ-Α

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s) | X (%) | SUM X (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |        |
|-----------------|--------------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|--------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,298        | 1,871            | 3,356 | 64,83 | 64,83     | 145,66              |        |
| 2 <sup>η</sup>  | 1,115        | 7,002            | 0,897 | 21,65 | 86,48     | 306,09              |        |
| 3 <sup>η</sup>  | 2,281        | 14,325           | 0,438 | 6,16  | 92,64     | 180,17              |        |
| 4 <sup>η</sup>  | 2,675        | 16,799           | 0,374 | 0,06  | 92,70     | 1,81                |        |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,760        | 17,333           | 0,362 | 0,11  | 92,81     | 3,33                |        |
| 6 <sup>η</sup>  | 3,476        | 21,829           | 0,288 | 2,68  | 95,49     | 85,09               |        |
| 7 <sup>η</sup>  | 4,739        | 29,761           | 0,211 | 1,28  | 96,77     | 40,69               |        |
| 8 <sup>η</sup>  | 5,887        | 36,970           | 0,170 | 0,90  | 97,67     | 28,53               |        |
| 9 <sup>η</sup>  | 6,577        | 41,304           | 0,152 | 0,05  | 97,72     | 1,58                |        |
| 10 <sup>η</sup> | 6,845        | 42,987           | 0,146 | 0,07  | 97,79     | 2,29                |        |
| 11 <sup>η</sup> | 7,029        | 44,142           | 0,142 | 0,38  | 98,17     | 11,70               |        |
| 12 <sup>η</sup> | 7,552        | 47,427           | 0,132 | 0,15  | 98,32     | 4,55                |        |
|                 |              |                  |       |       |           | SRSS                | 396,56 |
|                 |              |                  |       |       |           | CQC                 | 404,24 |

**Πίνακας 4.17:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση μοντέλου 18-A

Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

1<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_1=3.356s$   $X_{MASS}=64.83\%$   $F_{bx1}=145.66$  kN

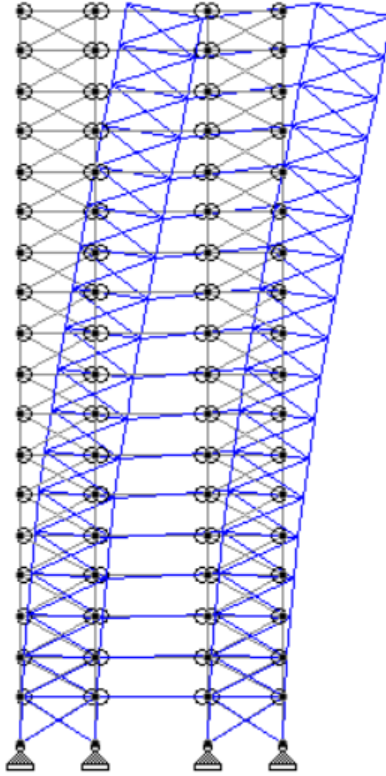
2<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_2=0.897s$   $X_{MASS}=21.65\%$   $F_{bx2}=306.09$  kN

3<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_3=0.438s$   $X_{MASS}=6.16\%$   $F_{bx2}=180.17$  kN

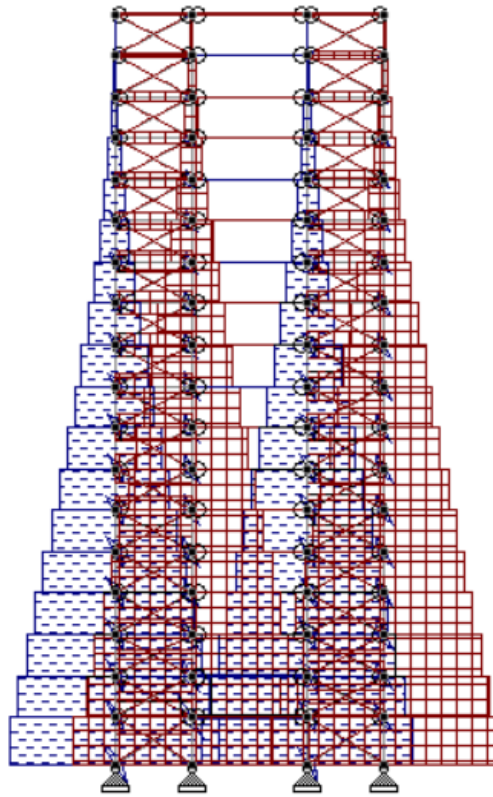
Η μορφή των ιδιομορφών 1, 2, 3 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:

#### **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

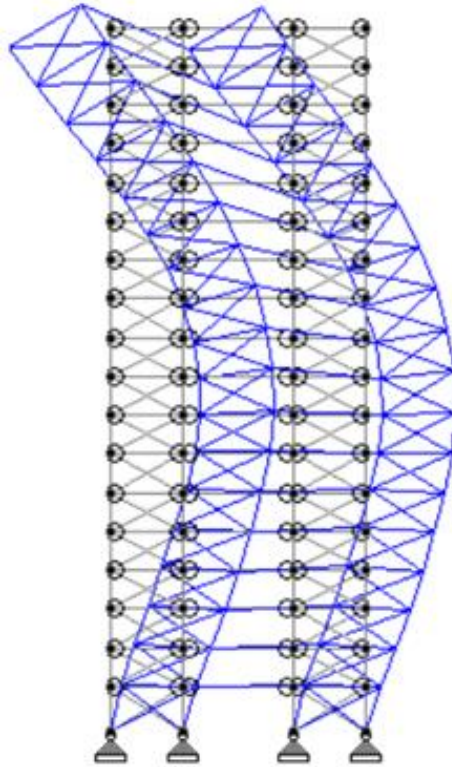
Αναλυτική και συγκριτική συμπεριφορά των μοντέλων 18-A και 18-B καταγράφεται στο Κεφ.5 της παρούσας εργασίας.



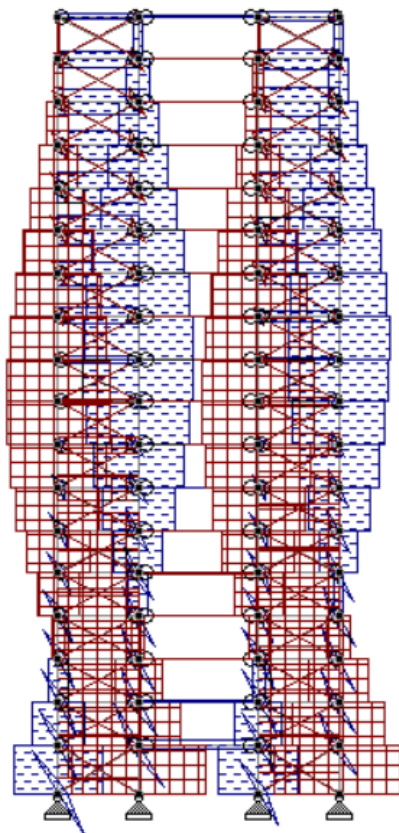
**Σχήμα 4.33:** Σχήμα 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



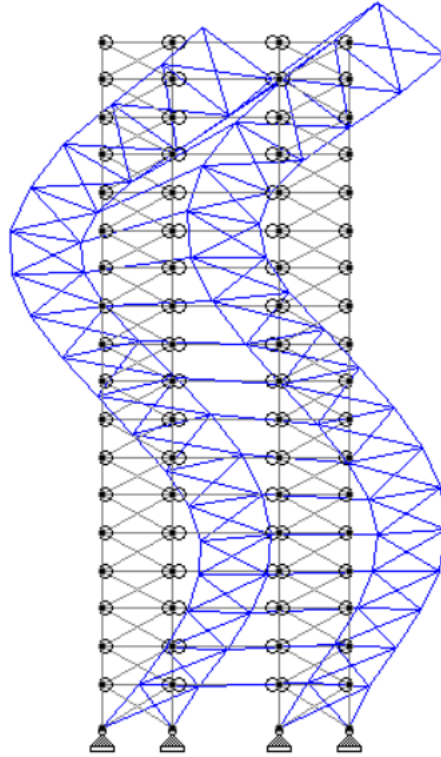
**Σχήμα 4.34:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



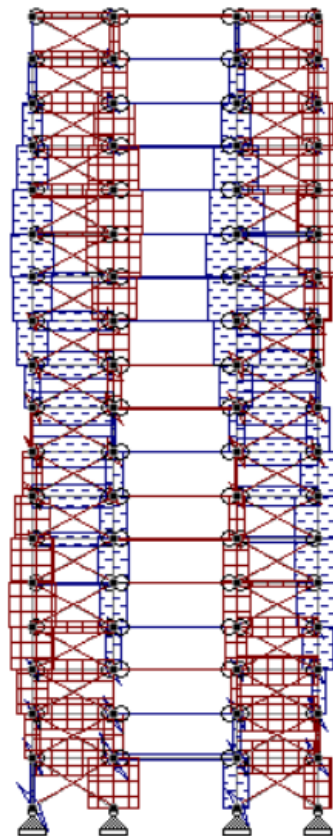
**Σχήμα 4.35:** Σχήμα 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.36:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.37:** Σχήμα 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

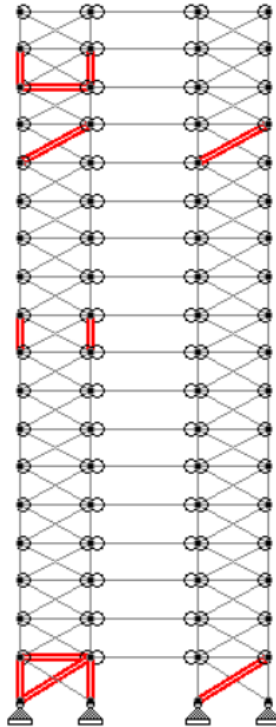


**Σχήμα 4.38:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ-18Α Χ ΔΙΕΥΘ.**

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.39:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |         |       |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|-------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC   | SRSS   |
| 1001         | 1      | -73,41                       | -147,05               | -79,79                | -300,25 | 189,1 | 186,36 |
| 1046         | 16     | -20,09                       | 53,00                 | -44,48                | -11,57  | 74,77 | 76,16  |

**Πίνακας 4.18:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

| Υποστυλώματα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |         |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 473,64                       | 194,62                | 6,34                  | 674,6   | 513,35 | 513,47 |
| 2002         | 1      | -534,26                      | -292,49               | -107,05               | -933,80 | 619,55 | 619,90 |
| 2037         | 10     | 149,89                       | -222,15               | 33,37                 | -38,89  | 272,26 | 272,16 |
| 2038         | 10     | -184,48                      | 238,83                | -28,76                | 25,59   | 305,53 | 306,62 |
| 2065         | 17     | 5,35                         | -18,35                | 17,44                 | 4,44    | 31,02  | 33,11  |
| 2066         | 17     | -15,55                       | 50,29                 | -53,67                | -18,93  | 80,08  | 82,98  |

**Πίνακας 4.19:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα



| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |                       |        |        |        |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|               |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 3001          | 1      | 109,76                                | 215,60                | 122,22                | 447,58 | 283,68 | 278,65 |
| 3003          | 1      | 83,90                                 | 161,76                | 94,32                 | 339,98 | 214,89 | 211,31 |
| 3057          | 15     | 37,79                                 | -77,72                | 39,19                 | -0,74  | 96,79  | 97,86  |
| 3059          | 15     | 38,59                                 | -78,07                | 37,12                 | -2,36  | 131,08 | 130,96 |

**Πίνακας 4.20:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά X διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

## 2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y-A

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s) | Y (%) | SUM Y (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,298        | 1,871            | 3,356 | 0,00  | 0,00      | 0,00                |
| 2 <sup>η</sup>  | 1,115        | 7,002            | 0,897 | 0,03  | 0,03      | 0,53                |
| 3 <sup>η</sup>  | 2,281        | 14,325           | 0,438 | 0,01  | 0,04      | 0,26                |
| 4 <sup>η</sup>  | 2,675        | 16,799           | 0,374 | 44,66 | 44,70     | 1636,42             |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,760        | 17,333           | 0,362 | 29,33 | 74,03     | 1108,83             |
| 6 <sup>η</sup>  | 3,476        | 21,829           | 0,288 | 0,07  | 74,10     | 3,30                |
| 7 <sup>η</sup>  | 4,739        | 29,761           | 0,211 | 0,02  | 74,12     | 1,57                |
| 8 <sup>η</sup>  | 5,887        | 36,970           | 0,170 | 0,06  | 74,18     | 4,53                |
| 9 <sup>η</sup>  | 6,577        | 41,304           | 0,152 | 6,60  | 80,78     | 594,35              |
| 10 <sup>η</sup> | 6,845        | 42,987           | 0,146 | 5,73  | 86,51     | 523,57              |
| 11 <sup>η</sup> | 7,029        | 44,142           | 0,142 | 0,00  | 86,51     | 0,12                |
| 12 <sup>η</sup> | 7,552        | 47,427           | 0,132 | 0,00  | 86,51     | 0,14                |
| SRSS            |              |                  |       |       |           | 2129,51             |
| CQC             |              |                  |       |       |           | 2904,38             |

**Πίνακας 4.21:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Y διεύθυνση μοντέλου 18-A

Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

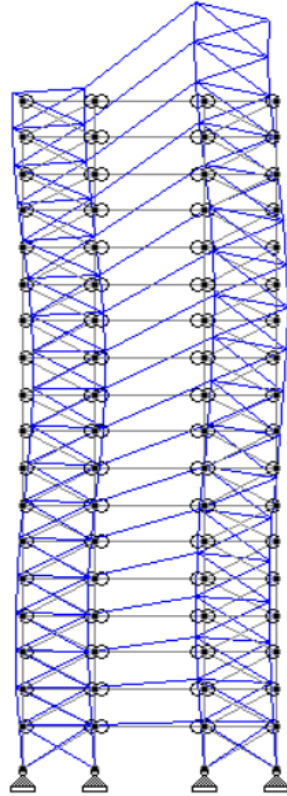
4<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_4=0.374s$   $Y_{MASS}=44.66\%$   $F_{by}=1636.42$  kN

5<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_5=0.362s$   $Y_{MASS}=29.33\%$   $F_{by}=1108.84$  kN

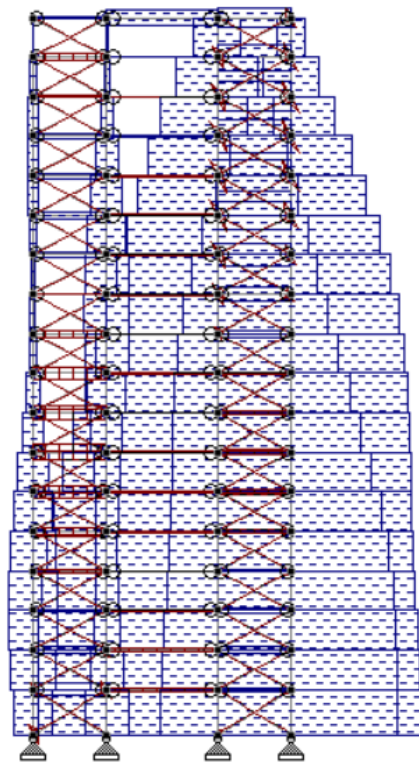
9<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_9=0.152s$   $Y_{MASS}=6.66\%$   $F_{by}=594.35$  kN

10<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_{10}=0.146s$   $Y_{MASS}=5.73\%$   $F_{by}=523.57$  kN

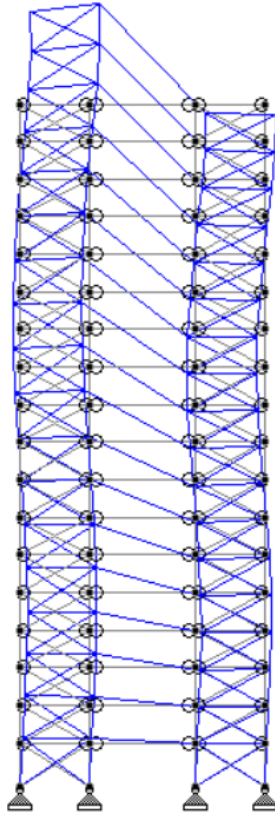
Η μορφή των ιδιομορφών 4, 5, 9, 10 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



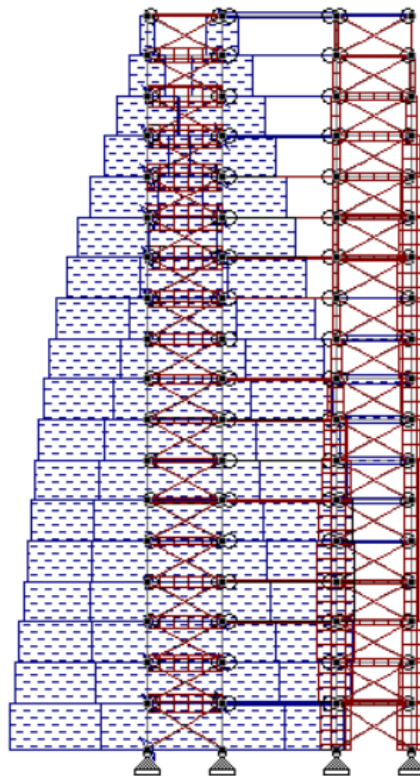
**Σχήμα 4.40:** Σχήμα 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



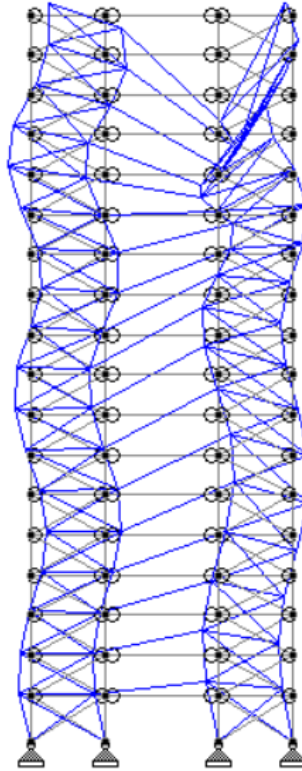
**Σχήμα 4.41:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



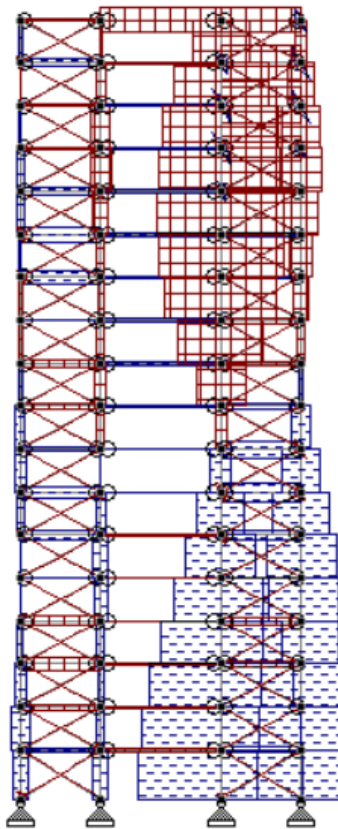
**Σχήμα 4.42:** Σχήμα 5<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



