

Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel

Steel RTD

*Project carried out with a financial grant of the
Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel*

Deliverable 3.1

Translations of technical sheets and working examples

Technical Group
TGS 8 “Steel products and applications for buildings, construction and industry”

STEEL-EARTH: Steel-based applications in earthquake-prone areas

Project Acronym	STEEL-EARTH
Grant Agreement Number:	Contract N° RFS2-CT-2014-00022
Coordinator:	Silvia Caprili, University of Pisa
Authors:	All partners – see inside for specific contributions
Start Date:	01/07/2014
Ed Date:	31/12/2015

DESIGN OF STEEL CONCRETE COMMERCIAL BUILDINGS BRACED BY PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE WALL SYSTEMS ALSO COUPLED WITH ENHANCED DISSIPATIVE SYSTEMS

WORKING EXAMPLE

Loris Bianco, Roberta Mallardo, Pietro Filipuzzi (Ferriere Nord S.p.A)

1. Εισαγωγή

Οι παρακάτω παράγραφοι περιγράφουν τη συνεισφορά της Ferriere Nord SpA (FeNO) στο ερευνητικό έργο *Precasteel* σε σχέση με την εφαρμογή σε συγκεκριμένες περιπτώσεις της διαδικασίας προδιαστασιολόγησης που περιγράφεται εκτενώς στο “STEEL-EARTH project - WP1 – Τεχνικό φυλλάδιο”.

Στη συνέχεια παρατίθεται μια σύνοψη των κύριων χαρακτηριστικών των δυο επιλεγμένων Εμπορικών Κτιρίων, με τα κυριότερα αποτελέσματα της προδιαστασιολόγησης για τα προκατασκευασμένα τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος (Ο/Σ) διπλής πλάκας ως εναλλακτικό σύστημα συνδέσμων.

2. Μελέτη περίπτωσης n°1 (τοιχώματα απόσβεσης Ο/Σ)

Πρόκειται για ένα διώροφο Εμπορικό Κτίριο, που καλύπτει μια επιφάνεια για κάθε όροφο (βλέπε Σχήμα 1) ίση με:

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 50 = 1800 \text{ m}^2$$

Καταρχήν, τα κινητά φορτία που εφαρμόζονται στα Εμπορικά Κτίρια είναι:

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κανονικό κινητό φορτίο, στον πρώτο όροφο})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κινητό φορτίο χιονιού, στο δεύτερο όροφο})$$

Το επίπεδο σεισμικότητας (PGA, μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) είναι:

$$a_g = 0.32 \text{ g} \quad (\text{περιοχή υψηλής σεισμικότητας})$$

Η κατανομή των φορτίων ορόφου, σε σχέση με τον αριθμό των ορόφων και τη φύση των δράσεων (σεισμικές), είναι τύπου “C”.

Η κατηγορία πλαστιμότητας της κατασκευής είναι “ΚΠΥ” για κατασκευές απόσβεσης υπό κυκλικά φορτία λόγω σεισμού.

Μια σωστή εκτίμηση του συντελεστή συμπεριφοράς “q” της κατασκευής βασίζεται στην κατηγορία πλαστιμότητας και τις γεωμετρικές ιδιότητες του τοιχώματος Ο/Σ (ύψος ορόφου, πλάτος, πάχος):

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{ύψος μεταξύ ορόφων})$$

$$B = 6.00 \text{ m} \quad (\text{πλάτος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{πάχος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

έπειτα, σύμφωνα με τις διατάξεις του *Ευρωκώδικα 8*, ο συντελεστής συμπεριφοράς λαμβάνεται:

$$q = 3.56 \quad (\text{συντελεστής συμπεριφοράς})$$

Φιλτράροντας τη βάση δεδομένων για τα διατημητικά οριζόντια φορτία (σεισμός, άνεμος) κάθε 250 kN, η καλύτερη εφαρμογή ενός συστήματος τοιχωμάτων απόσβεσης Ο/Σ επιτυγχάνεται για:

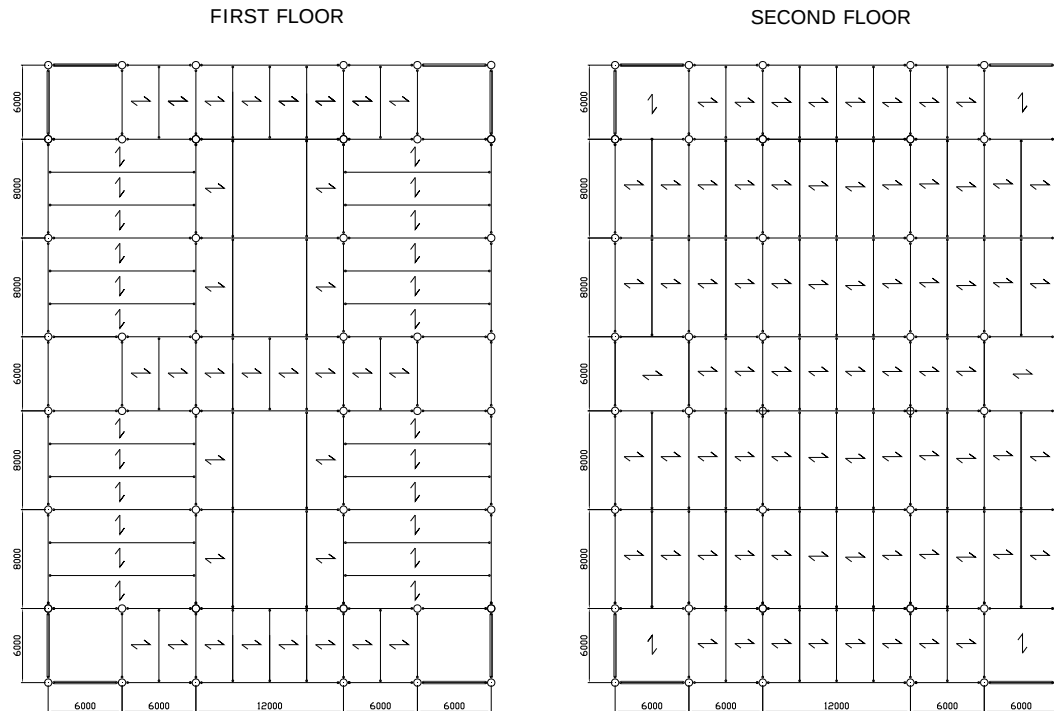
$$V_b = 1250 \text{ kN} \quad (\text{τέμνουσα βάση για ένα μεμονωμένο τοίχωμα Ο/Σ})$$

που σχετίζεται με μια επιφάνεια επιρροής τοιχώματος ίση με:

$$A_{\text{wall}} = 444 \text{ m}^2$$

Τέλος, ο αριθμός των τοιχωμάτων απόσβεσης Ο/Σ σε κάθε όροφο και διεύθυνση (X, Y) είναι:

$$n_{\text{wall}} = A_{\text{CBs}} / A_{\text{wall}} = 1800 / 444 \approx 4$$



Σχήμα 1: Μελέτη περίπτωσης n°1 (τοιχώματα απόσβεσης Ο/Σ).

Παρακάτω παρατίθενται σύντομα, σύμφωνα με τις συστάσεις του Ευρωκώδικα 2 και του Ευρωκώδικα 8, όλες οι κύριες παράμετροι σχεδιασμού και οι προτάσεις επαλήθευσης για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας, των συστημάτων τοιχωμάτων Ο/Σ.

Ιδιότητες υλικών:

σκυρόδεμα C30/37 ($R_{ck}=37 \text{ MPa}$; $f_{ck}=30 \text{ MPa}$; $f_{cd}=15.94 \text{ MPa}$)

χάλυβας B450C ($f_{yk}=450 \text{ MPa}$; $f_{tk}=540 \text{ MPa}$; $f_{yd}=391 \text{ MPa}$)

Γεωμετρικές ιδιότητες:

$s = 0.25 \text{ m}$ (πάχος αντίστασης τοιχώματος Ο/Σ)

$B = 6.00 \text{ m}$ (πλάτος τοιχώματος)

$H = 5.00 \text{ m}$ (ύψος τοιχωμάτων μεταξύ ορόφων)

Δράσεις και επαληθεύσεις (Οριακή Κατάσταση Αστοχίας) για το σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ:

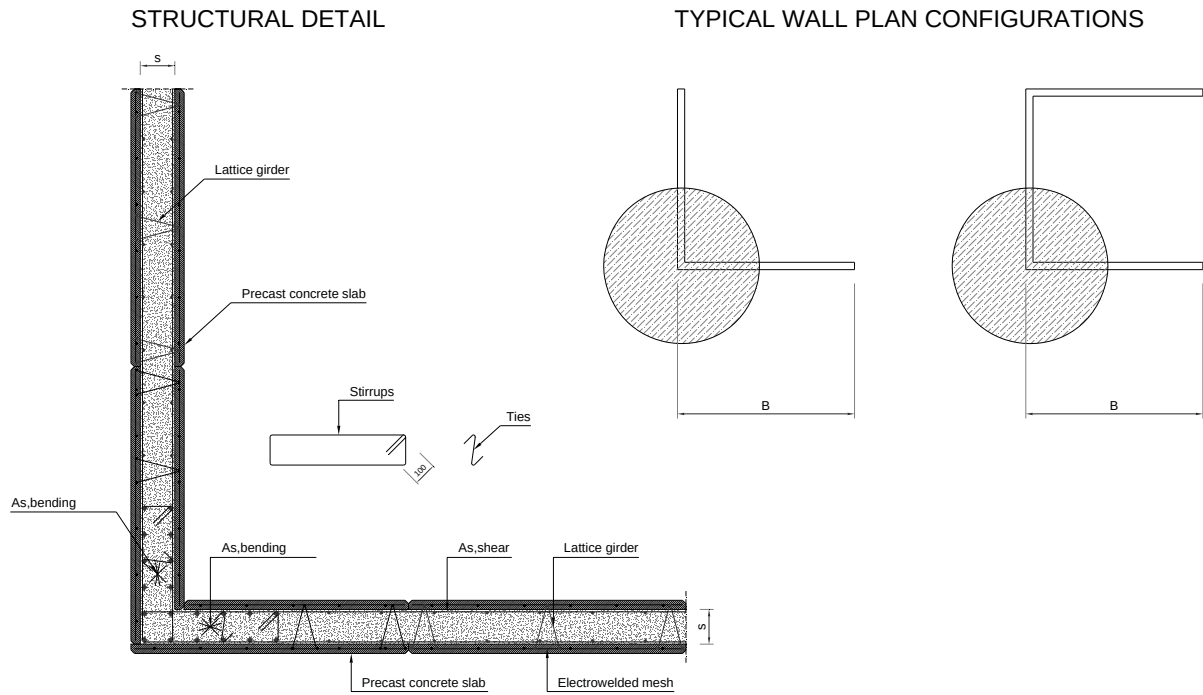
Ροπή κάμψης: $M_{Ed} = (0.38 \cdot 1250) \cdot 5.00 + (0.62 \cdot 1250) \cdot 10.00 = 10125 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 11524 \text{ kNm}$

Διατμητική δύναμη: $V_{Ed} = 1.5 \cdot V_b = 1875 \text{ kN} \leq V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 1889 \text{ kN}$

Οι παραπάνω προτάσεις επαλήθευσης στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας αναφέρονται στις λεπτομέρειες οπλισής και συνδετήρων που παρουσιάζονται στα ακόλουθα τεχνικά σχέδια (βλέπε Σχήμα 2), με:

$A_{s,bending} = 11+11\varnothing 14$ (κρίσιμη περιοχή, περισφιγμένη ζώνη $l_c = 0.15 \cdot B = 0.90 \text{ m}$)

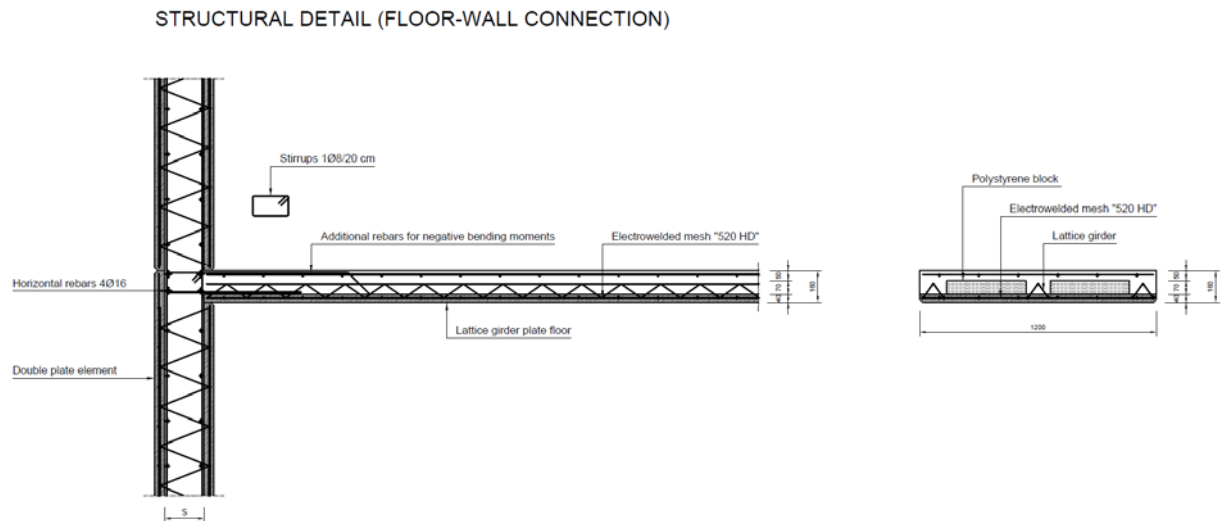
$A_{s,shear} = 1\varnothing 8/10\text{cm}$