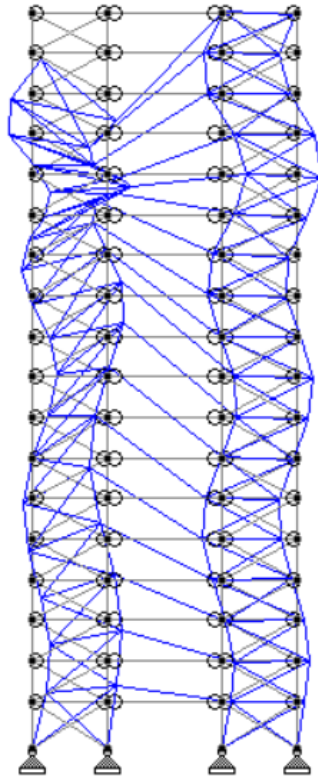
**Σχήμα 4.43:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 5<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



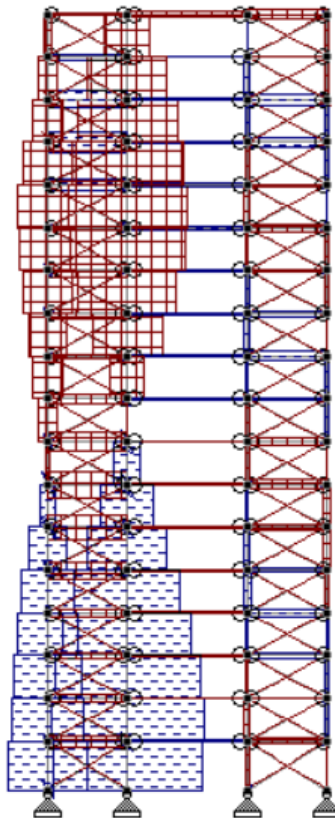
**Σχήμα 4.44:** Σχήμα 9<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.45:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 9<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



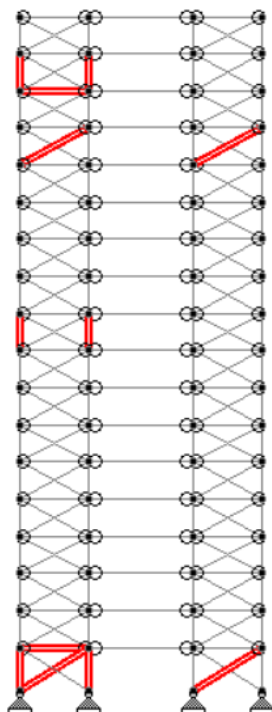
**Σχήμα 4.46:** Σχήμα 10<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.47:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 10<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ 18-A Υ ΔΙΕΥΘ.**

Χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μέλη και κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση και φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.48:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις Ν <sub>ε</sub> (kN) |                       |                       |                        |        |       |       |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------|-------|
|              |        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 1001         | 1      | 28,27                                 | -40,83                | 7,68                  | -27,76                 | -32,64 | 32,59 | 58,48 |
| 1046         | 16     | -4,84                                 | -47,33                | -5,29                 | 37,21                  | -20,25 | 62,18 | 61,01 |

**Πίνακας 4.22:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

| Υποστυλώματα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις Ν <sub>ε</sub> (kN) |                       |                       |                        |         |        |        |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 92,43                                 | 637,58                | 35,81                 | 176,05                 | 941,87  | 753,13 | 668,91 |
| 2002         | 1      | 105,03                                | 562,57                | 33,74                 | 325,59                 | 1026,93 | 749,44 | 659,48 |
| 2037         | 10     | 20,23                                 | 453,45                | 5,97                  | -65,09                 | 414,56  | 476,45 | 458,75 |
| 2038         | 10     | 101,47                                | 471,01                | -24,13                | -74,25                 | 474,1   | 488,73 | 570,53 |
| 2065         | 17     | 18,65                                 | 81,76                 | -2,52                 | -38,12                 | 59,77   | 106,37 | 92,40  |
| 2066         | 17     | 13,29                                 | 142,00                | -19,68                | -174,08                | -38,47  | 243,37 | 226,18 |

**Πίνακας 4.23:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |                       |                        |        |       |        |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------|--------|
|               |        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS   |
| 3001          | 1      | -51,38                                | 64,02                 | -32,68                | 47,29                  | 27,25  | 44,49 | 102,56 |
| 3003          | 1      | -14,17                                | 16,44                 | -20,17                | 18,13                  | 0,23   | 19,59 | 38,59  |
| 3057          | 15     | -15,24                                | 69,37                 | -8,64                 | -33,56                 | 11,93  | 69,23 | 79,89  |
| 3059          | 15     | -90,95                                | 21,06                 | 44,24                 | -13,23                 | -38,88 | 81,24 | 104,47 |

**Πίνακας 4.24:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Y διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

#### 4.3.4 18-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Β

##### 1. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ-Β

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | ω (rad/s) | T (s)   | X (%) | SUM X (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|-----------|---------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,2984       | 1,874     | 3,35099 | 65,22 | 65,22     | 147,61              |
| 2 <sup>η</sup>  | 1,1276       | 7,081     | 0,88684 | 21,48 | 86,70     | 307,55              |
| 3 <sup>η</sup>  | 1,7759       | 11,153    | 0,56310 | 0,01  | 86,71     | 0,29                |
| 4 <sup>η</sup>  | 1,9855       | 12,469    | 0,50366 | 0,00  | 86,71     | 0,04                |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,0101       | 12,623    | 0,49749 | 0,01  | 86,72     | 0,17                |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,0183       | 12,675    | 0,49547 | 0,00  | 86,72     | 0,00                |
| 7 <sup>η</sup>  | 2,0216       | 12,696    | 0,49465 | 0,00  | 86,72     | 0,00                |
| 8 <sup>η</sup>  | 2,0236       | 12,708    | 0,49417 | 0,00  | 86,72     | 0,00                |
| 9 <sup>η</sup>  | 2,0247       | 12,715    | 0,49390 | 0,00  | 86,72     | 0,00                |
| 10 <sup>η</sup> | 2,0254       | 12,720    | 0,49372 | 0,00  | 86,72     | 0,00                |
| 11 <sup>η</sup> | 2,0258       | 12,722    | 0,49363 | 0,00  | 86,72     | 0,00                |
| 12 <sup>η</sup> | 2,0262       | 12,724    | 0,49354 | 0,00  | 86,72     | 0,00                |
| SRSS            |              |           |         |       |           | 341,14              |
| CQC             |              |           |         |       |           | 341,16              |

**Πίνακας 4.25:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση μοντέλου 18-Β

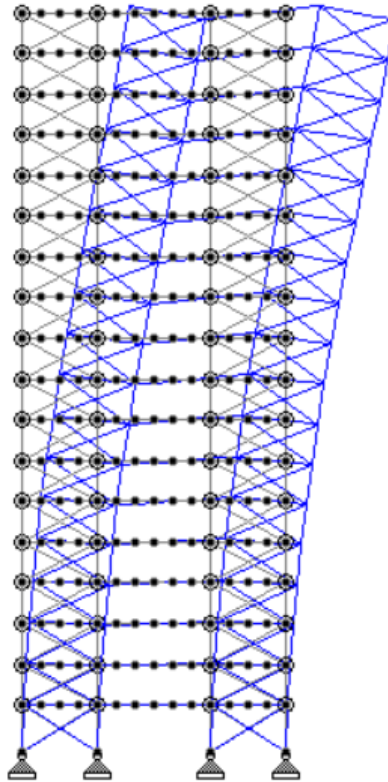
Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

1<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_1=3.351s$   $X_{MASS}=65.22\%$   $F_{bx1}=145.61$  kN

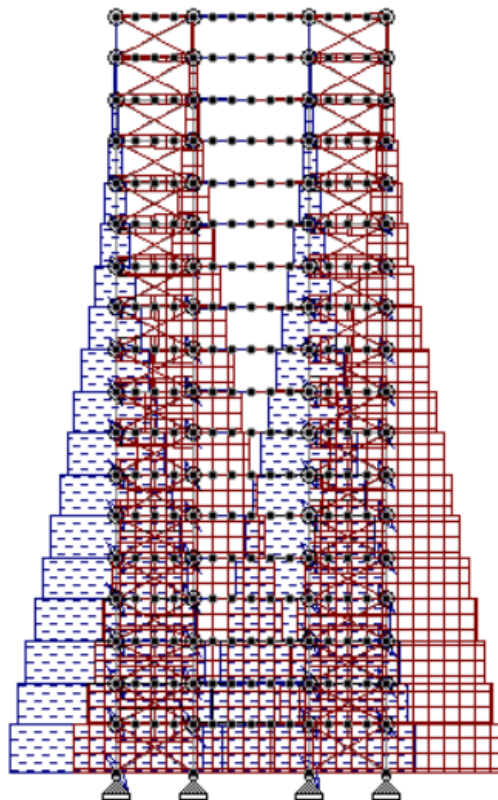
2<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_2=0.887s$   $X_{MASS}=21.48\%$   $F_{bx2}=307.55$  kN

Η μορφή των ιδιομορφών 1, 2 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



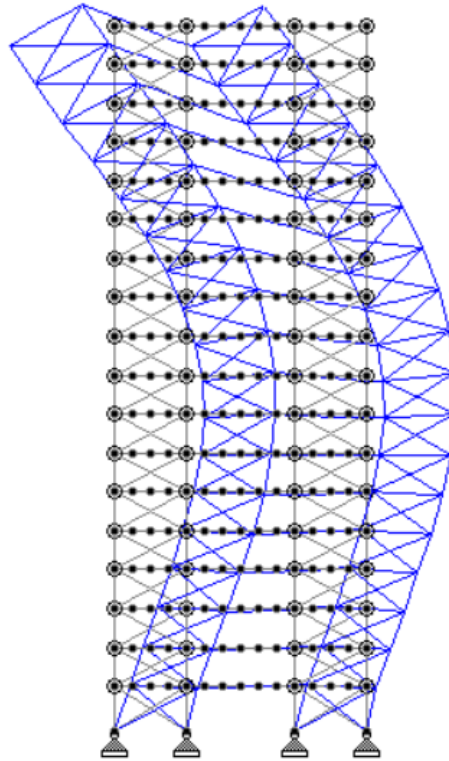


**Σχήμα 4.49:** Σχήμα 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

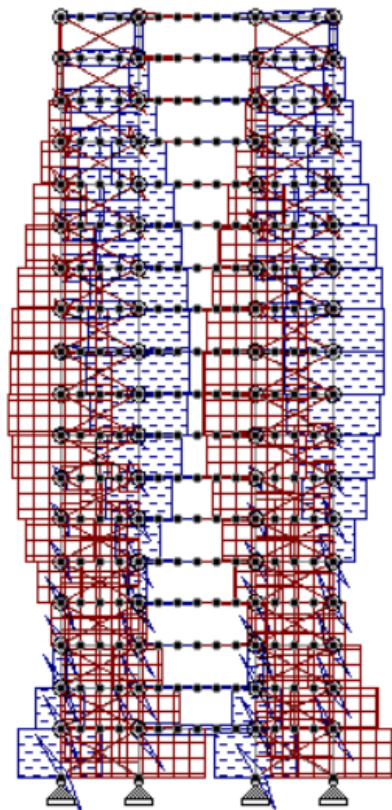


**Σχήμα 4.50:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)





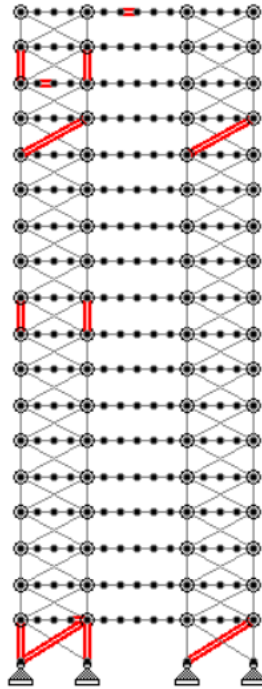
**Σχήμα 4.51:** Σχήμα 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.52:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ 18-B X ΔΙΕΥΘ.**

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.53:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |         |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 1004         | 1      | -74,43                       | -148,21               | -222,64 | 165,86 | 165,85 |
| 1212         | 14     | -19,75                       | 53,55                 | 33,80   | 57,06  | 57,08  |
| 1245         | 16     | 0,52                         | -1,12                 | -0,60   | 1,30   | 1,34   |

**Πίνακας 4.26:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

| Υποστυλώματα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |         |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 478,54                       | 185,80                | 664,34  | 513,43 | 513,36 |
| 2002         | 1      | -537,84                      | -298,95               | -836,79 | 615,27 | 615,36 |
| 2037         | 10     | 150,84                       | -225,65               | -74,81  | 271,44 | 271,34 |
| 2038         | 10     | -184,42                      | 229,66                | 45,24   | 294,72 | 294,57 |
| 2065         | 17     | 5,18                         | -16,66                | -11,48  | 17,44  | 17,46  |
| 2066         | 17     | -15,15                       | 45,40                 | 30,25   | 47,89  | 47,88  |

**Πίνακας 4.27:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |        |        |        |
|---------------|--------|------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|               |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 3001          | 1      | 111,24                       | 216,22                | 327,46 | 243,17 | 243,15 |
| 3003          | 1      | 84,93                        | 162,85                | 247,78 | 183,67 | 183,66 |
| 3057          | 15     | 38,26                        | -80,75                | -42,49 | 89,34  | 89,36  |
| 3059          | 15     | 38,56                        | -80,97                | -42,41 | 89,71  | 89,69  |

**Πίνακας 4.28:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά  $X$  διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

## 2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ $Y-B$

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s)  | Y (%) | SUM Y (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|------------------|--------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,2984       | 1,8741           | 3,3510 | 0,00  | 0,00      | 0,00                |
| 2 <sup>η</sup>  | 1,1276       | 7,0813           | 0,8868 | 0,05  | 0,05      | 0,76                |
| 3 <sup>η</sup>  | 1,7759       | 11,1525          | 0,5631 | 48,66 | 48,71     | 1185,29             |
| 4 <sup>η</sup>  | 1,9855       | 12,4687          | 0,5037 | 5,40  | 54,11     | 147,03              |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,0101       | 12,6234          | 0,4975 | 1,89  | 56,00     | 52,14               |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,0183       | 12,6748          | 0,4955 | 0,84  | 56,84     | 23,21               |
| 7 <sup>η</sup>  | 2,0216       | 12,6958          | 0,4947 | 0,61  | 57,45     | 16,92               |
| 8 <sup>η</sup>  | 2,0236       | 12,7082          | 0,4942 | 0,21  | 57,66     | 5,96                |
| 9 <sup>η</sup>  | 2,0247       | 12,7151          | 0,4939 | 0,16  | 57,82     | 4,45                |
| 10 <sup>η</sup> | 2,0254       | 12,7198          | 0,4937 | 0,12  | 57,94     | 3,43                |
| 11 <sup>η</sup> | 2,0258       | 12,7221          | 0,4936 | 0,10  | 58,04     | 2,85                |
| 12 <sup>η</sup> | 2,0262       | 12,7244          | 0,4935 | 0,05  | 58,09     | 1,39                |
|                 |              |                  |        |       | SRSS      | 1195,88             |
|                 |              |                  |        |       | CQC       | 1313,57             |

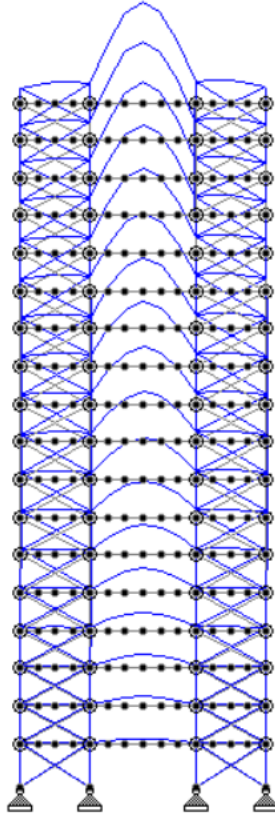
**Πίνακας 4.29:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά  $X$  διεύθυνση μοντέλου 18-B

Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

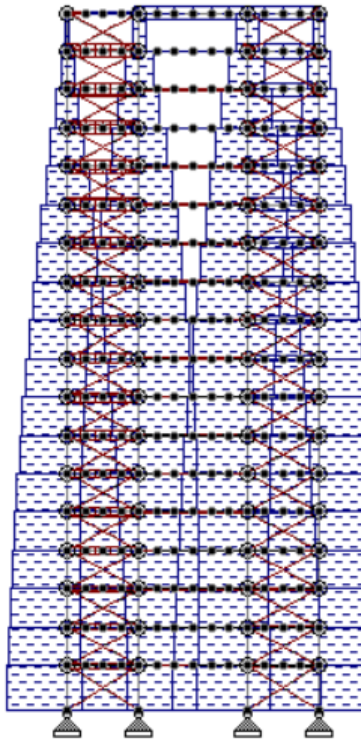
3<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_3=0.5631s$   $Y_{MASS}=48.66\%$   $F_{bx3}=1185.29$  kN

4<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_4=0.5037s$   $Y_{MASS}=5.4\%$   $F_{bx4}=147.03$  kN

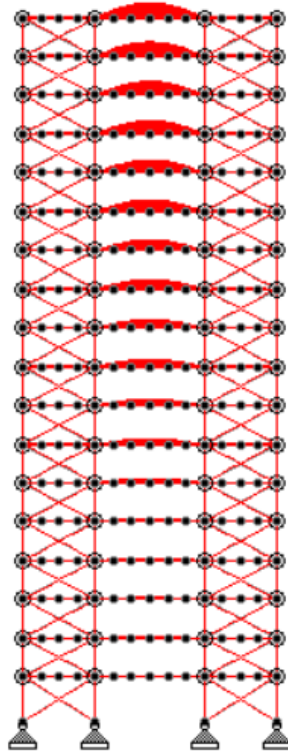
Η μορφή των ιδιομορφών 3, 4 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών και των καμπτικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



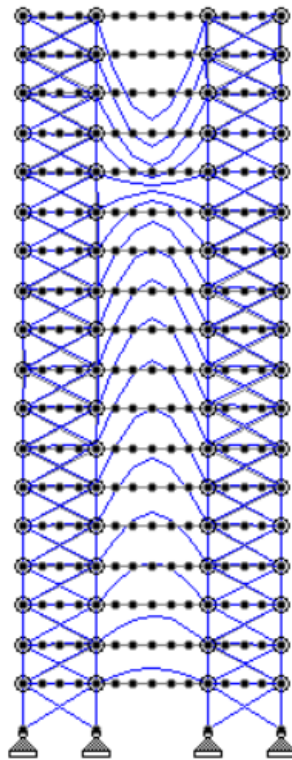
**Σχήμα 4.54:** Σχήμα 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



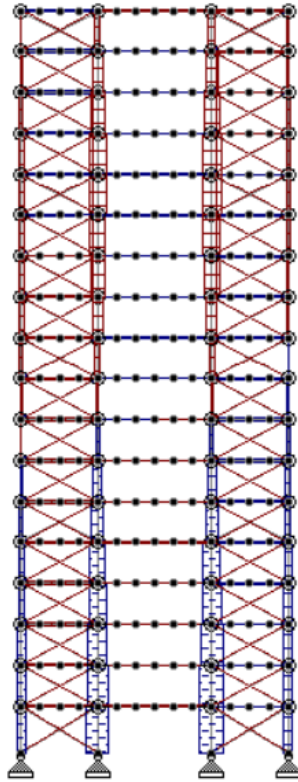
**Σχήμα 4.55:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