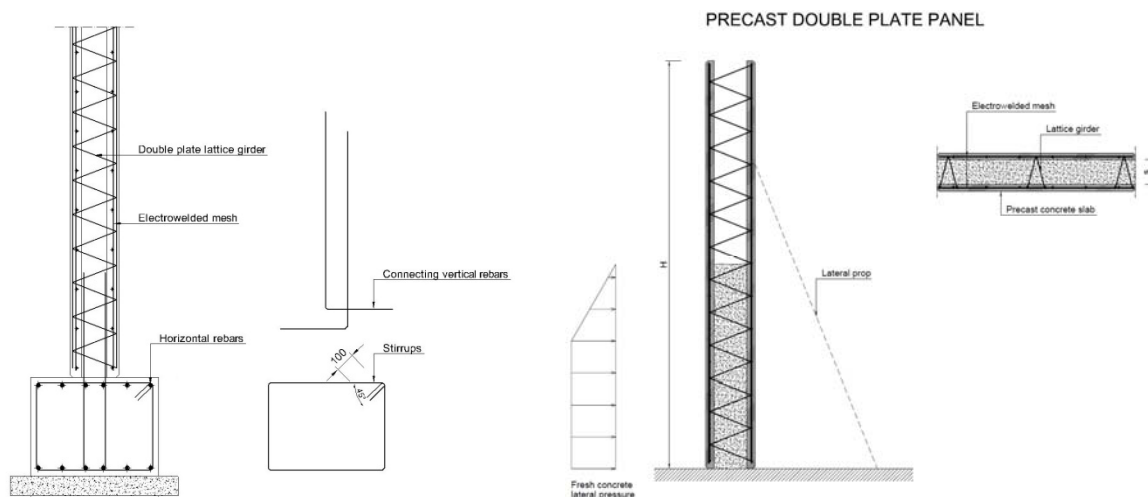
Σχήμα 2: Τυπική γωνιακή κατασκευαστική λεπτομέρεια για τοίχωμα Ο/Σ ως σύστημα συνδέσμων και συνήθεις διατάξεις σε κάτοψη.

Επίσης, οι ακόλουθες εικόνες περιγράφουν τυπικές κατασκευαστικές διατάξεις για το σύστημα διατμητικών τοιχωμάτων Ο/Σ:

- Κατασκευαστική λεπτομέρεια της σύνδεσης μεταξύ τοιχώματος Ο/Σ και προκατασκευασμένου δαπέδου Ο/Σ (βλέπε Σχήμα 3);
- Κατασκευαστική λεπτομέρεια της σύνδεσης μεταξύ τοιχώματος Ο/Σ και της θεμελίωσής του (βλέπε Σχήμα 4).



Σχήμα 3: Τυπική κατασκευαστική λεπτομέρεια σύνδεσης μεταξύ τοιχώματος Ο/Σ και προκατασκευασμένου δαπέδου Ο/Σ (κατακόρυφη τομή).

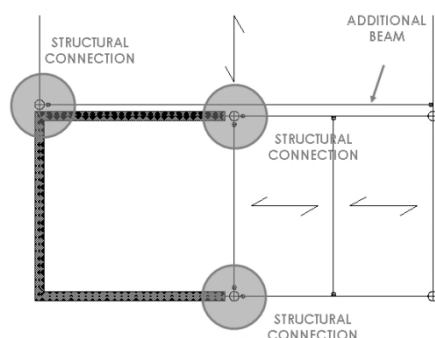


Σχήμα 4: Τυπική κατασκευαστική λεπτομέρεια σύνδεσης μεταξύ τοιχώματος Ο/Σ και της θεμελίωσής του (κατακόρυφη τομή).

Αναφορικά με τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες των συνδέσεων μεταξύ της κύριας μεταλλικής κατασκευής (δοκοί, υποστυλώματα) και των τοιχωμάτων Ο/Σ, δυο είναι οι πιθανές εκδοχές:

Σύνδεση με διαχωρισμό οριζόντιων και κατακόρυφων φορτίων

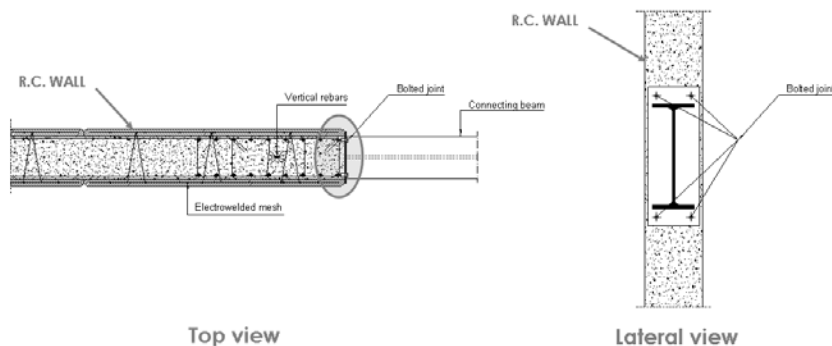
Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται μια πρόσθετη βοηθητική δοκός που θα μεταφέρει τα φορτία βαρύτητας προς τα κύρια μεταλλικά υποστυλώματα, ώστε να μπορούν να συνδεθούν τα τοιχώματα Ο/Σ στο μεταλλικό πλαίσιο διαχωρίζοντας τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία (βλέπε Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Τυπική σύνδεση μεταξύ μεταλλικής κατασκευής και τοιχωμάτων Ο/Σ, με διαχωρισμό οριζόντιων και κατακόρυφων φορτίων (κάτοψη).

Σύνδεση για οριζόντια και κατακόρυφα φορτία μαζί

Σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτείται πρόσθετη βοηθητική δοκός και το τοίχωμα Ο/Σ μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο μεταλλικό πλαίσιο. Τότε, είναι δυνατό τα τοιχώματα να φέρουν ακόμα και κατακόρυφα φορτία χωρίς να διακινδυνεύεται η αντισεισμική συμπεριφορά τους (βλέπε Σχήμα 6).



Σχήμα 6: Τυπική σύνδεση μεταξύ μεταλλικής κατασκευής και τοιχωμάτων Ο/Σ για οριζόντια και κατακόρυφα φορτία μαζί.

Οι συνδέσεις μεταξύ της μεταλλικής κατασκευής (δοκοί, υποστυλώματα) και των τοιχωμάτων Ο/Σ που λειτουργούν ως συστήματα συνδέσμων θα μπορούσαν να υλοποιηθούν εύκολα μέσω χημικών ή μηχανικών αγκυρίων, μετά από την ανέγερση της κατασκευής Ο/Σ. Ένας άλλος τρόπος υλοποίησης των συνδέσεων αυτού του τύπου είναι η κλασική κοχλιωτή σύνδεση, διαμορφωμένη και συμπεριλαμβανόμενη στο καλούπι πριν την έκχυση του σκυροδέματος. Εάν η κύρια κατασκευή είναι μονωμένη μέσω αποσβεστήρων, σε κάθε δάπεδο υπάρχουν ειδικοί μεταλλικοί σύνδεσμοι για να αποφευχθεί η κρούση μεταξύ των συστημάτων των τοιχωμάτων και των δαπέδων.

3. Μελέτη περίπτωσης n°2 (τοιχώματα απόσβεσης Ο/Σ)

Πρόκειται για ένα διώροφο Εμπορικό Κτίριο, που καλύπτει μια επιφάνεια για κάθε όροφο (βλέπε Σχήμα 7) ίσο με:

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 66 = 2376 \text{ m}^2$$

Καταρχήν, τα κινητά φορτία που εφαρμόζονται στα Εμπορικά Κτίρια είναι:

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κανονικό κινητό φορτίο, στον πρώτο όροφο})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κινητό φορτίο χιονιού, στο δεύτερο όροφο})$$

Το επίπεδο σεισμικότητας (PGA, μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) είναι:

$$a_g = 0.32 \text{ g} \quad (\text{περιοχή υψηλής σεισμικότητας})$$

Η κατανομή των φορτίων ορόφου, σε σχέση με τον αριθμό των ορόφων και τη φύση των δράσεων (σεισμικές), είναι τύπου “C”.

Η κατηγορία πλαστιμότητας της κατασκευής είναι “ΚΠΥ” για κατασκευές απόσβεσης υπό κυκλικά φορτία λόγω σεισμού.

Μια σωστή εκτίμηση του συντελεστή συμπεριφοράς “q” της κατασκευής βασίζεται στην κατηγορία πλαστιμότητας και τις γεωμετρικές ιδιότητες του τοιχώματος Ο/Σ (ύψος ορόφου, πλάτος, πάχος):

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{ύψος μεταξύ ορόφων})$$

$$B = 6.00 \text{ m} \quad (\text{πλάτος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{πάχος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

έπειτα, σύμφωνα με τις διατάξεις του *Ευρωκώδικα 8*, ο συντελεστής συμπεριφοράς λαμβάνεται:

$$q = 3.56 \quad (\text{συντελεστής συμπεριφοράς})$$

Φιλτράροντας τη βάση δεδομένων για τα διατημητικά οριζόντια φορτία (σεισμός, άνεμος) κάθε 250 kN, η καλύτερη εφαρμογή ενός συστήματος τοιχωμάτων απόσβεσης Ο/Σ επιτυγχάνεται για:

$$V_b = 1750 \text{ kN} \quad (\text{τέμνουσα βάση για ένα μεμονωμένο τοίχωμα Ο/Σ})$$

που σχετίζεται με μια επιφάνεια επιρροής τοιχώματος ίση με:

$$A_{wall} = 618 \text{ m}^2$$

Τέλος, ο αριθμός των τοιχωμάτων απόσβεσης Ο/Σ σε κάθε όροφο και διεύθυνση (X, Y) είναι:

$$n_{wall} = A_{CBs} / A_{wall} = 2376 / 618 \approx 4$$

Παρακάτω παρατίθενται σύντομα, σύμφωνα με τις συστάσεις του *Ευρωκώδικα 2* και του *Ευρωκώδικα 8*, όλες οι κύριες παράμετροι σχεδιασμού και οι προτάσεις επαλήθευσης για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας, των συστημάτων τοιχωμάτων Ο/Σ.

Ιδιότητες υλικών:

σκυρόδεμα C30/37 ($R_{ck}=37 \text{ MPa}$; $f_{ck}=30 \text{ MPa}$; $f_{cd}=15.94 \text{ MPa}$)

χάλυβας B450C ($f_{yk}=450 \text{ MPa}$; $f_{tk}=540 \text{ MPa}$; $f_{yd}=391 \text{ MPa}$)

Γεωμετρικές ιδιότητες:

$s = 0.25 \text{ m}$ (πάχος αντίστασης τοιχώματος Ο/Σ)

$B = 6.00 \text{ m}$ (πλάτος τοιχώματος)

$H = 5.00 \text{ m}$ (ύψος τοιχωμάτων μεταξύ ορόφων)

Δράσεις και επαληθεύσεις (Οριακή Κατάσταση Αστοχίας) για το σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ:

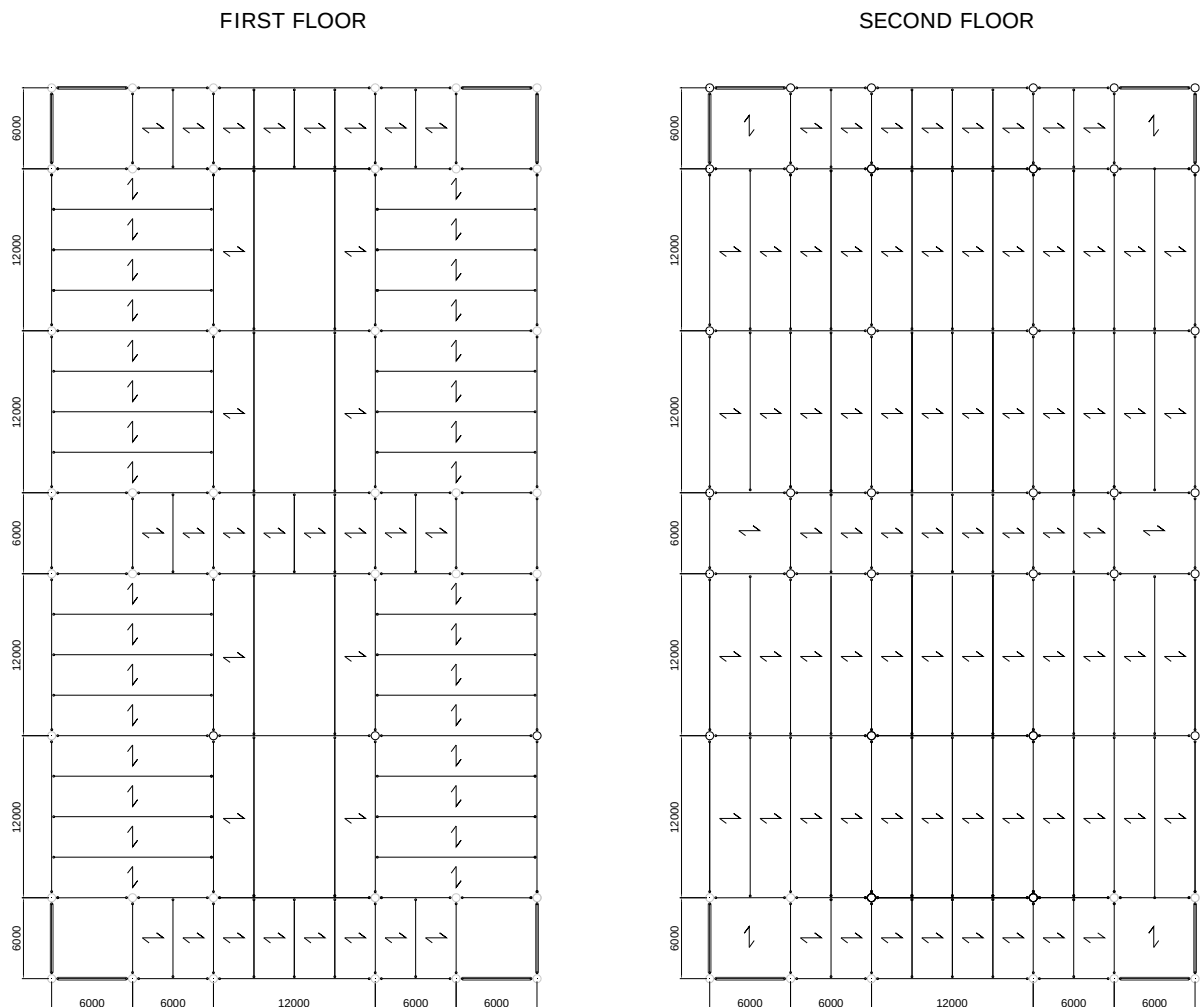
Ροπή κάμψης : $M_{Ed} = (0.38 \cdot 1750) \cdot 5.00 + (0.62 \cdot 1750) \cdot 10.00 = 14175 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 15384 \text{ kNm}$