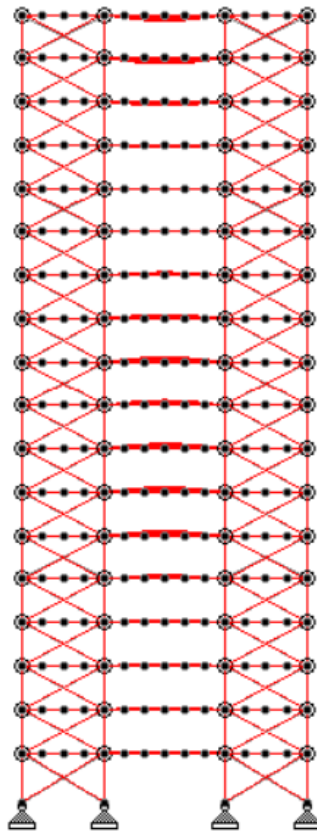
**Σχήμα 4.56:** Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.57:** Σχήμα 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



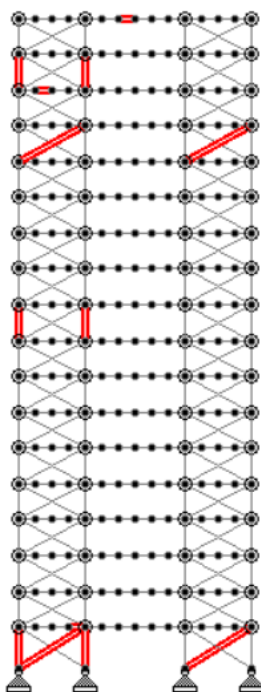
**Σχήμα 4.58:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.59:** Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ-18B Υ ΔΙΕΥΘ.**

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.60:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |        |       |       |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|--------|-------|-------|
|              |        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 1004         | 1      | -12,84                       | -3,09                 | -15,93 | 16,38 | 15,3  |
| 1212         | 14     | -34,31                       | 6,61                  | -27,7  | 32,16 | 35,05 |
| 1245         | 16     | 33,18                        | -6,08                 | 27,1   | 31,23 | 33,76 |

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Καμπτικές δυνάμεις $M_E$ (kNm) |                       |        |        |        |
|--------------|--------|--------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup>          | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 1245         | 1      | -144,25                        | 55,33                 | -88,92 | 131,04 | 160,47 |

**Πίνακας 4.30:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

|              |        | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |        |        |        |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| Υποστυλώματα | Όροφος | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 295,44                                | 21,40                 | 316,84 | 307,54 | 296,4  |
| 2002         | 1      | 280,46                                | 49,35                 | 329,81 | 335,09 | 286,48 |
| 2037         | 10     | 185,32                                | -8,34                 | 176,98 | 181,44 | 185,92 |
| 2038         | 10     | 246,49                                | -12,61                | 233,88 | 236,47 | 247,84 |
| 2065         | 17     | 32,38                                 | -4,16                 | 28,22  | 30,91  | 32,66  |
| 2066         | 17     | 68,04                                 | -24,48                | 43,56  | 62,46  | 74,66  |

**Πίνακας 4.31:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

|               |        | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |        |       |       |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|--------|-------|-------|
| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 3001          | 1      | 16,32                                 | 3,00                  | 19,32  | 20,32 | 20,08 |
| 3003          | 1      | 8,99                                  | 0,11                  | 9,10   | 11,62 | 12,56 |
| 3057          | 15     | 37,97                                 | -4,20                 | 33,77  | 36,34 | 38,48 |
| 3059          | 15     | -42,00                                | 2,14                  | -39,86 | 41,26 | 42,27 |

**Πίνακας 4.32:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη



#### 4.3.5 36-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α

##### 1. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ-Α

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s)   | X (%) | SUM X (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |        |
|-----------------|--------------|------------------|---------|-------|-----------|---------------------|--------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,1874       | 1,177            | 5,33755 | 64,36 | 64,36     | 320,61              |        |
| 2 <sup>η</sup>  | 0,7387       | 4,639            | 1,35374 | 18,79 | 83,15     | 560,10              |        |
| 3 <sup>η</sup>  | 1,4460       | 9,081            | 0,69156 | 6,68  | 89,83     | 385,69              |        |
| 4 <sup>η</sup>  | 2,0646       | 12,966           | 0,48436 | 0,46  | 90,29     | 38,16               |        |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,1235       | 13,336           | 0,47092 | 0,41  | 90,70     | 34,75               |        |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,1918       | 13,765           | 0,45624 | 2,38  | 93,08     | 210,04              |        |
| 7 <sup>η</sup>  | 2,9169       | 18,318           | 0,34283 | 1,84  | 94,92     | 183,54              |        |
| 8 <sup>η</sup>  | 3,6524       | 22,937           | 0,27379 | 1,00  | 95,92     | 99,92               |        |
| 9 <sup>η</sup>  | 4,4334       | 27,842           | 0,22556 | 0,57  | 96,49     | 56,64               |        |
| 10 <sup>η</sup> | 4,7110       | 29,585           | 0,21227 | 0,12  | 96,61     | 12,36               |        |
| 11 <sup>η</sup> | 4,8295       | 30,329           | 0,20706 | 0,00  | 96,61     | 0,43                |        |
| 12 <sup>η</sup> | 5,2438       | 32,931           | 0,19070 | 0,45  | 97,06     | 45,30               |        |
|                 |              |                  |         |       |           | SRSS                | 811,83 |
|                 |              |                  |         |       |           | CQC                 | 856,72 |

**Πίνακας 4.33:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση μοντέλου 36-Α

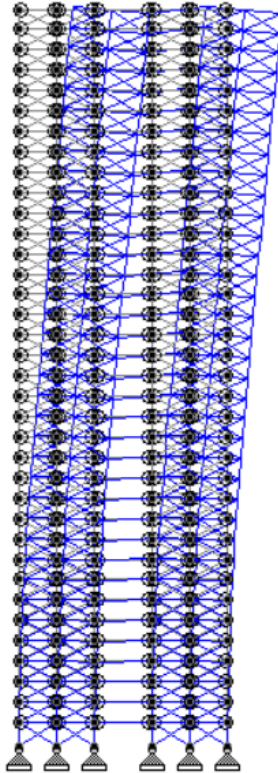
Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

1<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_1=5.3375s$   $X_{MASS}=64.36\%$   $F_{bx1}=320.61$  kN

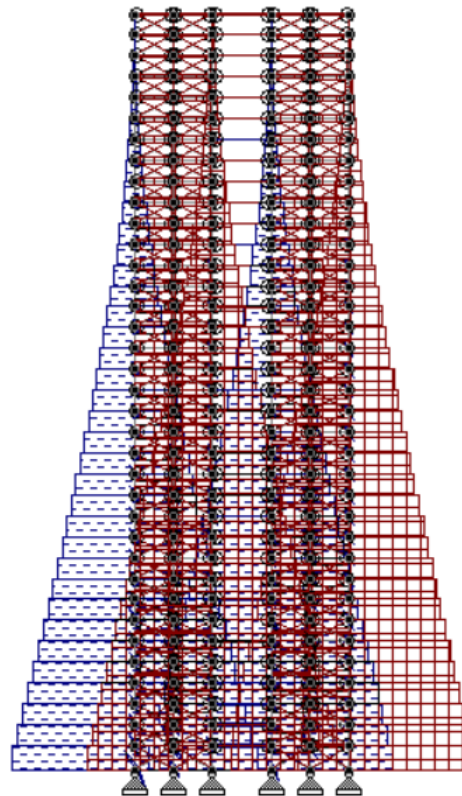
2<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_2=1.3537s$   $X_{MASS}=18.79\%$   $F_{bx2}=560.10$  kN

3<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_3=0.6915s$   $X_{MASS}=6.68\%$   $F_{bx3}=385.69$  kN

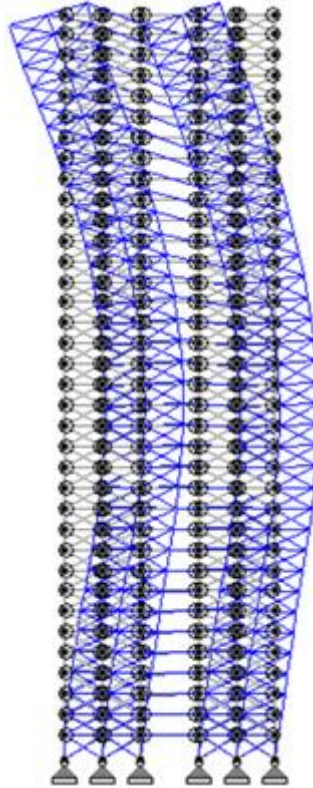
Η μορφή των ιδιομορφών 1, 2, 3 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών και των καμπτικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



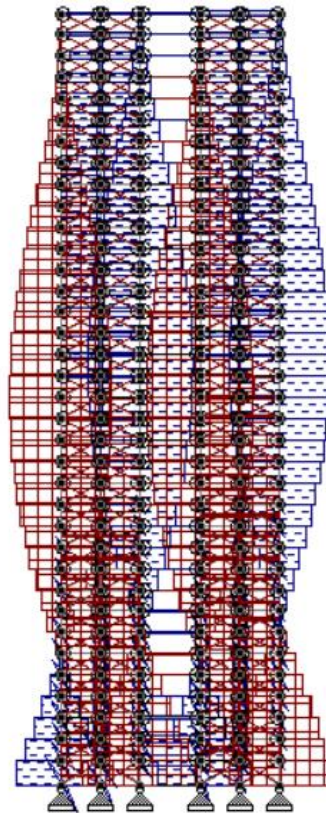
**Σχήμα 4.61:** Σχήμα 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



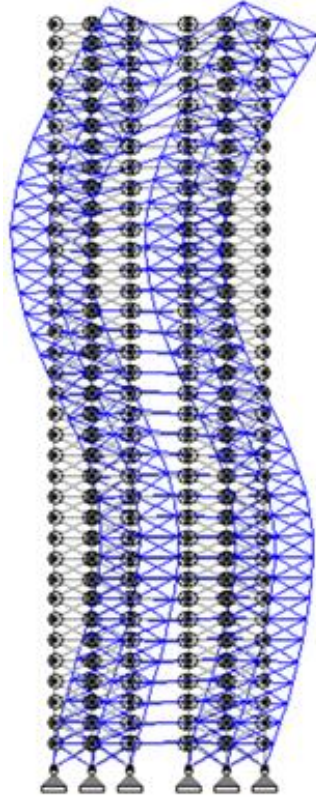
**Σχήμα 4.62:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



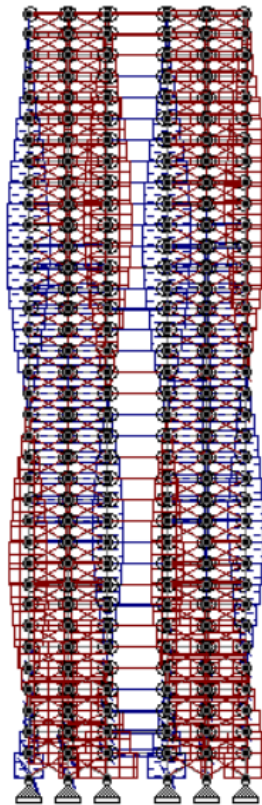
**Σχήμα 4.63:** Σχήμα 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.64:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.65: Σχήμα 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)**



**Σχήμα 4.66: Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)**

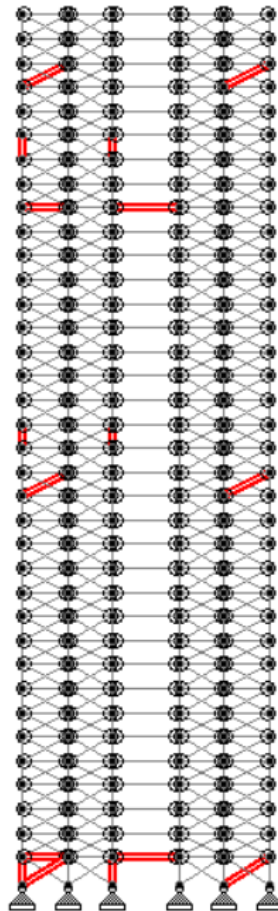
### **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Στα πλαίσια ενός τόσο ψηλού κτηρίου, η κατασκευή αποκτά χαρακτηριστικά λεπτόκορμου μέλους (slender member) όπου η μία διάσταση είναι πολύ μεγαλύτερη από την άλλη. Τέτοιες κατασκευές επηρεάζονται από μεγάλες ιδιοπεριόδους και μεγάλες μετατοπίσεις όπως αποδεικνύεται από την σεισμική ανάλυση όπου  $T_1=5.37335s$  και η μέγιστη οριζόντια μετατόπιση στη κορυφή είναι  $u_{max} = 83.608mm$ . Επηρεάζεται περισσότερο η βάση του κτιρίου κατά την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο, ενώ στις υπόλοιπες σημαντικές ιδιομορφές οι μεσαίοι όροφοι.

Παρατηρείται επίσης ότι η μέγιστη τέμνουσα βάσης ενεργοποιείται στη 2<sup>η</sup> ιδιομορφή καθώς για  $T_2= 1,35374s$  αντιστοιχεί μεγαλύτερη επιτάχυνση  $S_e(T)$  στο φάσμα απόκρισης<sup>[3]</sup>.

### **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ-36A Χ ΔΙΕΥΘ.**

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.67:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |         |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 1001         | 1      | -91,74                       | -142,31               | -94,15                | -328,20 | 215,16 | 205,26 |
| 1003         | 1      | 22,62                        | 40,62                 | 27,91                 | 91,15   | 62,10  | 58,60  |
| 1136         | 28     | -36,83                       | 70,01                 | -30,72                | 2,46    | 92,39  | 90,84  |
| 1138         | 28     | -0,06                        | -0,14                 | 0,32                  | 0,12    | 0,90   | 1,05   |

**Πίνακας 4.34:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

| Υποστυλώματα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |          |         |         |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|---------|---------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC     | CQC     | SRSS    |
| 2001         | 1      | 1096,27                      | 393,01                | 129,23                | 1618,51  | 1176,21 | 1179,18 |
| 2003         | 1      | -1118,72                     | -505,05               | -227,32               | -1851,09 | 1263,89 | 1270,13 |
| 2109         | 19     | 338,96                       | -450,20               | 49,97                 | -61,27   | 574,92  | 572,82  |
| 2111         | 19     | -395,18                      | 457,10                | -23,90                | 38,02    | 610,87  | 625,31  |
| 2181         | 31     | 37,00                        | -105,99               | 98,87                 | 29,88    | 188,04  | 175,15  |
| 2183         | 31     | -60,11                       | 163,10                | -152,06               | -49,07   | 256,16  | 250,33  |

**Πίνακας 4.35:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                       |        |        |        |
|---------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
|               |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 3001          | 1      | 185,93                       | 277,91                | 185,39                | 649,23 | 427,19 | 406,81 |
| 3007          | 1      | 40,84                        | 90,69                 | 64,35                 | 195,88 | 137,26 | 129,83 |
| 3129          | 17     | 77,55                        | 27,36                 | -72,69                | 32,22  | 116,84 | 116,33 |
| 3135          | 17     | 78,83                        | 37,09                 | -67,63                | 48,29  | 118,72 | 117,08 |
| 3265          | 34     | 15,50                        | -44,00                | 42,56                 | 14,06  | 74,61  | 76,71  |
| 3271          | 34     | 19,01                        | -53,28                | 50,43                 | 16,16  | 87,30  | 88,54  |

**Πίνακας 4.36:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη



## 2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ-Α

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s)   | Y (%) | SUM Y (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|------------------|---------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,1874       | 1,177            | 5,33755 | 0,00  | 0,00      | 0,00                |
| 2 <sup>η</sup>  | 0,7387       | 4,639            | 1,35374 | 0,01  | 0,01      | 0,29                |
| 3 <sup>η</sup>  | 1,4460       | 9,081            | 0,69156 | 0,06  | 0,07      | 3,51                |
| 4 <sup>η</sup>  | 2,0646       | 12,966           | 0,48436 | 26,10 | 26,17     | 2319,60             |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,1235       | 13,336           | 0,47092 | 47,34 | 73,51     | 4328,00             |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,1918       | 13,765           | 0,45624 | 0,00  | 73,51     | 0,16                |
| 7 <sup>η</sup>  | 2,9169       | 18,318           | 0,34283 | 0,01  | 73,52     | 0,65                |
| 8 <sup>η</sup>  | 3,6524       | 22,937           | 0,27379 | 0,04  | 73,56     | 6,03                |
| 9 <sup>η</sup>  | 4,4334       | 27,842           | 0,22556 | 0,63  | 74,19     | 119,76              |
| 10 <sup>η</sup> | 4,7110       | 29,585           | 0,21227 | 7,52  | 81,71     | 1524,99             |
| 11 <sup>η</sup> | 4,8295       | 30,329           | 0,20706 | 3,06  | 84,77     | 635,60              |
| 12 <sup>η</sup> | 5,2438       | 32,931           | 0,19070 | 0,23  | 85,00     | 51,23               |
| SRSS            |              |                  |         |       |           | 5182,54             |
| CQC             |              |                  |         |       |           | 6940,53             |

**Πίνακας 4.37: Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση μοντέλου 36-A**

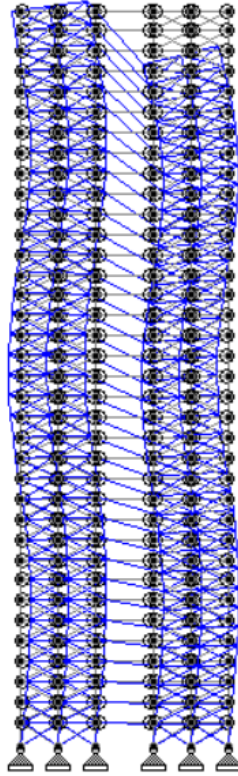
Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

4<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_4=0.4843s$   $Y_{MASS}=26.10\%$   $F_{bx4}=2319.6$  kN

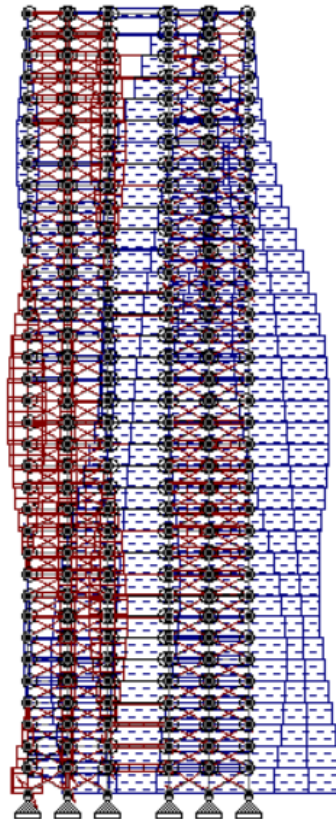
5<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_5=0.4709s$   $Y_{MASS}=47.34\%$   $F_{bx5}=4328$  kN

10<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_{10}=0.2122s$   $Y_{MASS}=7.52\%$   $F_{bx10}=1524.99$  kN

Η μορφή των ιδιομορφών 4, 5, 10 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών και των καμπτικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:

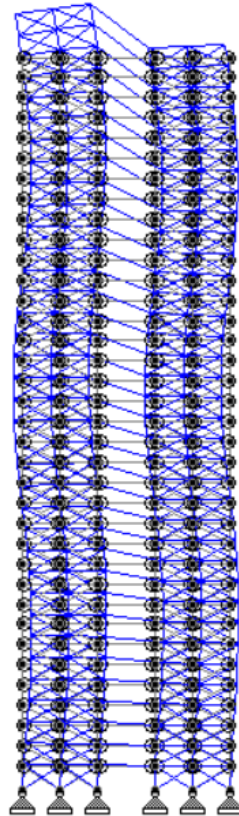


**Σχήμα 4.68:** Σχήμα 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

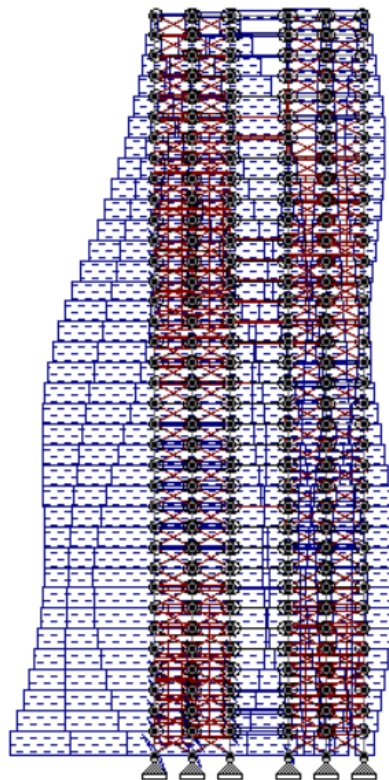


**Σχήμα 4.69:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

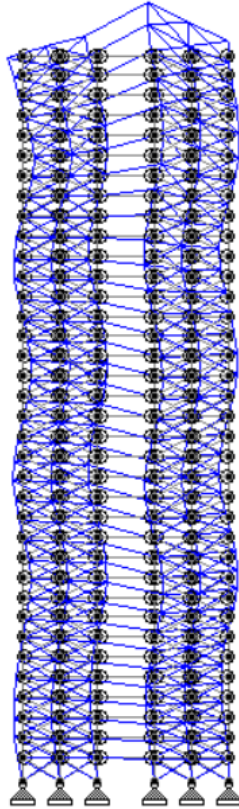




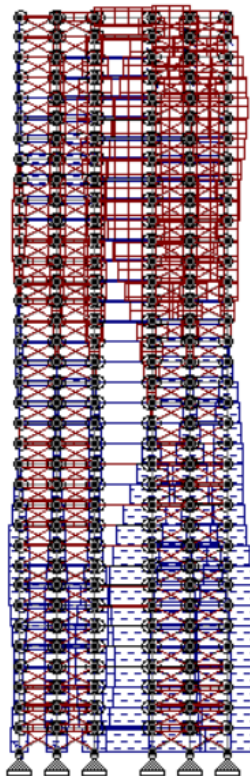
**Σχήμα 4.70:** Σχήμα 5<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.71:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 5<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



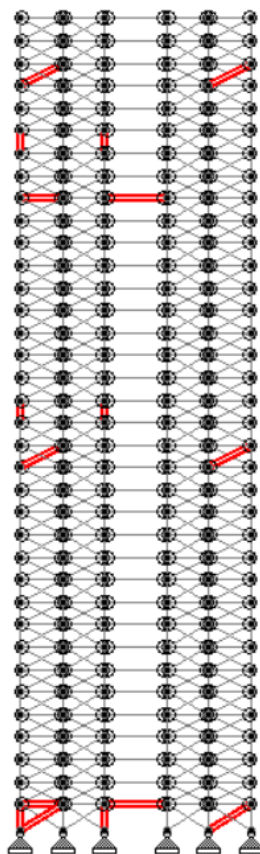
**Σχήμα 4.72:** Σχήμα 10<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.73:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 10<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ-36Α Υ ΔΙΕΥΘ.**

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.74:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |                        |        |       |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS   |
| 1001         | 1      | 79,34                        | -108,62               | -37,72                 | -67,00 | 53,40 | 141,84 |
| 1003         | 1      | -27,85                       | 32,97                 | 12,00                  | 17,12  | 15,27 | 45,88  |
| 1136         | 28     | 25,68                        | -68,69                | 47,09                  | 4,08   | 59,26 | 89,23  |
| 1138         | 28     | -1,97                        | -2,12                 | 9,91                   | 5,82   | 10,79 | 10,33  |

**Πίνακας 4.38:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

|              |        | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |                        |         |         |         |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| Υποστυλώματα | Όροφος | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC     | SRSS    |
| 2001         | 1      | -131,70                               | 1315,90               | 79,28                  | 1263,48 | 1199,43 | 1324,95 |
| 2003         | 1      | 80,62                                 | 954,20                | 112,35                 | 1147,17 | 1044,07 | 964,63  |
| 2109         | 19     | -164,77                               | 964,55                | 22,80                  | 822,58  | 814,19  | 978,93  |
| 2111         | 19     | 59,09                                 | 819,72                | -13,26                 | 865,55  | 878,69  | 822,07  |
| 2181         | 31     | 90,79                                 | 224,42                | 14,84                  | 330,05  | 312,01  | 244,05  |
| 2183         | 31     | -148,79                               | 510,9                 | -157,76                | 204,35  | 403,52  | 555,46  |

**Πίνακας 4.39:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Y διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

|               |        | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |                        |        |        |        |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|--------|
| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 3001          | 1      | -161,44                               | 215,47                | 82,46                  | 136,49 | 107,08 | 286,90 |
| 3007          | 1      | -41,90                                | 52,93                 | 33,96                  | 44,99  | 32,52  | 78,55  |
| 3129          | 17     | 29,99                                 | -12,46                | -17,11                 | 0,42   | 24,88  | 38,69  |
| 3135          | 17     | 26,71                                 | -53,13                | -26,07                 | -52,49 | 40,59  | 65,60  |
| 3265          | 34     | 48,00                                 | 15,45                 | 6,75                   | 70,20  | 63,61  | 52,58  |
| 3271          | 34     | 2,62                                  | -60,35                | 78,00                  | 20,27  | 96,46  | 98,88  |

**Πίνακας 4.40:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Y διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

#### 4.3.6 36-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Β

##### 1. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ-Β

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s)   | X (%) | SUM X (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|------------------|---------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,1876       | 1,178            | 5,33156 | 64,52 | 64,52     | 321,43              |
| 2 <sup>η</sup>  | 0,7429       | 4,665            | 1,34607 | 18,75 | 83,27     | 562,05              |
| 3 <sup>η</sup>  | 1,4556       | 9,141            | 0,68702 | 6,67  | 89,94     | 388,14              |
| 4 <sup>η</sup>  | 1,7862       | 11,217           | 0,55986 | 0,01  | 89,95     | 0,75                |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,1676       | 13,612           | 0,46135 | 1,87  | 91,82     | 163,63              |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,1950       | 13,785           | 0,45558 | 1,29  | 93,11     | 114,43              |
| 7 <sup>η</sup>  | 2,2682       | 14,245           | 0,44087 | 0,01  | 93,12     | 0,80                |
| 8 <sup>η</sup>  | 2,3396       | 14,693           | 0,42742 | 0,00  | 93,12     | 0,12                |
| 9 <sup>η</sup>  | 2,3615       | 14,830           | 0,42346 | 0,01  | 93,13     | 0,83                |
| 10 <sup>η</sup> | 2,3720       | 14,896           | 0,42158 | 0,00  | 93,13     | 0,03                |
| 11 <sup>η</sup> | 2,3767       | 14,926           | 0,42075 | 0,00  | 93,13     | 0,00                |
| 12 <sup>η</sup> | 2,3804       | 14,949           | 0,42010 | 0,00  | 93,13     | 0,02                |
| SRSS            |              |                  |         |       |           | 780,86              |
| CQC             |              |                  |         |       |           | 817,49              |

**Πίνακας 4.41:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση μοντέλου 36-B

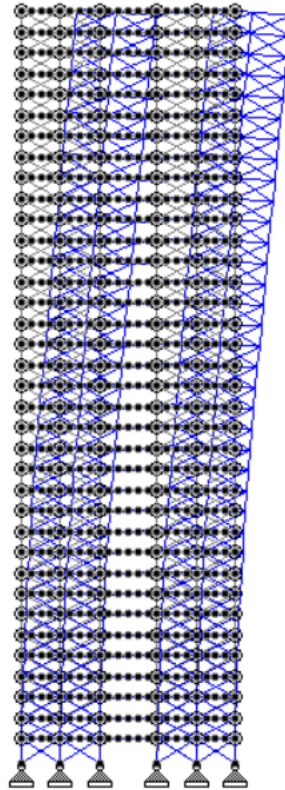
Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

1<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_1=5.3315s$   $Y_{MASS}=64.52\%$   $F_{bx1}=321.43$  kN

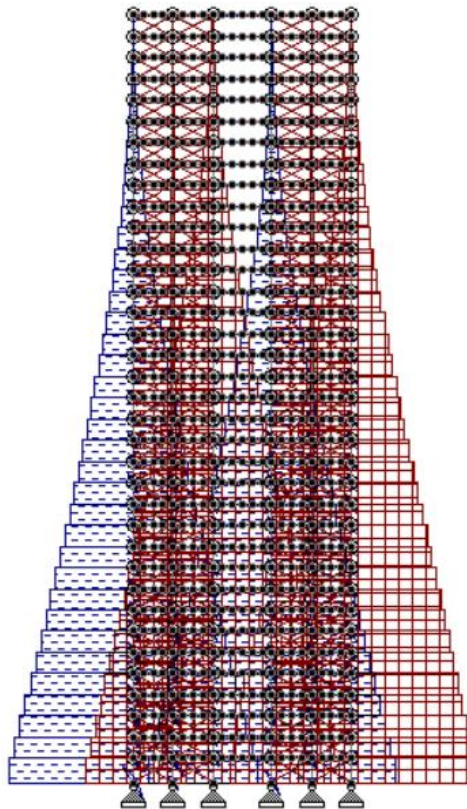
2<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_2=1.3460s$   $Y_{MASS}=18.75\%$   $F_{bx2}=562.05$  kN

3<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_3=0.0687s$   $Y_{MASS}=6.67\%$   $F_{bx3}=388.14$  kN

Η μορφή των ιδιομορφών 1, 2, 3 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών και των καμπτικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:

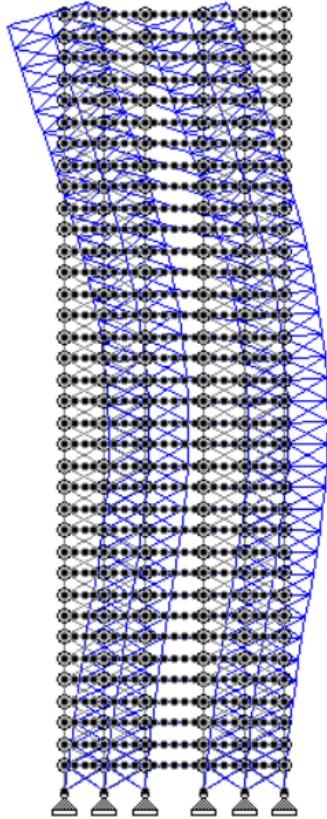


**Σχήμα 4.75:** Σχήμα 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

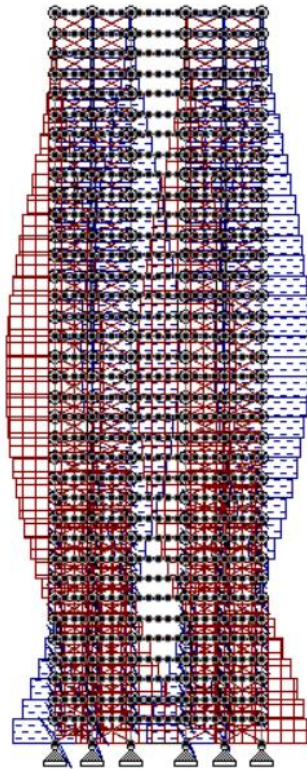


**Σχήμα 4.76:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

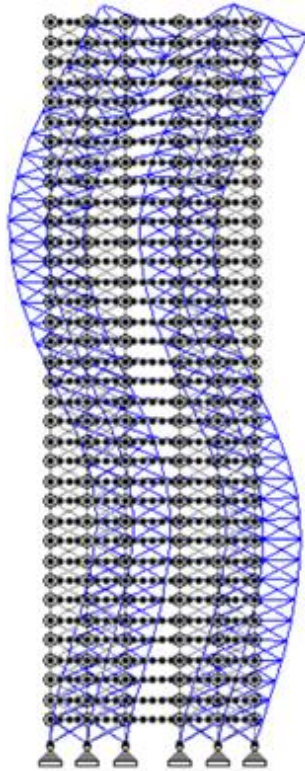




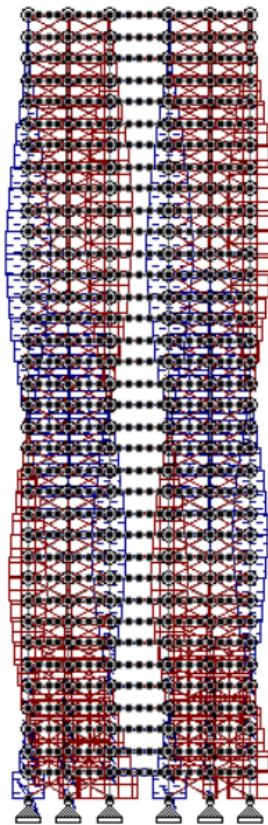
**Σχήμα 4.77:** Σχήμα 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.78:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.79:** Σχήμα 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.80:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 2<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

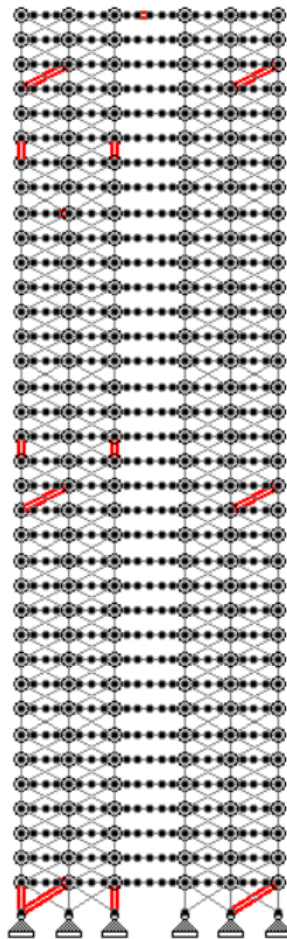


## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Σε οριζόντια σεισμική διέγερση το μοντέλο 36-B έχει παρόμοια συμπεριφορά με το μοντέλο 36-A.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ-36B Χ ΔΙΕΥΘ.

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.81:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Χ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις $N_e$ (kN) |                       |                       |         |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|--------|--------|
|              |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC    | CQC    | SRSS   |
| 1004         | 1      | -91,97                       | -142,85               | -95,36                | -330,18 | 208,74 | 200,64 |
| 1598         | 28     | -37,91                       | 70,92                 | -30,18                | 2,83    | 86,44  | 86,54  |
| 1781         | 36     | 0,35                         | 0,20                  | -1,66                 | -1,11   | 2,99   | 3,18   |

**Πίνακας 3.42:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

|              |        | Αξονικές δυνάμεις Ν <sub>ε</sub> (kN) |                       |                       |          |         |         |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|---------|---------|
| Υποστυλώματα | Όροφος | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC     | CQC     | SRSS    |
| 2001         | 1      | 1097,58                               | 387,07                | 135,39                | 1620,04  | 1174,81 | 1183,84 |
| 2003         | 1      | -1118,26                              | -510,86               | -251,93               | -1881,05 | 1262,72 | 1262,79 |
| 2109         | 19     | 338,80                                | -453,38               | 58,97                 | -55,61   | 576,18  | 585,32  |
| 2111         | 19     | -393,80                               | 449,59                | -19,91                | 35,88    | 604,10  | 609,45  |
| 2181         | 31     | 36,73                                 | -103,98               | 96,99                 | 29,74    | 164,34  | 161,15  |
| 2183         | 31     | -59,41                                | 156,43                | -142,82               | -45,80   | 238,75  | 240,85  |

**Πίνακας 3.43:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

|               |        | Αξονικές δυνάμεις Ν <sub>ε</sub> (kN) |                       |                       |        |        |        |
|---------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 3001          | 1      | 186,37                                | 278,57                | 186,82                | 651,76 | 411,31 | 395,30 |
| 3007          | 1      | 40,95                                 | 91,16                 | 64,58                 | 196,69 | 130,09 | 123,53 |
| 3129          | 17     | 77,72                                 | 26,30                 | -73,45                | 30,57  | 112,29 | 116,05 |
| 3135          | 17     | 79,00                                 | 36,19                 | -68,47                | 46,72  | 115,44 | 112,75 |
| 3265          | 34     | 15,48                                 | -44,07                | 42,86                 | 14,27  | 71,71  | 68,52  |
| 3271          | 34     | 19,01                                 | -53,50                | 51,43                 | 16,94  | 85,22  | 82,18  |

**Πίνακας 3.44:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά Χ διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

## 2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Υ-Β

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s)   | Y (%) | SUM Y (%) | Τέμνουσα Βάσης (kN) |
|-----------------|--------------|------------------|---------|-------|-----------|---------------------|
| 1 <sup>η</sup>  | 0,1874       | 1,177            | 5,33755 | 0,00  | 0,00      | 0,00                |
| 2 <sup>η</sup>  | 0,7387       | 4,639            | 1,35374 | 0,01  | 0,01      | 0,31                |
| 3 <sup>η</sup>  | 1,4460       | 9,081            | 0,69156 | 0,13  | 0,14      | 7,86                |
| 4 <sup>η</sup>  | 2,0646       | 12,966           | 0,48436 | 62,41 | 62,55     | 4804,17             |
| 5 <sup>η</sup>  | 2,1235       | 13,336           | 0,47092 | 0,04  | 62,59     | 3,96                |
| 6 <sup>η</sup>  | 2,1918       | 13,765           | 0,45624 | 0,04  | 62,63     | 3,51                |
| 7 <sup>η</sup>  | 2,9169       | 18,318           | 0,34283 | 4,15  | 66,78     | 405,14              |
| 8 <sup>η</sup>  | 3,6524       | 22,937           | 0,27379 | 1,27  | 68,05     | 128,12              |
| 9 <sup>η</sup>  | 4,4334       | 27,842           | 0,22556 | 0,68  | 68,73     | 69,64               |
| 10 <sup>η</sup> | 4,7110       | 29,585           | 0,21227 | 0,40  | 69,13     | 40,46               |
| 11 <sup>η</sup> | 4,8295       | 30,329           | 0,20706 | 0,23  | 69,36     | 23,70               |
| 12 <sup>η</sup> | 5,2438       | 32,931           | 0,19070 | 0,22  | 69,58     | 22,67               |
| SRSS            |              |                  |         |       |           | 4823,72             |
| CQC             |              |                  |         |       |           | 4944,49             |