Διατμητική δύναμη: $V_{Ed} = 1.5 \cdot V_b = 2625 \text{ kN} \leq V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 2699 \text{ kN}$

Οι παραπάνω προτάσεις επαλήθευσης στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας αναφέρονται στις λεπτομέρειες οπλισής και συνδετήρων που παρουσιάζονται στα προηγούμενα ταχνικά σχέδια (βλέπε Σχήμα 2), με:

$A_{s,bending} = 12+12\varnothing 20$ (κρίσιμη περιοχή, περισφιγμένη ζώνη $l_e = 0.15 \cdot B = 0.90 \text{ m}$)

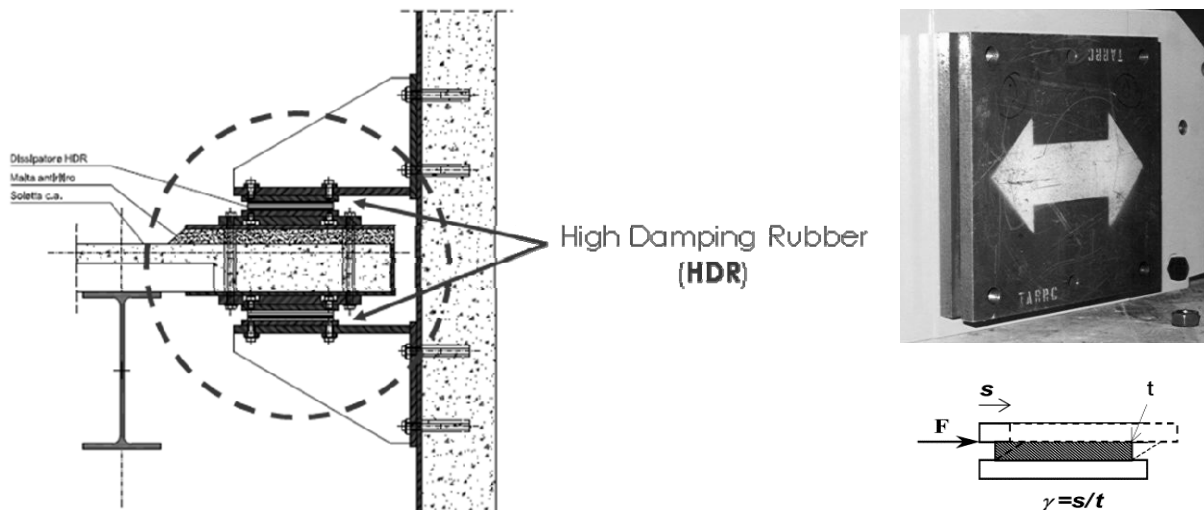
$A_{s,shear} = 1\varnothing 10/10\text{cm}$



Σχήμα 7: Μελέτη περίπτωσης n°2 (τοιχώματα απόσβεσης Ο/Σ).

4. Μελέτη περίπτωσης n°1 (συσκευές απόσβεσης + ελαστικά τοιχώματα Ο/Σ)

Στην παράγραφο αυτή θα εξεταστεί η περίπτωση n°1 θεωρώντας ότι τα τοιχώματα Ο/Σ θα πρέπει να διατηρούν μια ελαστική απόκριση έναντι των οριζόντιων κυκλικών δράσεων (σεισμός) και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας λόγω σεισμού θα πρέπει να απορροφάται από συγκεκριμένες συσκευές ελαστικού υψηλής απόσβεσης HDR (βλέπε Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Συσκευή απόσβεσης συνδεδεμένη στο τοίχωμα Ο/Σ (Ελαστικό υψηλής απόσβεσης -High Damping Rubber).

Πρόκειται για ένα διώροφο Εμπορικό Κτίριο, που καλύπτει μια επιφάνεια για κάθε όροφο (βλέπε Σχήμα 1) ίση με:

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 50 = 1800 \text{ m}^2$$

Καταρχήν, τα κινητά φορτία που εφαρμόζονται στα Εμπορικά Κτίρια είναι:

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κανονικό κινητό φορτίο, στον πρώτο όροφο})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κινητό φορτίο χιονιού, στο δεύτερο όροφο})$$

Το επίπεδο σεισμικότητας (PGA, μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) είναι:

$$a_g = 0.32 \text{ g} \quad (\text{περιοχή υψηλής σεισμικότητας})$$

Η κατανομή των φορτίων ορόφου, σε σχέση με τον αριθμό των ορόφων και τη φύση των δράσεων (σεισμικές), είναι τύπου “C”.

Η κατηγορία πλαστιμότητας της κατασκευής είναι “ΚΠΧ” για κατασκευές Ο/Σ χαμηλής απόσβεσης υπό κυκλικά φορτία λόγω σεισμού.

Οι γεωμετρικές ιδιότητες του τοιχώματος Ο/Σ (ύψος ορόφου, πλάτος, πάχος) είναι:

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{ύψος μεταξύ ορόφων})$$

$$B = 4.50 \text{ m} \quad (\text{πλάτος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{πάχος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής συμπεριφοράς λαμβάνεται:

$$q = 1.00 \quad (\text{συντελεστής συμπεριφοράς, ελαστική κατασκευή})$$

Οι οριζόντιες δυνάμεις στη βάση κάθε ορόφου και για τις δυο διευθύνσεις (X, Y) είναι:

$$F_{X,1} = 280 \text{ kN}$$

$$F_{X,2} = 360 \text{ kN}$$

$$F_{Y,1} = 320 \text{ kN}$$

$$F_{Y,2} = 400 \text{ kN}$$

Στην περίπτωση του τοιχώματος Ο/Σ στη διεύθυνση Υ (σε μεγαλύτερη ένταση από τη διεύθυνση Χ), παρατίθενται παρακάτω εν συντομία, σύμφωνα με τις συστάσεις του *Ευρωκώδικα 2*, όλες οι κύριες παράμετροι σχεδιασμού και οι προτάσεις επαλήθευσης για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας για τα συστήματα τοιχωμάτων Ο/Σ.

Ιδιότητες υλικών:

σκυρόδεμα C30/37 ($R_{ck}=37$ MPa; $f_{ck}=30$ MPa; $f_{cd}=15.94$ MPa)

χάλυβας B450C ($f_{yk}=450$ MPa; $f_{tk}=540$ MPa; $f_{yd}=391$ MPa)

Γεωμετρικές ιδιότητες:

$s = 0.25$ m (πάχος αντίστασης τοιχώματος Ο/Σ)

$B = 4.50$ m (πλάτος τοιχώματος)

$H = 5.00$ m (ύψος τοιχωμάτων μεταξύ ορόφων)

Δράσεις και επαληθεύσεις (Οριακή Κατάσταση Αστοχίας) για το σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ:

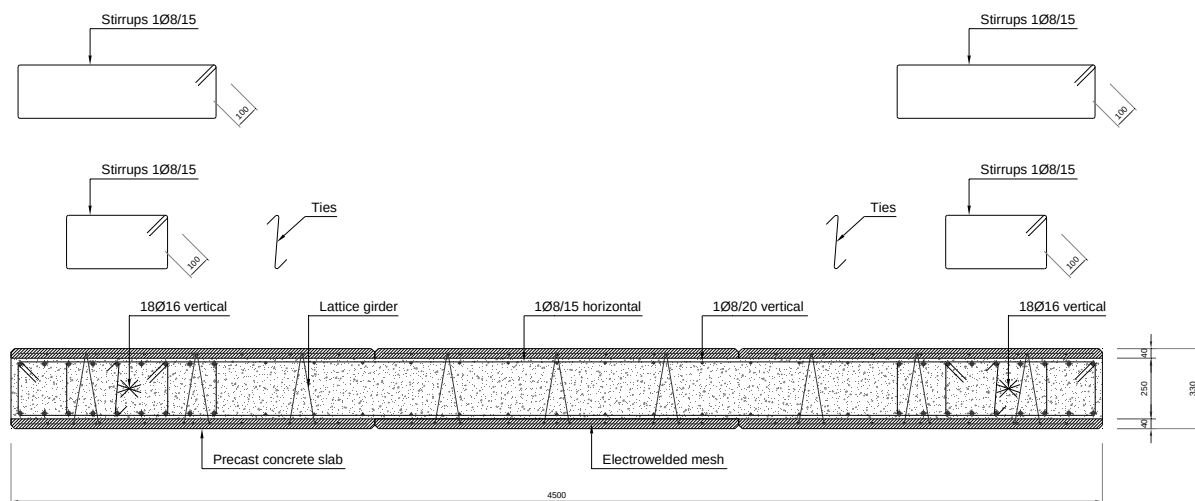
Ροπή κάμψης: $M_{Ed} = 320 \cdot 5.00 + 400 \cdot 10.00 = 5600$ kNm $\square$ $M_{Rd} = 5770$ kNm

Διατμητική δύναμη: $V_{Ed} = V_b = 320 + 400 = 720$ kN $\square$ $V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 944$ kN

Οι παραπάνω προτάσεις επαλήθευσης στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας αναφέρονται στις λεπτομέρειες όπλισης και συνδετήρων που παρουσιάζονται στο ακόλουθο τεχνικό σχέδιο (βλέπε Σχήμα 9), με:

$A_{s,bending} = 9+9\varnothing 16$

$A_{s,shear} = 1\varnothing 8/15\text{cm}$



Σχήμα 9: Τεχνικό σχέδιο για τοίχωμα Ο/Σ (μελέτη περίπτωσης n°1, συσκευές απόσβεσης σε συνδυασμό με τοιχώματα Ο/Σ).

5. Μελέτη περίπτωσης n°3 (σύγκριση μεταξύ συστήματος τοιχωμάτων Ο/Σ του *FeNO* και συστήματος μεταλλικών συνδέσμων του *UniCAM*)

Πρόκειται για ένα διώροφο Εμπορικό Κτίριο, που αναλύθηκε και από το UniCAM ως *λυμένο παράδειγμα* για συστήματα έκκεντρων μεταλλικών συνδέσμων, και καλύπτει μια επιφάνεια για κάθε όροφο ίση με:

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 66 = 2376 \text{ m}^2$$

Καταρχήν, τα κινητά φορτία που εφαρμόζονται στα Εμπορικά Κτίρια είναι:

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κανονικό κινητό φορτίο, στον πρώτο όροφο})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{κινητό φορτίο χιονιού, στο δεύτερο όροφο})$$

Το επίπεδο σεισμικότητας (PGA, μέγιστη εδαφική επιτάχυνση) είναι:

$$a_g = 0.193 \text{ g} \quad (\text{σεισμικότητα της περιοχής του Camerino, Ιταλία})$$

Η κατανομή των φορτίων ορόφου, σε σχέση με τον αριθμό των ορόφων και τη φύση των δράσεων (σεισμικές), είναι τύπου “C”.

Η κατηγορία πλαστιμότητας της κατασκευής είναι “ΚΠΜ” για κατασκευές απόσβεσης υπό κυκλικά φορτία λόγω σεισμού..

Μια σωστή εκτίμηση του συντελεστή συμπεριφοράς “q” της κατασκευής βασίζεται στην κατηγορία πλαστιμότητας και τις γεωμετρικές ιδιότητες του τοιχώματος Ο/Σ (ύψος ορόφου, πλάτος, πάχος):

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{ύψος μεταξύ ορόφων})$$

$$B = 6.00 \text{ m} \quad (\text{πλάτος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{πάχος του τοιχώματος Ο/Σ})$$

έπειτα, σύμφωνα με τις διατάξεις του *Ευρωκώδικα 8*, ο συντελεστής συμπεριφοράς λαμβάνεται:

$$q = 2.67 \quad (\text{συντελεστής συμπεριφοράς})$$

Φιλτράροντας τη βάση δεδομένων του *Precastel* για τα διατμητικά οριζόντια φορτία (σεισμός, άνεμος) κάθε 250 kN, η καλύτερη εφαρμογή ενός συστήματος τοιχωμάτων απόσβεσης Ο/Σ επιτυγχάνεται για:

$$V_b = 1300 \text{ kN} \quad (\text{τέμνουσα βάσης για ένα μεμονωμένο τοίχωμα Ο/Σ})$$

που σχετίζεται με μια επιφάνεια επιρροής τοιχώματος ίση με:

$$A_{\text{wall}} = 606 \text{ m}^2$$

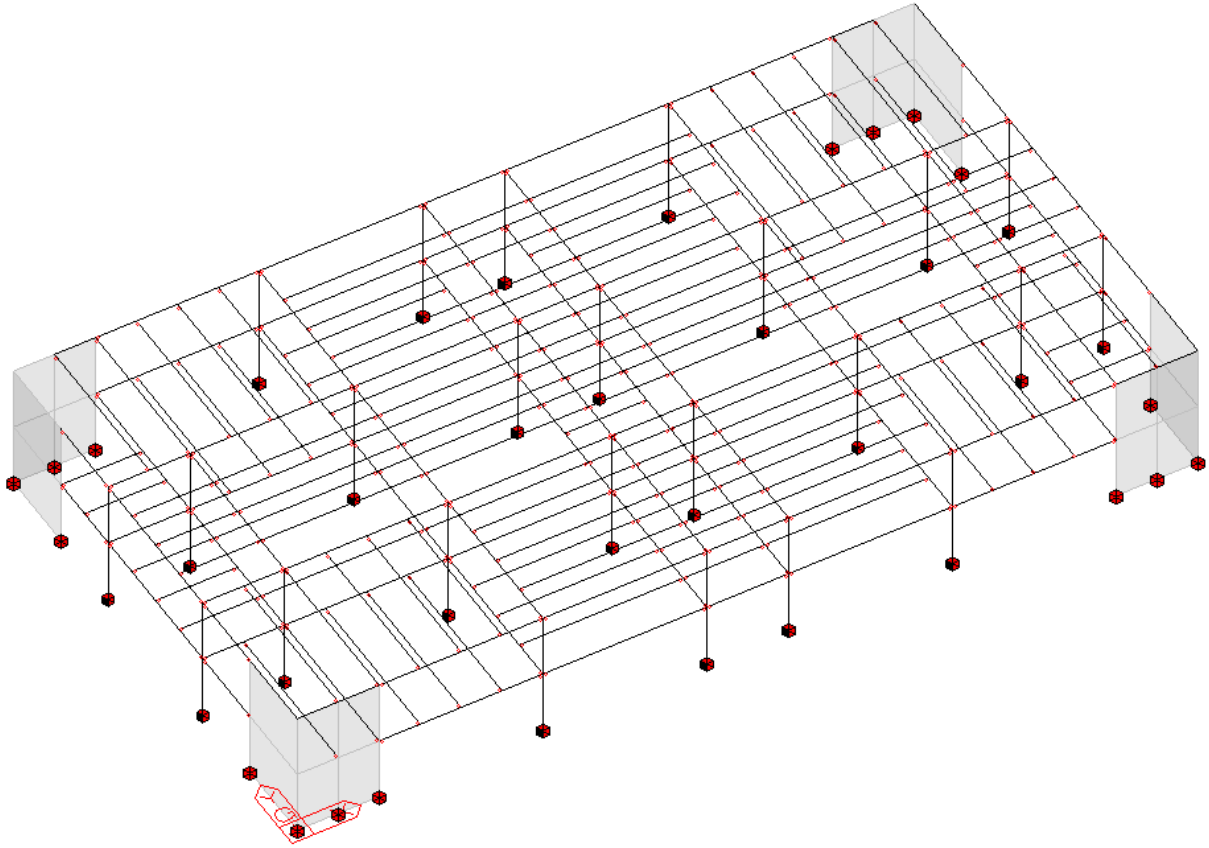
Τέλος, ο αριθμός των τοιχωμάτων απόσβεσης Ο/Σ σε κάθε όροφο και διεύθυνση (X, Y) είναι:

$$n_{\text{wall}} = A_{CBs} / A_{\text{wall}} = 2376 / 606 \approx 4$$

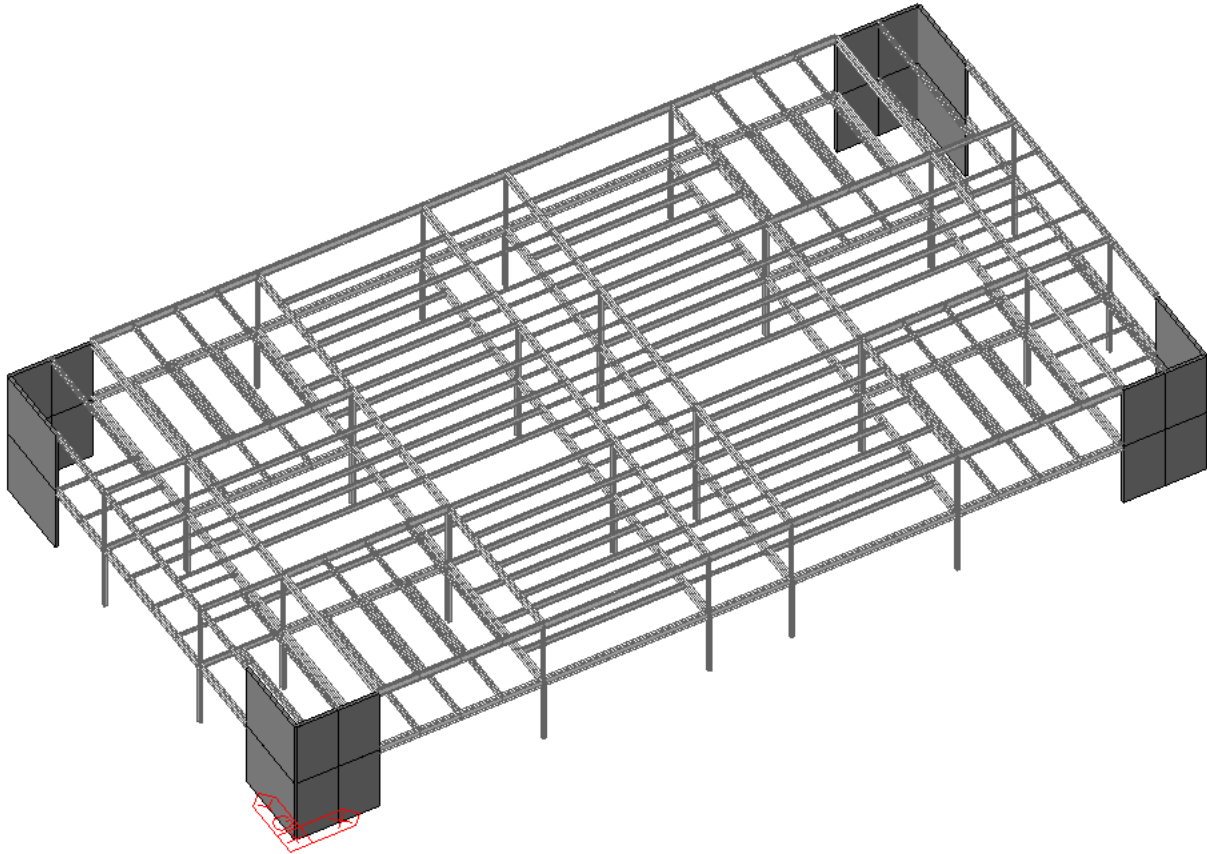
που είναι ίδιος με τον αριθμό της λύσης του UniCAM για αυτό το Εμπορικό Κτίριο, αν και σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να μειώσουμε έως και κατά 50% την έκταση της λύσης των μεταλλικών συνδέσμων (πλάτος $B = 12.00 \text{ m}$ για το παράδειγμα του UniCAM), με σημαντική εξοικονόμηση στο συνολικό κόστος.

Στις ακόλουθες σελίδες παρουσιάζεται εν συντομία το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων, εκτελεσμένο με τον ίδιο τρόπο όπως στο παράδειγμα του UniCAM (εκτός από το σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ αντί για το σύστημα μεταλλικών συνδέσμων), θεωρώντας την ίδια γεωμετρία, συνοριακές συνθήκες και συνθήκες ελευθέρωσης, φορτίσεις και συνδυασμούς φορτίσεων. Παρατηρείται πως η διαδικασία προδιαστασιολόγησης του *Precastel* είναι απόλυτα αξιόπιστη και πως το συγκεκριμένο προσομοίωμα της κατασκευής μπορεί να πιστοποιήσει τη διαδικασία αυτή. Μάλιστα, η εκτίμηση σφάλματος που συνοδεύει τη διαδικασία προδιαστασιολόγησης του *Precastel* δεν αγγίζει το 15%, ποσοστό που περιλαμβάνει όλες τις απλοποιητικές παραδοχές που έγιναν (π.χ. στην περίπτωση των σεισμικών δράσεων: θεώρηση μόνο της πρώτης ιδιομορφής ως αντιπροσωπευτική, επιρροή της τυχαματικής εκκεντρότητας, κλπ.). Είναι επίσης σημαντικό να υπογραμμιστεί ένα άλλο βασικό κατασκευαστικό πλεονέκτημα που εμφανίζουν οι λύσεις των τοιχωμάτων Ο/Σ σε σχέση με τα συστήματα μεταλλικών συνδέσμων: και οι έξι ιδιομορφές ταλάντωσης (βλέπε Σχήμα 16 ÷ Σχήμα 21) είναι απόλυτα κανονικές σε όρους συνιστωσών της