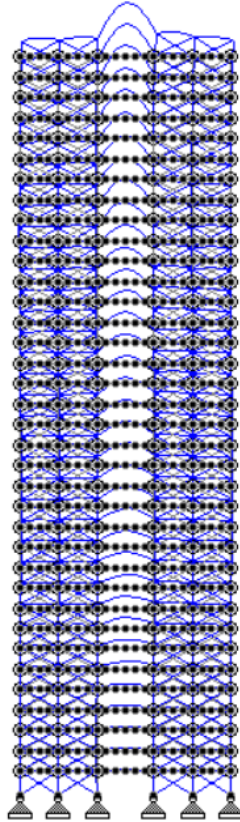
**Πίνακας 4.45:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κατά Υ διεύθυνση μοντέλου 36-B

Σύμφωνα με την ιδιομορφική ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι οι σημαντικές ιδιομορφές με τη μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας (mass participation) είναι:

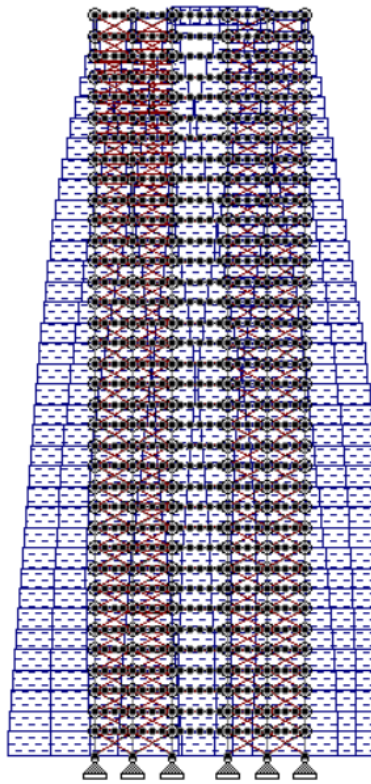
4<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_4=0.4843s$   $Y_{MASS}=62.41\%$   $F_{bx4}=4804.17$  kN

7<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_7=0.3428s$   $Y_{MASS}4.15\%$   $F_{bx7}=405.14$  kN

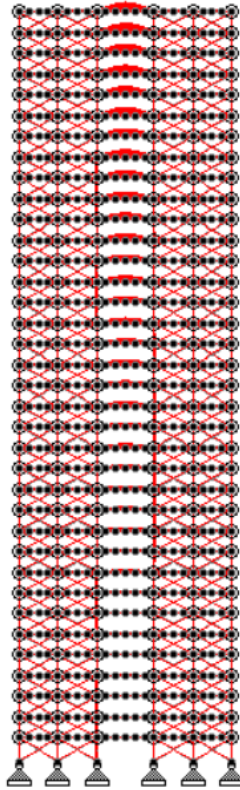
Η μορφή των ιδιομορφών 4, 7 (mode shapes) καθώς και η κατανομή των αξονικών και των καμπτικών δυνάμεων που δημιουργούνται σε κάθε ιδιομορφή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



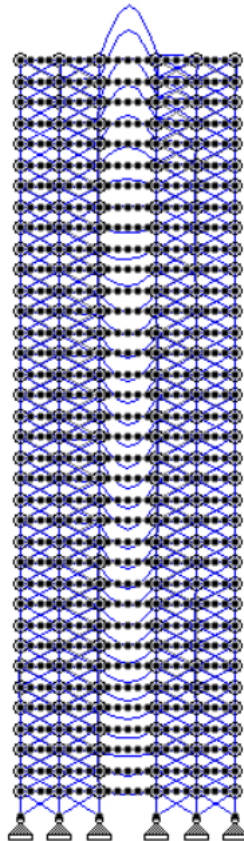
**Σχήμα 4.82:** Σχήμα 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



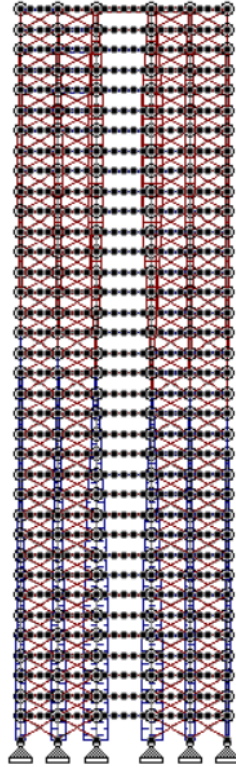
**Σχήμα 4.83:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



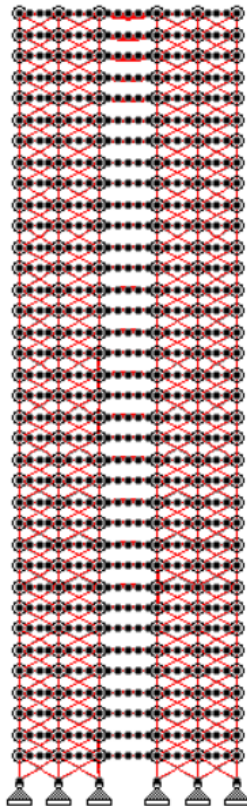
**Σχήμα 4.84: Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)**



**Σχήμα 4.85: Σχήμα 7<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)**



**Σχήμα 4.86:** Κατανομή αξονικών δυνάμεων της 7<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 4.87:** Κατανομή καμπτικών δυνάμεων της 7<sup>ης</sup> ιδιομορφής (Πηγή: STAAD.Pro)

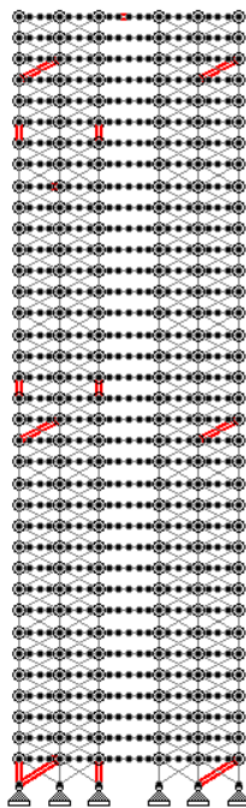


## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το μοντέλο 36-B έχει την ίδια συμπεριφορά όπως τα υπόλοιπα μοντέλα τύπου B, όσον αφορά την κατανομή δυνάμεων και την επιρροή των ενδιάμεσων κόμβων. Η διαφορά είναι ότι ενσωμάτωση μάζας >90% έχουμε στην 50<sup>η</sup> ιδιομορφή, δηλαδή ένα υψηλό κτίριο επηρεάζεται περισσότερο από ανώτερες συχνότητες στο κάθετο σεισμό. Γενικότερα όμως ανεξάρτητα του ύψους των μοντέλων, τα μοντέλα 5-B, 18-B, 36-B, επηρεάζονται από ίδιους παράγοντες στον κάθετο σεισμό και παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που γίνανε και προηγουμένως.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ-36B Υ ΔΙΕΥΘ.

Τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ιδιομορφική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 4.88:** Μέλη που επιλέχτηκαν για ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά Υ διεύθυνση (Πηγή: STAAD.Pro)

Αποτελέσματα επιλεγμένων μελών:

| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |        |       |       |
|--------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|--------|-------|-------|
|              |        | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 1004         | 1      | -19,54                                | -5,93                 | -25,47 | 24,93 | 26,34 |
| 1598         | 28     | -36,49                                | 0,22                  | -36,27 | 36,23 | 36,84 |
| 1781         | 36     | 80,54                                 | -22,51                | 58,03  | 79,99 | 83,78 |

|              |        | Καμπτικές δυνάμεις $M_E$ (kNm) |           |        |        |        |
|--------------|--------|--------------------------------|-----------|--------|--------|--------|
| Κύριες Δοκοί | Όροφος | Ιδιομ. 4η                      | Ιδιομ. 7η | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 1781         | 36     | -180,58                        | 92,77     | -87,81 | 182,03 | 210,38 |

**Πίνακας 4.46:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά  $Y$  διεύθυνση για επιλεγμένες κύριες δοκούς

|              |        | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |        |        |        |
|--------------|--------|------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|
| Υποστυλώματα | Όροφος | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC    | SRSS   |
| 2001         | 1      | 792,55                       | 51,26                 | 843,81 | 811,01 | 795,04 |
| 2003         | 1      | 740,14                       | 106,16                | 846,30 | 807,23 | 751,19 |
| 2109         | 19     | 520,31                       | 5,55                  | 525,86 | 526,38 | 521,00 |
| 2111         | 19     | 636,39                       | -3,79                 | 632,60 | 636,60 | 638,38 |
| 2181         | 31     | 217,84                       | -19,45                | 198,39 | 214,77 | 219,53 |
| 2183         | 31     | 235,58                       | -71,59                | 163,99 | 239,21 | 248,67 |

**Πίνακας 4.47:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά  $Y$  διεύθυνση για επιλεγμένα υποστυλώματα

|               |        | Αξονικές δυνάμεις $N_E$ (kN) |                       |        |       |       |
|---------------|--------|------------------------------|-----------------------|--------|-------|-------|
| Διαγώνια Μέλη | Όροφος | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup>        | Ιδιομ. 7 <sup>η</sup> | IMRC   | CQC   | SRSS  |
| 3001          | 1      | 35,42                        | 10,66                 | 46,08  | 46,18 | 49,35 |
| 3007          | 1      | 7,30                         | 1,30                  | 8,60   | 11,17 | 13,60 |
| 3129          | 17     | 14,42                        | 3,58                  | 18,00  | 20,27 | 18,58 |
| 3135          | 17     | -21,28                       | -5,41                 | -26,69 | 23,62 | 24,48 |
| 3265          | 34     | 59,38                        | -10,25                | 49,13  | 57,83 | 60,79 |
| 3271          | 34     | -42,26                       | 4,71                  | -37,55 | 43,97 | 43,52 |

**Πίνακας 4.48:** Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης κατά  $Y$  διεύθυνση για επιλεγμένα διαγώνια μέλη

#### **4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ CQC ΚΑΙ SRSS**

Για καλύτερη κατανόηση των μεθόδων συνδυασμού των σεισμικών αποκρίσεων CQC και SRSS, σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων και εξακρίβωση των αποτελεσμάτων του προγράμματος STAAD.Pro έγινε επίλυση υπολογισμού των δυνάμεων για συγκεκριμένα δομικά μέλη των μοντέλων.



Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν τα μεγέθη σε κάθε μέθοδο είναι οι εξής:

- SRSS (Square Root of the Sum of Squares):

$$R = \sqrt{\sum_{m=1}^N R_m^2} \quad (1-5) [6][8]$$

- CQC (Complete Quadratic Combination)

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R_i \rho_{ij} R_j} \quad (1-6) [6][8]$$

#### **4.4.1 18-ΟΡΟΦΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Α**

Για την επίλυση της μεθόδου **CQC** ακολουθούνται η παρακάτω μεθοδολογία :

1. Υπολογίζεται το μητρώο των αναλογιών των φυσικών γωνιακών ταχυτήτων όπου ισούται με:

$$r_{ij} = \omega_i / \omega_j \quad \text{για ιδιομορφές } i \text{ και } j [6][8].$$

Για όλα τα μοντέλα επιλέχθηκαν οι σημαντικές ιδιομορφές δηλαδή με συμμετοχή μάζας  $m \geq 5\%$ . Τα αποτελέσματα των φυσικών χαρακτηριστικών του μοντέλου προήλθαν από το πρόγραμμα STAAD.Pro και φαίνονται στο πίνακα 4.49 :

| $\alpha/\alpha$ | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s)     |
|-----------------|--------------|------------------|-----------|
| 1               | 0,298        | 1,8714           | 3,3557047 |
| 2               | 1,115        | 7,0022           | 0,8968610 |
| 3               | 2,281        | 14,3247          | 0,4384042 |
| 4               | 2,675        | 16,7990          | 0,3738318 |
| 5               | 2,760        | 17,3328          | 0,3623188 |
| 6               | 3,476        | 21,8293          | 0,2876870 |
| 7               | 4,739        | 29,7609          | 0,2110150 |
| 8               | 5,887        | 36,9704          | 0,1698658 |
| 9               | 6,577        | 41,3036          | 0,1520450 |
| 10              | 6,845        | 42,9866          | 0,1460920 |
| 11              | 7,029        | 44,1421          | 0,1422677 |
| 12              | 7,552        | 47,4266          | 0,1324153 |

**Πίνακας 4.49: Φυσικά χαρακτηριστικά μεγέθη μοντέλου 18-A**

Όπου το υπολογισμένο μητρώο αναλογιών  $r_{ij}$  φαίνεται στο Πίνακα 4.50 :

| $r_{ij}$ | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| 1        | 1      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -  |
| 2        | 0,2673 | 1      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -  |
| 3        | 0,1306 | 0,4888 | 1      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -  |
| 4        | 0,1114 | 0,4168 | 0,8527 | 1      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -  |
| 5        | 0,1080 | 0,4040 | 0,8264 | 0,9692 | 1      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -  |
| 6        | 0,0857 | 0,3208 | 0,6562 | 0,7696 | 0,7940 | 1      | -      | -      | -      | -      | -      | -  |
| 7        | 0,0629 | 0,2353 | 0,4813 | 0,5645 | 0,5824 | 0,7335 | 1      | -      | -      | -      | -      | -  |
| 8        | 0,0506 | 0,1894 | 0,3875 | 0,4544 | 0,4688 | 0,5905 | 0,8050 | 1      | -      | -      | -      | -  |
| 9        | 0,0453 | 0,1695 | 0,3468 | 0,4067 | 0,4196 | 0,5285 | 0,7205 | 0,8951 | 1      | -      | -      | -  |
| 10       | 0,0435 | 0,1629 | 0,3332 | 0,3908 | 0,4032 | 0,5078 | 0,6923 | 0,8600 | 0,9608 | 1      | -      | -  |
| 11       | 0,0424 | 0,1586 | 0,3245 | 0,3806 | 0,3927 | 0,4945 | 0,6742 | 0,8375 | 0,9357 | 0,9738 | 1      | -  |
| 12       | 0,0395 | 0,1476 | 0,3020 | 0,3542 | 0,3655 | 0,4603 | 0,6275 | 0,7795 | 0,8709 | 0,9064 | 0,9307 | 1  |

**Πίνακας 4.50: Μητρώο αναλογιών  $r_{ij}$  μοντέλου 18-A**

\*Η αρίθμηση στους άξονες του πίνακα αντιστοιχούν στον αριθμό κάθε ιδιομορφής.

2. Υπολογίζεται το μητρώο του συντελεστής συσχέτισης  $\rho_{ij}$  για ιδιομορφές  $i$  και  $j$ , όπου επειδή η απόσβεση είναι σταθερή σε όλες τις ιδιομορφές, δηλαδή  $\xi_i = \xi_j$  τότε γίνεται:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\xi^2r(1+r)^2} \quad (1-8) [6][8]$$

Ουσιαστικά διαμέσου αυτού του τύπου συσχετίζεται ο λόγος απόσβεσης και ο λόγος των γωνιακών ταχυτήτων  $r_{ij}$  κάθε ιδιομορφής (σύμφωνα με τις τιμές του Πίνακα 5.2) σε σχέση με τις υπόλοιπες. Το υπολογισμένο μητρώο συντελεστής συσχέτισης  $\rho_{ij}$  φαίνεται στο Πίνακα 4.51 :

| $\rho_{ij}$ | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12        |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 1           | 1        | 0,004041 | 0,001103 | 0,000846 | 0,000804 | 0,000553 | 0,000338 | 0,000240 | 0,000202 | 0,000190 | 0,000183 | 0,0001634 |
| 2           | 0,004041 | 1        | 0,017247 | 0,011034 | 0,010181 | 0,005922 | 0,003147 | 0,002103 | 0,001727 | 0,001610 | 0,001537 | 0,0013581 |
| 3           | 0,001103 | 0,017247 | 1        | 0,281262 | 0,214335 | 0,051456 | 0,016464 | 0,009171 | 0,007051 | 0,006443 | 0,006074 | 0,0052018 |
| 4           | 0,000846 | 0,011034 | 0,281262 | 1        | 0,910752 | 0,125501 | 0,027755 | 0,013936 | 0,010358 | 0,009367 | 0,008777 | 0,0074026 |
| 5           | 0,000804 | 0,010181 | 0,214335 | 0,910752 | 1        | 0,156596 | 0,031172 | 0,015239 | 0,011231 | 0,010132 | 0,009479 | 0,0079650 |
| 6           | 0,000553 | 0,005922 | 0,051456 | 0,125501 | 0,156596 | 1        | 0,092488 | 0,032859 | 0,022090 | 0,019408 | 0,017868 | 0,0144534 |
| 7           | 0,000338 | 0,003147 | 0,016464 | 0,027755 | 0,031172 | 0,092488 | 1        | 0,173683 | 0,083347 | 0,067018 | 0,058584 | 0,0421226 |
| 8           | 0,000240 | 0,002103 | 0,009171 | 0,013936 | 0,015239 | 0,032859 | 0,173683 | 1        | 0,447816 | 0,304243 | 0,239922 | 0,1371423 |
| 9           | 0,000202 | 0,001727 | 0,007051 | 0,010358 | 0,011231 | 0,022090 | 0,083347 | 0,447816 | 1        | 0,862239 | 0,693131 | 0,3423645 |
| 10          | 0,000190 | 0,001610 | 0,006443 | 0,009367 | 0,010132 | 0,019408 | 0,067018 | 0,304243 | 0,862239 | 1        | 0,934177 | 0,5077883 |
| 11          | 0,000183 | 0,001537 | 0,006074 | 0,008777 | 0,009479 | 0,017868 | 0,058584 | 0,239922 | 0,693131 | 0,934177 | 1        | 0,6595170 |
| 12          | 0,000163 | 0,001358 | 0,005202 | 0,007403 | 0,007965 | 0,014453 | 0,042123 | 0,137142 | 0,342365 | 0,507788 | 0,659517 | 1         |

**Πίνακας 4.51: Μητρώο του συντελεστή συσχέτισης  $\rho_{ij}$  μοντέλου 18-A**

Σύμφωνα με την ανάλυση του προγράμματος που αναφέρθηκαν τα αποτελέσματα στην παραγρ. 4.2.3, οι σημαντικές ιδιομορφές κατά διεύθυνση X είναι:

1<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_1=3.356s$  XMASS=64.83%  $F_{bx1}=145.66$  kN

2<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_2=0.897s$  XMASS=21.65%  $F_{bx2}=306.09$  kN

3<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_3=0.438s$  XMASS=6.16%  $F_{bx2}=180.17$  kN

Ενώ οι σημαντικές ιδιομορφές κατά διεύθυνση Y είναι:

4<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_4=0.374s$  YMASS=44.66%  $F_{by}=1636.42$  kN

5<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_5=0.362s$  YMASS=29.33%  $F_{by}=1108.84$  kN

9<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_9=0.152s$  YMASS=6.66%  $F_{by}=594.35$  kN

10<sup>η</sup> Ιδιομορφή ->  $T_{10}=0.146s$  YMASS=5.73%  $F_{by}=523.57$  kN

Είναι εμφανές ότι ισχύει  $\rho_{ij}=\rho_{ji}$  π.χ.  $\rho_{12}=\rho_{21}$  καθώς είναι όμοια μεγέθη αφού συσχετίζονται οι ίδιες ιδιομορφές. Εφόσον είναι σαφές ποιες ιδιομορφικές αποκρίσεις θα συνδυαστούν για κάθε κατεύθυνση του μοντέλου, θα επιλεχτούν συγκεκριμένες αναλογίες του συντελεστή  $\rho_{ij}$  για την κατασκευή ενός πιο απλοποιημένου πίνακα με αυτές τις τιμές. Με ανάλογο χρωματισμό έχουν επιλεχτεί οι συντελεστές συσχέτισης  $\rho_{ij}$  που αντιστοιχούν σε κάθε κατεύθυνση ανάλυσης.

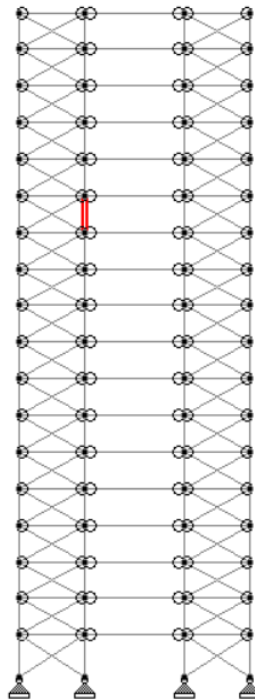
Έτσι δημιουργείται ο επόμενος Πίνακας 4.52:

| $\rho_{ij}$ | 1           | 2         | 3         | 4         | 5         | 9          | 10        |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 1           | 1           | 0,0040413 | 0,0011033 | 0,0008462 | 0,0008037 | 0,0002024  | 0,0001902 |
| 2           | 0,0040413   | 1         | 0,0172471 | 0,0110344 | 0,0101810 | 0,0017265  | 0,0016098 |
| 3           | 0,0011033   | 0,0172471 | 1         | 0,2812617 | 0,2143347 | 0,0070515  | 0,0064426 |
| 4           | 0,0008462   | 0,0110344 | 0,2812617 | 1         | 0,9107516 | 0,0103576  | 0,0093674 |
| 5           | 0,0008037   | 0,0101810 | 0,2143347 | 0,9107516 | 1         | 0,0112307  | 0,0101317 |
| 9           | 0,0002024   | 0,0017265 | 0,0070515 | 0,0103576 | 0,0112307 | 1          | 0,8622394 |
| 10          | 0,000190214 | 0,0016098 | 0,0064426 | 0,0093674 | 0,0101317 | 0,86223938 | 1         |

**Πίνακας 4.52: Μητρώο συντελεστών συσχέτισης  $\rho_{ij}$  σημαντικών ιδιομορφών μοντέλου 18-A**

Θα μπορούσαν οι τιμές των μη χρωματισμένων κελιών να μην αναφερθούν στον Πίνακα 4.52 αφού δε συνδυάζονται μεταξύ τους οι αποκρίσεις των συγκεκριμένων ιδιομορφών, αλλά έπρεπε να καταστεί σαφές το πως δημιουργείται ο συγκεκριμένος δυαδικός πίνακας.

3. Στη συνέχεια επιλέχτηκε συγκεκριμένο δομικό μέλος σύμφωνα με το Σχήμα 4.89, με γνώμονα την εναλλαγή του πρόσημου σε κάθε ιδιομορφική απόκριση.



**Σχήμα 4.89: Επιλογή μέλους μοντέλου 18-A (Πηγή: STAAD.Pro)**

Επιλέχτηκε το υποστύλωμα 2050 όπου έγινε ιδιομορφική φασματική ανάλυση και οι δυνάμεις προκύπτουν από κάθε IMR (Individual Modal Response) για κάθε σημαντική ιδιομορφή.

#### 4. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 2050- ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Χ ΜΕΘΟΔΟΣ CQC

Οι δυνάμεις που προκύπτουν φαίνονται στον Πίνακα 4.53 :

| Υποστύλωμα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|            |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> |
| 2050       | 13     | -94,70                                | 200,42                | -115,42               | 0,00                  | 0,00                  | 0,00                  | 0,00                   |

**Πίνακας 4.53:** Υπολογισμένες τιμές για κάθε σημαντική ιδιομορφή κατά διεύθυνση Χ σύμφωνα με IMR

Στη συνέχεια σχηματίζεται το μητρώο των δυνάμεων R<sub>ij</sub> όπου ισχύει για κάθε τιμή του υπολογισμένου Πίνακα 4.54 ο τύπος:  $R_{ij} = R_i \times R_j$

| R <sub>i</sub> x R <sub>j</sub> =R <sub>ij</sub> | 1          | 2           | 3          | 4    | 5    | 9    | 10   |
|--|------------|-------------|------------|------|------|------|------|
| 1  | 8968,090   | -18979,774  | 10930,274  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2  | -18979,774 | 40168,176   | -23132,476 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3  | 10930,274  | -23132,4764 | 13321,776  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4  | 0,00       | 0,00        | 0,00       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 5  | 0,00       | 0,00        | 0,00       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9  | 0,00       | 0,00        | 0,00       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10   | 0,00       | 0,00        | 0,00       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

**Πίνακας 4.54:** Μητρώο Δυνάμεων R<sub>ij</sub>

Στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται το Μητρώο Δυνάμεων R<sub>ij</sub> με το Μητρώο του συντελεστή συσχέτισης ρ<sub>ij</sub> που αναλογούν στη διεύθυνση Χ, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.55:

| ρ <sub>ij</sub> | 1         | 2         | 3         |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| 1               | 1         | 0,0040413 | 0,0011033 |
| 2               | 0,0040413 | 1         | 0,0172471 |
| 3               | 0,0011033 | 0,0172471 | 1         |

**Πίνακας 4.55:** Μητρώο συντελεστών συσχέτισης ρ<sub>ij</sub> για ιδιομορφές 1,2,3

Όπου προκύπτει ο Πίνακας 4.56 δηλαδή:

| R <sub>ij</sub> x ρ <sub>ij</sub> | 1         | 2         | 3         |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1                                 | 8903,446  | -18755,02 | 10612,82  |
| 2                                 | -18842,96 | 39692,505 | -22460,63 |
| 3                                 | 10851,49  | -22858,54 | 12934,87  |

**Πίνακας 4.56:** Αποτελέσματα πολλαπλασιασμού Μητρώων R<sub>ij</sub> και ρ<sub>ij</sub>

Χρησιμοποιούμε τις δυνάμεις όπου ισχύει  $i=j$ , δηλαδή τις δυνάμεις της διαγώνιου του μητρώου και υπολογίζουμε την τελική τιμή για την δύναμη του μέλους:

$$R_{2002} = \sqrt{R_{11} + R_{22} + R_{33}} = \mathbf{248,05 \text{ kN}}$$

## ΜΕΘΟΔΟΣ SRSS

Η εφαρμογή της μεθόδου είναι πιο απλή:

$$R_{2002} = \sqrt{(R1)^2 + (R2)^2 + (R3)^2} = \sqrt{(-94.70)^2 + (200.42)^2 + (-115.42)^2} = \mathbf{249.92 \text{ kN}}$$

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα του προγράμματος STAAD.Pro και της επίλυσης της εργασίας για το υποστύλωμα 2002 φαίνονται στον Πίνακα 4.57 :

| Τελικές Αξονικές δυνάμεις R (kN) |        |
|----------------------------------|--------|
| CQC(x)=                          | 248,05 |
| CQC(STD)=                        | 248,35 |
| SRSS(x)=                         | 249,92 |
| SRSS(STD)=                       | 249,96 |

**Πίνακας 4.57:** Τελικά αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης

Παρατηρείται ότι εφόσον  $T_2 < 0.90T_1 \Rightarrow 0.8968s < 0.9 \cdot 3.3557s \Rightarrow 0.8968s < 3.020s$  (ανεξάρτητες περίοδοι) και  $T_3 < 0.90T_2 \Rightarrow 0.4384s < 0.9 \cdot 0.8968s \Rightarrow 0.4384s < 0.8071s$  τότε τα αποτελέσματα των μεθόδων SRSS και CQC σχεδόν ταυτίζονται, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.57 .

## 5. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 2002 - ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Y ΜΕΘΟΔΟΣ CQC

Οι δυνάμεις που προκύπτουν φαίνονται στον Πίνακα 4.58 :

| Υποστύλωμα | Όροφος | Αξονικές δυνάμεις N <sub>E</sub> (kN) |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|------------|--------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|            |        | Ιδιομ. 1 <sup>η</sup>                 | Ιδιομ. 2 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 3 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 4 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 5 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 9 <sup>η</sup> | Ιδιομ. 10 <sup>η</sup> |
| 2050       | 13     | 0,00                                  | 0,00                  | 0,00                  | 92,65                 | 339,90                | -15,47                | -253,86                |

**Πίνακας 4.58:** Υπολογισμένες τιμές για κάθε σημαντική ιδιομορφή κατά διεύθυνση Y

Στη συνέχεια σχηματίζεται το μητρώο των δυνάμεων R<sub>ij</sub> όπου ισχύει για κάθε τιμή του υπολογισμένου Πίνακα 4.59 ο τύπος:  $R_{ij} = R_i \times R_j$

| R <sub>i</sub> x R <sub>j</sub> =R <sub>ij</sub> | 1    | 2    | 3    | 4         | 5         | 9        | 10        |
|--|------|------|------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 1  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 0,00      |
| 2  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 0,00      |
| 3  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 0,00      |
| 4  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8584,02   | 31491,74  | -1433,30 | -23520,13 |
| 5  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 31491,74  | 115532,01 | -5258,25 | -86287,01 |
| 9  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1433,30  | -5258,25  | 239,32   | 3927,21   |
| 10   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -23520,13 | -86287,01 | 3927,21  | 64444,90  |

**Πίνακας 4.59:** Μητρώο Δυνάμεων R<sub>ij</sub>

Στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται το Μητρώο Δυνάμεων  $R_{ij}$  με το Μητρώο του συντελεστή συσχέτισης  $\rho_{ij}$  που αναλογούν στη διεύθυνση Y, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.60:

| $\rho_{ij}$ | 4         | 5         | 9         | 10       |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 4           | 1         | 0,9107516 | 0,0103576 | 0,009367 |
| 5           | 0,9107516 | 1         | 0,0112307 | 0,010132 |
| 9           | 0,0103576 | 0,0112307 | 1         | 0,862239 |
| 10          | 0,0093674 | 0,0101317 | 0,862239  | 1        |

**Πίνακας 4.60:** Μητρώο συντελεστών συσχέτισης  $\rho_{ij}$  για ιδιομορφές 4,5,9 και 10

Όπου προκύπτει ο Πίνακας 4.61 δηλαδή:

| $R_{ij} \times \rho_{ij}$ | 4          | 5          | 9         | 10        |
|---------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
| 4                         | 37030,00   | 39055,251  | -21270,69 | -24356,5  |
| 5                         | 135850,00  | 143279,87  | -78034,63 | -89355,35 |
| 9                         | -6182,991  | -6521,152  | 3551,62   | 4066,8648 |
| 10                        | -101461,80 | -107011,00 | 58281,47  | 66736,541 |

**Πίνακας 4.61:** Αποτελέσματα πολλαπλασιασμού Μητρώων  $R_{ij}$  και  $\rho_{ij}$

Χρησιμοποιούμε τις δυνάμεις όπου ισχύει  $i=j$ , δηλαδή τις δυνάμεις της διαγώνιου του μητρώου και υπολογίζουμε την τελική τιμή για την δύναμη του μέλους:

$$R_{2002} = \sqrt{R_{44} + R_{55} + R_{99} + R_{1010}} = \mathbf{500.60 \text{ kN}}$$

### **ΜΕΘΟΔΟΣ SRSS**

Η εφαρμογή της μεθόδου είναι πιο απλή:

$$R_{2002} = \sqrt{(R_4)^2 + (R_5)^2 + (R_9)^2 + (R_{10})^2} = \sqrt{(92.65)^2 + (339.90)^2 + (-15.47)^2 + (-253.86)^2} = \mathbf{434.51 \text{ kN}}$$

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα του προγράμματος STAAD.Pro και της επίλυσης της εργασίας για το υποστύλωμα 2050 φαίνονται στον Πίνακα 4.62 :

| Τελικές Αξονικές δυνάμεις R (kN) |        |
|----------------------------------|--------|
| CQC(y)=                          | 500,60 |
| CQC(STD)=                        | 500,99 |
| SRSS(y)=                         | 434,51 |
| SRSS(STD)=                       | 434,46 |

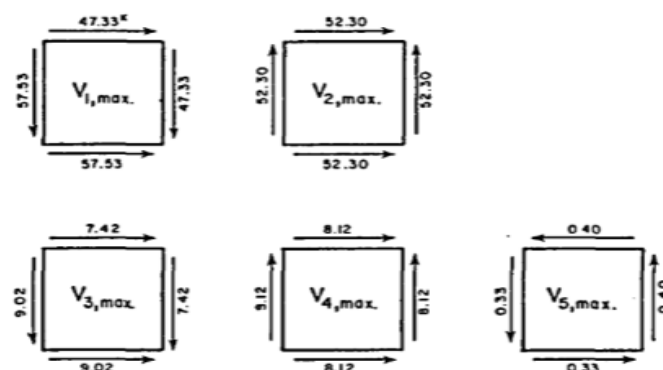
**Πίνακας 4.62:** Τελικά αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης

Παρατηρείται ότι εφόσον  $T_5 < 0.90T_4 \Rightarrow 0.3623s < 0.9 \cdot 0.3738s \Rightarrow 0.3623s > 0.33642s$  και  $T_{10} < 0.90T_9 \Rightarrow 0.146s < 0.9 \cdot 0.152s \Rightarrow 0.146s > 0.1368s$  οπότε οι ιδιοπερίοδοι είναι εξαρτημένες και η μέθοδος SRSS δεν προτείνεται (EC8). Φαίνεται και από τα αποτελέσματα των μεθόδων τα οποία έχουν μεγάλη διαφορά.

#### 4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ CQC ΚΑΙ SRSS

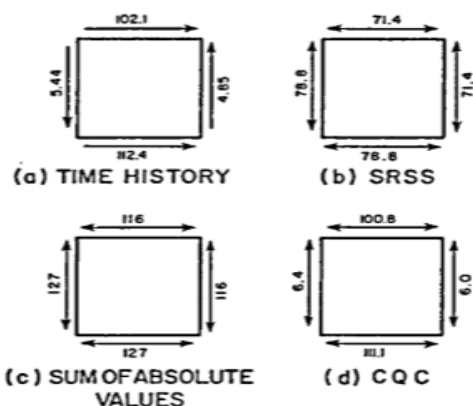
Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθούν τα εξής. Σύμφωνα με τον E. L. Wilson, η CQC μέθοδος πρέπει να αντικαταστήσει την SRSS [5][6]. Η SRSS μέθοδος παρόλο που για δυσδιάστατα (2D) μοντέλα δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σύγκριση με την Ανάλυση Χρονοϊστορίας (Time-History analysis) [5][6]. Για αυτόν το λόγο είχε ευρεία χρήση από τους Μηχανικούς και στα τρισδιάστατα μοντέλα (3D) χωρίς όμως να επιβεβαιωθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της μεθόδου για τέτοιες περιπτώσεις [5][6].

Σύμφωνα με πείραμα της δημοσίευσης, η SRSS μέθοδος υποτιμάει τις δυνάμεις που δημιουργούνται στην καθορισμένη οριζόντια κατεύθυνση του σεισμού και υπερεκτιμάει κατά πολύ τις δυνάμεις στην άλλη οριζόντια διεύθυνση [5][6]. Σύμφωνα με τα δεδομένα του πειράματος υποβλήθηκε το χωρικό μοντέλο σε συγκεκριμένο σεισμό όπου υπολογίστηκαν οι παρακάτω πέντε πρώτες ιδιομορφές και οι μέγιστες τέμνουσες βάσης τους [6].



**Σχήμα 4.90:** Τέμνουσες μέγιστες τέμνουσες βάσης για τις πέντε πρώτες ιδιομορφές [6]

Ύστερα έγινε ιδιομορφική υπέρθεση των 12 ιδιομορφών που παρήγαγε το χωρικό μοντέλο, όπου υπολογίστηκαν οι τέμνουσες βάσης με βάση το χρόνο [5][6]. Οι μέγιστες τέμνουσες βάσης που υπολογίστηκαν φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 4.91 a) και τα αποτελέσματα των μεθόδων CQC και SRSS για τις πέντε μέγιστες τέμνουσες βάσης των πέντε πρώτων ιδιομορφών αντιστοιχούν στο Σχήμα 4.91 d) και Σχήμα 4.91 b) [5][6].



**Σχήμα 4.91:** Αποτελέσματα μεθόδων [6]



Πέραν την αδυναμία της SRSS μεθόδου που δεν λαμβάνει υπόψιν την απόσβεση και το συσχετισμό των συχνοτήτων κάθε σημαντικής ιδιομορφής, δε λαμβάνει υπόψιν και το πρόσημο των σχηματιζόμενων δυνάμεων σε κάθε σημαντική ιδιομορφή, εφόσον όλες οι δυνάμεις κάθε σημαντικής ιδιομορφής είναι υψωμένες εις στο τετράγωνο και χάνουν το πρόσημο τους <sup>[5][6]</sup>.

Σε αντίθεση, η CQC μέθοδος λαμβάνει υπόψιν το πρόσημο των δυνάμεων κατά τον υπολογισμό του μητρώου  $R_{ij} \chi_{rij}$  σύμφωνα με το τρόπο επίλυσης του παρόντος παραδείγματος, πράγμα πολύ σημαντικό για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με την μέθοδο ανάλυσης Χρονοϊστορίας (Σχήμα 4.91 a)-d)) <sup>[5][6]</sup>.

Το συγκεκριμένο άρθρο επιβεβαιώνει και τα αποτελέσματα του παραδείγματος επίλυσης των μεθόδων CQC και SRSS στην παράγραφο 4.3.1 της παρούσας εργασίας.

#### **4.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗ ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΕΠΟΧΗ**

Εφόσον χρησιμοποιείται το απλοποιημένο φάσμα απόκρισης στον Ευρωκώδικα 8, είναι ορθό να αναφερθούν τα λόγια του Prof. Edward L. Wilson, ο οποίος εισήγαγε την έννοια του φάσματος απόκρισης για την σεισμική ανάλυση το 1962 με τον Prof. Ray Clough και επίσης αντικατέστησε την μέθοδο συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων SRSS με την μέθοδο CQC το 1981 με τον Prof. Arman Der Kiureghian <sup>[5][6][9]</sup>.

Τα μειονεκτήματα της φασματικής ανάλυσης, έχουν αναφερθεί στις παραγράφους 1.4,1.5 της παρούσας εργασίας και συνοπτικά κατά την φασματική ανάλυση:

- Μετατρέποντας τη δυναμική ανάλυση σε στατική ανάλυση χάνουμε την διάσταση του χρόνου και δεν γνωρίζουμε ποια χρονική στιγμή, ενεργοποιείται η κάθε σημαντική ιδιομορφή <sup>[2][4][6]</sup>.
- Χρησιμοποιούμε τις μέγιστες τιμές επιτάχυνσης από το φάσμα απόκρισης για κάθε σημαντική ιδιομορφή, οι οποίες είναι οι μέσες τιμές διάφορων σεισμικών γεγονότων, οι οποίες όμως δε συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή <sup>[2][4][6]</sup>.
- Εφόσον δεν γνωρίζουμε τη χρονική στιγμή που συμβαίνει η κάθε σημαντική ιδιομορφή, χρησιμοποιούμε στατιστικές μεθόδους συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων, με την επικρατέστερη την CQC μέθοδο, η οποία λαμβάνει υπόψιν το πρόσημο των δυνάμεων κάθε ιδιομορφής, αλλά εφόσον συνδυάζονται στατιστικά χάνουν το πρόσημο <sup>[2][4][6]</sup>.
- Παράλληλα οι δυνάμεις που υπολογίζονται μέσω των μεθόδων SRSS,CQC δε βρίσκονται σε ισορροπία <sup>[4][6][9]</sup>.

Σύμφωνα με τον καθηγητή Wilson, η χρήση της φασματικής ανάλυσης πρέπει να τερματιστεί στην σεισμική ανάλυση των κτιρίων, καθότι πλέον με την ισχύς των

υπολογιστικών συστημάτων, τις δυνατότητες των δομοστατικών προγραμμάτων και τα δεδομένα σεισμικών γεγονότων που έχει στη διάθεση της η ερευνητική κοινότητα είναι πλέον πολύ πιο εύκολο, αποδοτικό και γρήγορο να γίνεται χρήση της μη γραμμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας [9].

Αναφέρεται επίσης ότι η χρήση της φασματικής ανάλυσης παράγει θετικά αποτελέσματα μόνο, λαμβάνουμε υπόψιν τις μέγιστες τιμές που η πιθανότητα να συμβούν ταυτόχρονα είναι πολύ μικρές, υπολογίζουμε πολύ μεγαλύτερες δυνάμεις σε σχέση με την ανάλυση χρονοϊστορίας και το πιο σημαντικό είναι ότι οι υπολογισμένες δυνάμεις δε βρίσκονται σε ισορροπία [9]. Επίσης η θεωρία αυτή υποστηρίζεται από την αδυναμία της μεθόδου να εξαγάγει πραγματικά αποτελέσματα στην εφαρμογή Demand/Capacity Ratio για θλιβόμενα μέλη μιας κατασκευής όπου δίνει μόνο θετικά αποτελέσματα και κατά πολύ μεγαλύτερα από τη μέθοδο ανάλυσης χρονοϊστορίας [9].

Υποστηρίζεται ότι την περίοδο που ανακαλύφθηκε η φασματική ανάλυση το 1962, η επιστημονική κοινότητα διέθετε πραγματικά δεδομένα για τρία σεισμικά γεγονότα μόνο, ενώ πλέον έχουμε χιλιάδες αληθινές καταγραφές δεδομένων σεισμικών γεγονότων [9]. Παράλληλα το κόστος του εξοπλισμού και το κόστος υπολογισμού και ανάλυσης (computation cost) έχει εκμηδενιστεί σε σχέση με το παρελθόν [9].

Εφόσον πλέον όλα τα υπολογιστικά συστήματα, όλα τα στατικά προγράμματα έχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης γραμμική ή μη γραμμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας είναι πλέον δυνατό να γίνουν πιο αποδοτικοί σχεδιασμοί, συγκριτικά με την φασματική ανάλυση [9].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ Α-Β ΣΕ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ**

Στα πλαίσια της έρευνας της συμπεριφοράς των επίπεδων μοντέλων σε οριζόντιες και κατακόρυφες σεισμικές δράσεις, μοντελοποιήθηκαν δύο διαφορετικά τύπου μοντέλα όπως προαναφέρθηκε (Κεφ. 3, 4), δηλαδή χωρίστηκαν σε :

- Τύπου Α μοντέλα χωρίς κόμβους στο άνοιγμα των κύριων δοκών (girders)
- Τύπου Β μοντέλα με κόμβους στο άνοιγμα των κύριων δοκών (girders)

Απώτερος στόχος ήταν διαμέσου της διαφορετικής μοντελοποίησης των μοντέλων Α,Β να παρατηρηθούν ο τρόπος που ταλαντώνονται (vibrate), τα φυσικά χαρακτηριστικά κάθε μοντέλου, η κατανομή των σεισμικών πλευρικών δυνάμεων στο φέροντα οργανισμό καθώς και το μέγεθος τους.

Στα πλαίσια της σύγκρισης, επιλέχθηκαν τα 18-όροφα επίπεδα μοντέλα Α και Β. Όπως προαναφέρθηκε, όλα τα μοντέλα τύπου Β (5,18,36) έχουν παρεμφερή συμπεριφορά στον κάθετο σεισμό, απλώς τα 18-όροφα μοντέλα είναι το ενδιάμεσο μέτρο σύγκρισης και ενδεικτικό παράδειγμα για όλες τις περιπτώσεις. Σύμφωνα με την ιδιομορφική φασματική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις παραγράφους 4.2.3, 4.2.4 για τα μοντέλα 18-Α και 18-Β έγιναν οι παρακάτω παρατηρήσεις.

Σε πρώτο στάδιο τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s) | X (%) | SUM X (%) | Base Shear (kN) | Y (%)  | SUM Y (%) | Base Shear (kN) |         |
|-----------------|--------------|------------------|-------|-------|-----------|-----------------|--------|-----------|-----------------|---------|
| 1 <sup>n</sup>  | 0,298        | 1,871            | 3,356 | 64,83 | 64,83     | 145,66          | 0,00   | 0,00      | 0,00            |         |
| 2 <sup>n</sup>  | 1,115        | 7,002            | 0,897 | 21,65 | 86,48     | 306,09          | 0,03   | 0,03      | 0,53            |         |
| 3 <sup>n</sup>  | 2,281        | 14,325           | 0,438 | 6,16  | 92,64     | 180,17          | 0,01   | 0,04      | 0,26            |         |
| 4 <sup>n</sup>  | 2,675        | 16,799           | 0,374 | 0,06  | 92,70     | 1,81            | 44,66  | 44,70     | 1636,42         |         |
| 5 <sup>n</sup>  | 2,76         | 17,333           | 0,362 | 0,11  | 92,81     | 3,33            | 29,33  | 74,03     | 1108,83         |         |
| 6 <sup>n</sup>  | 3,476        | 21,829           | 0,288 | 2,68  | 95,49     | 85,09           | 0,07   | 74,10     | 3,30            |         |
| 7 <sup>n</sup>  | 4,739        | 29,761           | 0,211 | 1,28  | 96,77     | 40,69           | 0,02   | 74,12     | 1,57            |         |
| 8 <sup>n</sup>  | 5,887        | 36,97            | 0,17  | 0,90  | 97,67     | 28,53           | 0,06   | 74,18     | 4,53            |         |
| 9 <sup>n</sup>  | 6,577        | 41,304           | 0,152 | 0,05  | 97,72     | 1,58            | 6,60   | 80,78     | 594,35          |         |
| 10 <sup>n</sup> | 6,845        | 42,987           | 0,146 | 0,07  | 97,79     | 2,29            | 5,73   | 86,51     | 523,57          |         |
| 11 <sup>n</sup> | 7,029        | 44,142           | 0,142 | 0,38  | 98,17     | 11,7            | 0,00   | 86,51     | 0,12            |         |
| 12 <sup>n</sup> | 7,552        | 47,427           | 0,132 | 0,15  | 98,32     | 4,55            | 0,00   | 86,51     | 0,14            |         |
|                 |              |                  |       |       |           | SRSS            | 396,56 |           | SRSS            | 2129,51 |
|                 |              |                  |       |       |           | CQC             | 404,24 |           | CQC             | 2904,38 |

**Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης σε X,Y διεύθυνση μοντέλου 18-A**

| Αρ. Ιδιομορφής  | f (cycles/s) | $\omega$ (rad/s) | T (s)   | X (%) | SUM X (%) | Base Shear (kN) | Y (%)  | SUM Y (%) | Base Shear (kN) |         |
|-----------------|--------------|------------------|---------|-------|-----------|-----------------|--------|-----------|-----------------|---------|
| 1 <sup>n</sup>  | 0,2984       | 1,874            | 3,35099 | 65,22 | 65,22     | 147,61          | 0      | 0         | 0               |         |
| 2 <sup>n</sup>  | 1,1276       | 7,081            | 0,88684 | 21,48 | 86,7      | 307,55          | 0,05   | 0,05      | 0,76            |         |
| 3 <sup>n</sup>  | 1,7759       | 11,153           | 0,5631  | 0,01  | 86,71     | 0,29            | 48,66  | 48,71     | 1185,29         |         |
| 4 <sup>n</sup>  | 1,9855       | 12,469           | 0,50366 | 0,00  | 86,71     | 0,04            | 5,40   | 54,11     | 147,03          |         |
| 5 <sup>n</sup>  | 2,0101       | 12,623           | 0,49749 | 0,01  | 86,72     | 0,17            | 1,89   | 56        | 52,14           |         |
| 6 <sup>n</sup>  | 2,0183       | 12,675           | 0,49547 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,84   | 56,84     | 23,21           |         |
| 7 <sup>n</sup>  | 2,0216       | 12,696           | 0,49465 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,61   | 57,45     | 16,92           |         |
| 8 <sup>n</sup>  | 2,0236       | 12,708           | 0,49417 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,21   | 57,66     | 5,96            |         |
| 9 <sup>n</sup>  | 2,0247       | 12,715           | 0,4939  | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,16   | 57,82     | 4,45            |         |
| 10 <sup>n</sup> | 2,0254       | 12,72            | 0,49372 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,12   | 57,94     | 3,43            |         |
| 11 <sup>n</sup> | 2,0258       | 12,722           | 0,49363 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,10   | 58,04     | 2,85            |         |
| 12 <sup>n</sup> | 2,0262       | 12,724           | 0,49354 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,05   | 58,09     | 1,39            |         |
| 13 <sup>n</sup> | 2,0264       | 12,726           | 0,49349 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,09   | 58,18     | 2,44            |         |
| 14 <sup>n</sup> | 2,0265       | 12,726           | 0,49346 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,03   | 58,21     | 0,71            |         |
| 15 <sup>n</sup> | 2,0266       | 12,727           | 0,49343 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,07   | 58,28     | 1,88            |         |
| 16 <sup>n</sup> | 2,0268       | 12,729           | 0,49338 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,02   | 58,3      | 0,67            |         |
| 17 <sup>n</sup> | 2,0270       | 12,729           | 0,49335 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,04   | 58,34     | 0,97            |         |
| 18 <sup>n</sup> | 2,0272       | 12,731           | 0,49330 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,03   | 58,37     | 0,82            |         |
| 19 <sup>n</sup> | 2,02725      | 12,731           | 0,49328 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,04   | 58,41     | 1,21            |         |
| 20 <sup>n</sup> | 2,0274       | 12,732           | 0,49324 | 0,00  | 86,72     | 0,00            | 0,01   | 58,42     | 0,4             |         |
| 21 <sup>n</sup> | 2,3075       | 14,491           | 0,43337 | 6,14  | 92,86     | 181,66          | 0,00   | 58,42     | 0               |         |
| 22 <sup>n</sup> | 2,7470       | 17,251           | 0,36404 | 0,01  | 92,87     | 0,45            | 0,02   | 58,44     | 0,65            |         |
| 23 <sup>n</sup> | 3,0659       | 19,254           | 0,32617 | 0,00  | 92,87     | 0,01            | 23,73  | 82,17     | 1002,46         |         |
| 24 <sup>n</sup> | 3,4872       | 21,900           | 0,28676 | 2,67  | 95,54     | 84,64           | 0,06   | 82,23     | 2,91            |         |
|                 |              |                  |         |       |           | SRSS            | 395,65 |           | SRSS            | 1560,48 |
|                 |              |                  |         |       |           | CQC             | 400,28 |           | CQC             | 1686,79 |

**Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης σε X,Y διεύθυνση μοντέλου 18-B**

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.1, 5.2 παρατηρείται ότι κατά την ιδιομορφική φασματική ανάλυση τα επίπεδα μοντέλα 18-A και 18-B έχουν διαφορετικές φυσικές ιδιοπεριόδους λόγω της διαφορετικής συμπεριφοράς τους στον κάθετο σεισμό.

#### Ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά την οριζόντια διεύθυνση Χ

Στο μοντέλο 18-A κατά την οριζόντια διεύθυνση Χ ανάλυσης έχουμε στην 3<sup>η</sup> ιδιομορφή ενσωμάτωση μάζας  $XMASS_A = 92.64\%$ , ενώ στο μοντέλο A έχουμε την ίδια ενσωμάτωση μάζας  $XMASS_B = 92.86\%$  στην 21<sup>η</sup> ιδιομορφή. Παρόλο όμως που έχουν σε διαφορετικές ιδιομορφές την ίδια ενσωμάτωση μάζας, οι φυσικοί ιδιοπερίοδοι κατά τους οποίους ενεργοποιούνται οι σημαντικές ιδιομορφές, με απειροελάχιστες αυξομειώσεις ταυτίζονται. Δηλαδή:

$$T_{1A} = 3.356s \quad XMASS = 64.83\% \quad F_b = 145.66 \text{ kN}$$

$$T_{1B} = 3.351s \quad XMASS = 65.22\% \quad F_b = 145.61 \text{ kN}$$

$$T_{2A} = 0.897s \quad XMASS = 21.65\% \quad F_b = 306.09 \text{ kN}$$

$$T_{2B} = 0.887s \quad XMASS = 21.48\% \quad F_b = 307.55 \text{ kN}$$

$$T_{3A} = 0.438s \quad XMASS = 6.16\% \quad F_b = 180.17 \text{ kN}$$

$$T_{21B} = 0.433s \quad XMASS = 6.14\% \quad F_b = 181.66 \text{ kN}$$

Οι πολύ μικρές διαφορές στις τέμνουσες βάσεις έγκειται στο γεγονός ότι λόγω των πολύ μικρών διαφορών στις τιμές των ιδιοπεριόδων, χρησιμοποιούνται διαφορετικές επιταχύνσεις  $S_e(T)$  στο φάσμα ελαστικής απόκρισης.

Η ομοιότητα των τιμών οφείλεται στο γεγονός ότι παρόλο την ύπαρξη επιπλέον κόμβων στο μοντέλο 18-B, η συμπεριφορά των κόμβων στον οριζόντιο σεισμό και πιο συγκεκριμένα στις πλευρικές δυνάμεις είναι ακριβώς ίδια. Δηλαδή, οι κόμβοι πραγματοποιούν τις ίδιες μετατοπίσεις αφού έχουν την ίδια δυνατότητα μετατόπισης κατά τον Χ άξονα. Αυτό αποδεικνύεται στα παρακάτω σχήματα, που είναι αποτελέσματα της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής :



**Σχήμα 5.1: Αξονικές δυνάμεις  $N_E$  επί των δοκών του 17<sup>ου</sup> ορόφου του μοντέλου 18-A  
(Πηγή: STAAD.Pro)**



**Σχήμα 5.2: Αξονικές δυνάμεις  $N_E$  επί των δοκών του 17<sup>ου</sup> ορόφου του μοντέλου 18-B  
(Πηγή: STAAD.Pro)**

Επίσης σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στους ακραίους κόμβους, υπολογίστηκαν οι μετατοπίσεις της 1<sup>ης</sup> ιδιομορφής στους παρακάτω Πίνακες 5.3, 5.4, όπου επιβεβαιώνεται η παρόμοια συμπεριφορά των μοντέλων :

| 18-A   |                         | 18-B   |                         |
|--------|-------------------------|--------|-------------------------|
| Όροφος | Μετατοπίσεις $u_i$ (mm) | Όροφος | Μετατοπίσεις $u_i$ (mm) |
| 18     | 46,555                  | 18     | 46,882                  |
| 17     | 43,202                  | 17     | 43,515                  |
| 16     | 39,749                  | 16     | 40,045                  |
| 15     | 36,220                  | 15     | 36,498                  |
| 14     | 32,716                  | 14     | 32,974                  |
| 13     | 29,225                  | 13     | 29,462                  |
| 12     | 25,791                  | 12     | 26,007                  |
| 11     | 22,442                  | 11     | 22,635                  |
| 10     | 19,199                  | 10     | 19,368                  |
| 9      | 16,193                  | 9      | 16,340                  |
| 8      | 13,394                  | 8      | 13,519                  |
| 7      | 10,801                  | 7      | 10,904                  |
| 6      | 8,403                   | 6      | 8,485                   |
| 5      | 6,247                   | 5      | 6,310                   |
| 4      | 4,442                   | 4      | 4,489                   |
| 3      | 2,908                   | 3      | 2,939                   |
| 2      | 1,604                   | 2      | 1,621                   |
| 1      | 0,606                   | 1      | 0,613                   |

**Πίνακες 5.3-5.4: Μετατοπίσεις των μοντέλων 18-A, 18-B στην 1<sup>η</sup> ιδιομορφή**

#### Ιδιομορφική φασματική ανάλυση κατά την κάθετη διεύθυνση Y

Τα μοντέλα 18-A, 18-B ταλαντώνεται με διαφορετικό τρόπο στον κάθετο σεισμό. Έχουν διαφορετικούς ιδιοπεριόδους T και η ενσωμάτωση της μάζας γίνεται με διαφορετικό ρυθμό. Το μοντέλο 18-B συγχρονίζεται πιο εύκολα, δηλαδή ταλαντώνεται πιο εύκολα από το 18-A και ενεργοποιούνται παραπάνω ιδιομορφές σε σημείο όπου κάθε φυσική ιδιοπερίοδος διαφέρει από την προηγούμενη κατά δέκατα του δευτερολέπτου. Αυτό συμβαίνει διότι οι ενδιάμεσοι κόμβοι των κύριων δοκών, έχουν δυνατότητα κάθετης μετακίνησης, ενώ οι δοκοί του μοντέλου 18-A χωρίς ενδιάμεσους κόμβους είναι άκαμπτοι και έχουν δυνατότητα μετατόπισης μόνο στη σύνδεση τους με τα υποστυλώματα. Έτσι ενεργοποιούνται περισσότερες ιδιομορφές με πιο σταδιακό ρυθμό συμμετοχής μάζας στο 18-B. Αυτό διαφαίνεται και από τους Πίνακες 5.1 , 5.2 όπου :

$T_{4A}=0.374s$   $Y_{MASS}=44.66\%$   $F_b=1636.42$  kN  
 $T_{5A}=0.362s$   $Y_{MASS}=29.33\%$   $F_b=1108.84$  kN  
 $T_{9A}=0.152s$   $Y_{MASS}=6.66\%$   $F_b=594.35$  kN  
 $T_{10A}=0.146s$   $Y_{MASS}=5.73\%$   $F_b=523.57$  kN όπου  $Y_{MASS}_{tot}= 86.51\%$

$T_{3B}=0.5631s$   $Y_{MASS}=48.66\%$   $F_b=1185.29$  kN  
 $T_{4B}=0.5036s$   $Y_{MASS}=5.4\%$   $F_b=147.03$  kN  
 $T_{23B}=0.3261s$   $Y_{MASS}=23.73\%$   $F_b=1002.46$  kN όπου  $Y_{MASS}_{tot}= 82.23\%$

Εφόσον οι ιδιομορφές κάθε μοντέλου ενεργοποιούνται σε διαφορετικές ιδιοπεριόδους παρατηρείται και διαφορετική τέμνουσα βάση. Στο μοντέλο 18-B ενεργοποιούνται σε μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους όπου αντιστοιχούν μικρότερες επιταχύνσεις  $S_v(T)$  στο φάσμα απόκρισης, οπότε και μικρότερες τέμνουσες βάσης. Επίσης στο μοντέλο 18-B για να έχουμε ενσωμάτωση μάζας >90% πρέπει να λάβουμε υπόψιν τουλάχιστον 70 ιδιομορφές, σε αντίθεση με το 18-A που στην 10<sup>η</sup> ιδιομορφή έχει ήδη συνολική ενσωμάτωση μάζας  $Y_{MASS}_{tot}= 86.51\%$ .

Για να κατανοηθεί καλύτερα η συμπεριφορά των μοντέλων στον κάθετο σεισμό θα πρέπει να μελετήσουμε τα εντατικά μεγέθη μιας σημαντικής ιδιομορφής στο καθένα. Επιλέγονται οι πιο σημαντικές, με την μεγαλύτερη συμμετοχή μάζας. Σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα παρατηρείται:



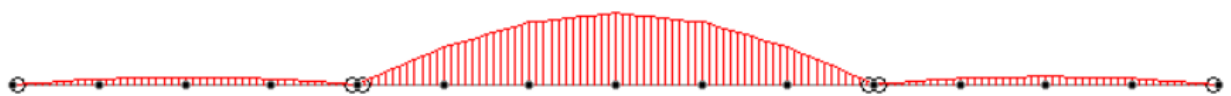
**Σχήμα 5.3:** Αξονικές δυνάμεις  $N_E$  (4<sup>η</sup>ς ιδιομ.) επί των δοκών του 17<sup>ου</sup> ορόφου του μοντέλου 18-A (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 5.4:** Καμπτικές δυνάμεις  $M_E$  (4<sup>η</sup>ς ιδιομ.) επί των δοκών του 17<sup>ου</sup> ορόφου του μοντέλου 18-A (Πηγή: STAAD.Pro)

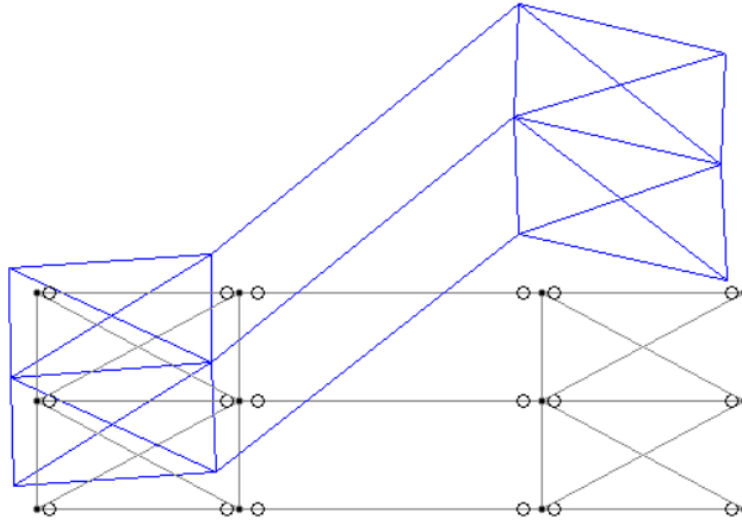


**Σχήμα 5.5:** Αξονικές δυνάμεις  $N_E$  (3<sup>η</sup>ς ιδιομ.) επί των δοκών του 17<sup>ου</sup> ορόφου του μοντέλου 18-B (Πηγή: STAAD.Pro)

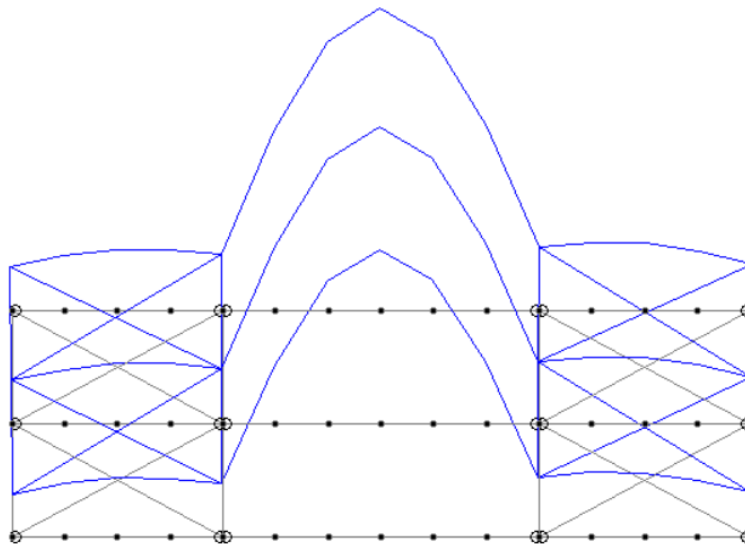


**Σχήμα 5.6:** Καμπτικές δυνάμεις  $M_E$  (3<sup>η</sup>ς ιδιομ.) επί των δοκών του 17<sup>ου</sup> ορόφου του μοντέλου 18-B (Πηγή: STAAD.Pro)

Επίσης, η συμπεριφορά των μελών και οι δυνάμεις που δημιουργούνται μπορούν να κατανοηθούν καλύτερα, παρατηρώντας τις δημιουργούμενες ιδιομορφές στα σχήματα 5.7, 5.8:



**Σχήμα 5.7:** Σχήμα 4<sup>ης</sup> ιδιομορφής στους ορόφους 16-18 του μοντέλου 18-A (Πηγή: STAAD.Pro)



**Σχήμα 5.8:** Σχήμα 3<sup>ης</sup> ιδιομορφής στους ορόφους 16-18 του μοντέλου 18-B (Πηγή: STAAD.Pro)

Γενικότερα, η διαφορετική συμπεριφορά των δοκών των μοντέλων τύπου A,B οφείλεται στους εξής λόγους:

- Οι κύριες δοκοί στα μοντέλα τύπου A (χωρίς ενδιάμεσους κόμβους) δεν μπορούν να ταλαντωθούν (vibrate) κατά τη σεισμική διέγερση σε αντίθεση με τα μοντέλα τύπου B (με ενδιάμεσους κόμβους).

- Η ισορροπία των δυνάμεων εκτελείται σε κάθε κόμβο. Στα μοντέλα τύπου A η μάζα μοιράζεται στους κόμβους των υποστυλωμάτων καθώς δεν έχει ενδιάμεσους κόμβους, ενώ στα μοντέλα τύπου B η μάζα μοιράζεται σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο που έχουν δυνατότητα μετακίνησης.
- Τα εντατικά μεγέθη εξαρτώνται και από το σχήμα της κάθε ιδιομορφής, το οποίο εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων και από την δυνατότητα μετακίνησης κάθε κόμβου και την διεύθυνση της φόρτισης.

Για τους παραπάνω λόγους παρατηρείται ότι στα μοντέλα τύπου A, οι σεισμικές δράσεις προκαλούν μόνο αξονικές δυνάμεις και καθόλου καμπτικές, ενώ στα μοντέλα τύπου B παρατηρούνται ότι πέραν των αξονικών δυνάμεων, στις ενδιάμεσες δοκούς δημιουργούνται ροπές. Να σημειωθεί ότι τα μοντέλα τύπου B αντικατοπτρίζουν την μοντελοποίηση της πραγματικής κατασκευής, καθώς οι ενδιάμεσοι κόμβοι αποτελούν τα σημεία σύνδεσης των δευτερευουσών δοκών.



## **6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Σε πρώτο στάδιο κατά την ιδιομορφική φασματική ανάλυση σε οριζόντιο σεισμό σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Κεφ.4, παρατηρείται ότι το 5-όροφο επίπεδο μοντέλο επηρεάζεται από μεγάλες επιταχύνσεις  $S_e(T)$  εξαιτίας των μικρών ιδιοπεριόδων  $T$  στις σημαντικές ιδιομορφές που προκύπτουν από την υψηλή του ακαμψία του. Αποτέλεσμα των υψηλών επιταχύνσεων  $S_e(T)$  είναι η δημιουργία μεγάλων τεμνουσών βάσης.

Σε αντίθεση τα υψηλά επίπεδα μοντέλα δηλαδή το 18-όροφο και το 36-όροφο μοντέλο χαρακτηρίζονται από μεγάλες ιδιοπεριόδους με αποτέλεσμα να επηρεάζονται από μικρότερες τιμές επιτάχυνσης  $S_e(T)$  στο φάσμα απόκρισης και έτσι δημιουργούνται μικρότερες τέμνουσες βάσης. Αυτό είναι απόρροια όσο πιο ψηλή γίνεται μια κατασκευή αποκτά χαρακτηριστικά λεπτόκορμης κατασκευής, δηλαδή γίνεται πιο εύκαμπτη και επηρεάζεται από μεγάλες μετατοπίσεις.

Σε δεύτερο στάδιο παρατηρήθηκε ότι παρόλο που επιλέχθηκαν συγκεκριμένα μέλη των δύσκαμπτων πλαισίων να λειτουργήσουν μόνο σε εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις (6.7.2(2)P EC8) κατά την διάρκεια της σεισμικής ανάλυσης, σε ανώτερες ιδιομορφές λειτουργούσαν και σε θλίψη. Εδώ διαφαίνεται η αδυναμία της γραμμικής ελαστικής ανάλυσης που παρόλο που μετατρέπεται σε ψευδοπλαστική με την εισαγωγή του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  δεν επαρκεί ώστε να προβλέψει την πραγματική συμπεριφορά των μελών και η μη-γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας για τέτοιες περιπτώσεις κρίνεται αναγκαία, ιδιαίτερα για υψηλά κτίρια που επηρεάζονται από περισσότερες σημαντικές ιδιομορφές.

Σε τρίτο στάδιο διαφαίνεται το πεδίο εφαρμογής των μεθόδων συνδυασμών ιδιομορφικών συνδυασμών SRSS και CQC. Τα αποτελέσματα τους συμπίπτουν για ιδιομορφές όπου οι ιδιοπεριόδοι τους είναι ανεξάρτητες και ισχύει ο περιορισμός  $T_j \leq 0.9 T_i$ , ενώ σε αντίθετη περίπτωση τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων έχουν μεγάλες αποκλίσεις. Σύμφωνα με επίσης με τον εμπνευστή της μεθόδου CQC, Edward L. Wilson, η μέθοδος CQC λαμβάνει υπόψιν το πρόσημο των σεισμικών δυνάμεων στα στάδια υπολογισμού, πράγμα που δεν ισχύει στην μέθοδο SRSS. Η θεωρία αυτή αποδεικνύεται κατά τον υπολογισμό του μητρώου  $R_{ij}\chi_{rij}$  σύμφωνα με το τρόπο επίλυσης του παραδείγματος στη παρ. 4.4 της παρούσας εργασίας, πράγμα πολύ σημαντικό για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Γενικότερα, όμως εφόσον η μέθοδος SRSS αποτελεί μια προέκταση της CQC, καθώς όταν ο συντελεστής συσχέτισης γίνεται ή πλησιάζει τιμές  $\rho_{ij}=1$  η μέθοδος CQC μετατρέπεται σε SRSS, θα μπορούσε ο μηχανικός να χρησιμοποιεί μόνο την CQC για τους υπολογισμούς των μεγεθών.

Επίσης, σύμφωνα με τις προτροπές της SEAOC και του Edward L. Wilson, πρέπει να μελετώνται ξεχωριστά όλες οι σημαντικές ιδιομορφές κατασκευής κατά το στάδιο της ιδιομορφικής φασματικής ανάλυσης για να έχουμε πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς της κατασκευής. Αυτό είναι συνέπεια του γεγονότος ότι οι μέγιστες αποκρίσεις δεν συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή και όταν τις συνδυάζουμε με τις μεθόδους CQC και SRSS χάνουμε το πρόσημο των τιμών των μεγεθών καθώς χρησιμοποιούμε στατιστικές

μεθόδους οπότε χάνεται το πρόσημο. Ουσιαστικά, προσεγγίζουμε στατιστικά τον τρόπο που θα αλληλοεπιδράσει η κάθε ιδιομορφή σε σχέση με την άλλη, εξετάζοντας μόνο το κατά πόσο είναι διαχωρισμένες οι περιόδους των ιδιομορφών.

Εδώ διακρίνεται η χρησιμότητα της επιλογής IMR ( Individual Modal Response) του προγράμματος STAAD.Pro που υπολογίζει για κάθε ιδιομορφή όλες τις τιμές των μεγεθών και κρατάει και το πρόσημο τους, παρουσιάζοντας την κατανομή τους και γραφικά. Οι λόγοι για τη μελέτη κάθε σημαντικής ιδιομορφής μεμονωμένα είναι ότι οι δυνάμεις και οι μετατοπίσεις βρίσκονται σε ισορροπία και γνωρίζουμε τα πρόσημα τους. Επίσης η ταλάντωση της κατασκευής θα αποκτήσει τα χαρακτηριστικά της κυρίαρχης ιδιομορφής, που είναι αυτή που ενεργοποιεί την μεγαλύτερη σεισμική μάζα.

Παράλληλα η IMR μας επιτρέπει να κάνουμε συνδυασμούς φορτίσεων με τα φορτία βαρύτητας της και διαμέσου αυτής της μεθόδου μπορούν να αναλυθούν οι δυνάμεις, μετατοπίσεις και άλλα μεγέθη ώστε να σχεδιαστούν μέλη τη κατασκευής με μία ιδιομορφή ή συνδυασμό ιδιομορφών.

Σε τέταρτο στάδιο παρατηρήθηκαν ότι οι συνολικές τέμνουσες βάσεις των μοντέλων που σχηματίστηκαν κατά την σεισμική ανάλυση σε κάθετο σεισμό ήταν πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του οριζόντιου σεισμού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μοντέλα επηρεάζονταν σε κάθετο σεισμό, κυρίως σε χαμηλές ιδιοσυχνότητες όπου αντιστοιχούν σε μεγάλες επιταχύνσεις  $S_v(T)$ . Επίσης χρησιμοποιείται πολύ χαμηλότερος συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  ( $=1.5$  για κάθετο σεισμό) σε σχέση με τον οριζόντιο σεισμό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός και με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης στο Κεφ.4, ότι τα δομικά μέλη που επηρεάζονται περισσότερο κατά τον κάθετο σεισμό είναι τα υποστυλώματα όπου επιδιώκουμε να έχουν μια ελαστική συμπεριφορά, αν όχι πολύ μικρές παραμορφώσεις, καθώς η αστοχία ενός υποστυλώματος μπορεί να κοστίζει όλη την κατασκευή.

Σε τελευταίο στάδιο στα πλαίσια της σύγκρισης της σεισμικής συμπεριφοράς των μοντέλων χωρίς ενδιάμεσους κόμβους στα ανοίγματα των δοκών (Τύπου Α) και με ενδιάμεσους κόμβους (Τύπου Β), παρατηρήθηκε παρόμοια συμπεριφορά σε οριζόντιο σεισμό και διαφορετική συμπεριφορά σε κάθετο σεισμό. Στον οριζόντιο σεισμό οι κόμβοι των μελών και στους δύο τύπους έχουν την ίδια δυνατότητα μετατόπισης στον οριζόντιο άξονα όπου βέβαια έχουμε σχετικά πολύ μικρές διαφορές στις δυνάμεις των μελών, εφόσον δεν ταυτίζονται απολύτως οι τιμές επιτάχυνσης  $S_e(T)$  που χρησιμοποιούνται συνέπεια των μικρών διαφορών στις σημαντικές χαρακτηριστικές ιδιοπεριόδους  $T$ .

Στον κάθετο σεισμό οι κόμβοι μετατοπίζονται με διαφορετικό τρόπο. Στα μοντέλα τύπου Β οι ενδιάμεσοι κόμβοι των κύριων δοκών, έχουν δυνατότητα κάθετης μετακίνησης, ενώ οι δοκοί του μοντέλου 18-Α χωρίς ενδιάμεσους κόμβους είναι άκαμπτες και έχουν δυνατότητα μετατόπισης μόνο στη σύνδεση τους με τα υποστυλώματα. Ειδικότερα, εφόσον η ισορροπία των δυνάμεων εκτελείται σε κάθε κόμβο και σύμφωνα με την κατανομή της μάζας που έγινε κατά μήκος των δοκών, στα μοντέλα τύπου Α η μάζα

μοιράζεται στους κόμβους των υποστυλωμάτων καθώς δεν έχει ενδιάμεσους κόμβους, ενώ στα μοντέλα τύπου Β η μάζα μοιράζεται σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στα μοντέλα τύπου Β να ταλαντώνονται κυρίως οι δοκοί και να δημιουργούνται και δυνάμεις ροπών σε αντίθεση με τα μοντέλα τύπου Α όπου δημιουργούνται μόνο αξονικές δυνάμεις.

Τέλος να αναφερθεί ότι η παρούσα εργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υπόβαθρο για περαιτέρω έρευνα στη δυναμική συμπεριφορά των μεταλλικών κτιρίων (και όχι μόνο), σε επίπεδο μεταπτυχιακής και διδακτορικής διατριβής. Σε επόμενο στάδιο της μελέτης, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας στα ίδια μοντέλα (5Α, 5Β, 18Α, 18Β, 36Α, 36Β) και να συγκριθούν οι παραγόμενες δυνάμεις των προεπιλεγμένων μελών με τις δυνάμεις που υπολογίστηκαν διαμέσου των μεθόδων συνδυασμού ιδιομορφικών αποκρίσεων SRSS, CQC και IMRC της παρούσας μελέτης. Παράλληλα θα μπορούσαν να συγκριθούν και τα αποτελέσματα των μεθόδων SRSS, CQC και IMRC μεταξύ τους με κριτήριο το κατά πόσον οι τιμές τους πλησιάζουν αυτές της μη γραμμικής ανάλυσης χρονοϊστορίας έτσι ώστε να κριθεί η ακρίβεια τους.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Ψυχάρης Γ. Ν., "Σημειώσεις αντισεισμικής τεχνολογίας", Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2016
2. Παπαλεοντίου Χ., "Seismic design of steel buildings to Eurocode 8", Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2015
3. EN1998-1:2004, "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance", Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels, 2014
4. Structural Engineers Association of California (SEAOC), "Recommended Lateral Force Requirements and Commentary", Seismology Committee, 7<sup>th</sup> Edition, California, 1999
5. Edward L. Wilson, "Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures", 2nd edition, Computers and Structures Inc., California, 1998
6. Edward L. Wilson, A. Der Kiureghian and E. R. Bayo, "A Replacement for the SRSS Method in Seismic Analysis", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 9, pp. 187-192
7. Manual, Technical Reference, "STAAD.Pro", STAAD.Pro V8i Select Series 4 (SS4), Bentley Software Inc., Nov. 2012
8. Mario Paz, "International Handbook of Earthquake Engineering: Codes, Programs, and Examples", 1994 edition, Springer, Feb. 1995
9. Edward L. Wilson, "Termination of the Response Spectrum Method (RSM)", July 2015
10. EN1993-1:2005, "Eurocode 3: Design of Steel Structures", Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2014
11. BS EN1990:2002, "Eurocode 0: Basis of Structural Design", Issue 1, Vol. 3, Brussels, 2014
12. EN1991-1-1:2002, "Eurocode 1: Actions on Structures", Part 1-1: General actions-Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2001
13. American Institute of Steel Construction Inc. (AISC), Rafael Sabelli and Dasse Design Inc., "Seismic Braced Frames: Design, concepts and connections", Chicago, IL, July 2006

14. Tien T. Lan, "*Space frame structures*", Handbook of Structural Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition, Institute of Building Structures, Chinese Academy of Building Research, Beijing, China, 1997