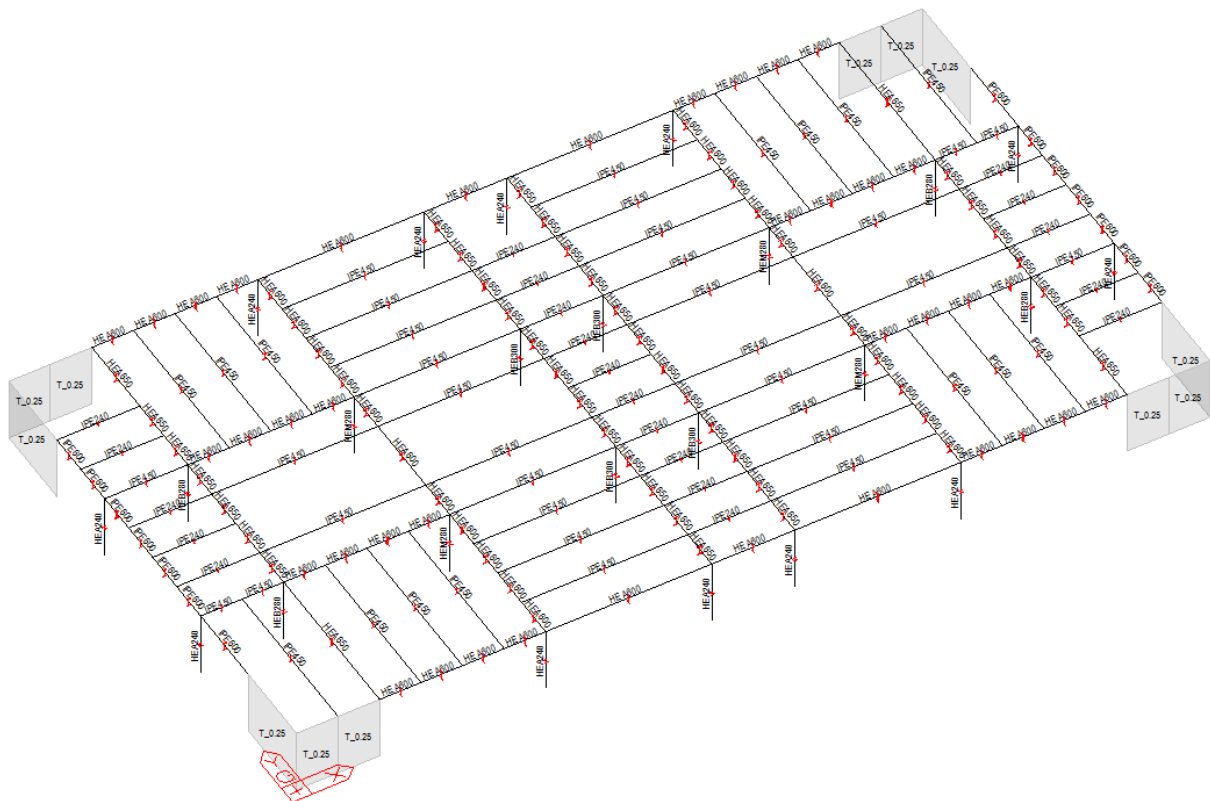
συμμετέχουσας σεισμικής μάζας, αντί για τις λιγότερο κανονικές και υβριδικές ιδιομορφές ταλάντωσης που προκύπτουν από τη λύση του συστήματος μεταλλικών συνδέσμων.



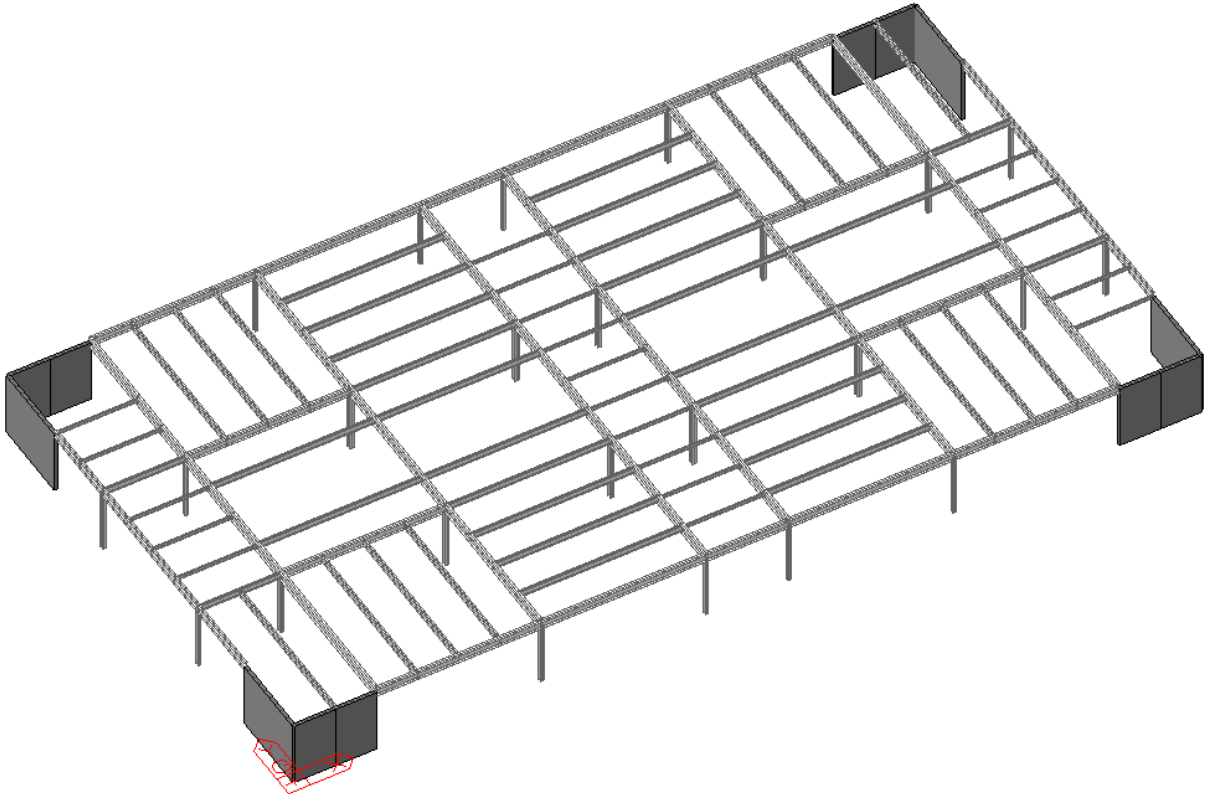
Σχήμα 10: Μελέτη περίπτωσης n°3 (σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ του FeNO για ένα διώροφο Εμπορικό Κτίριο).



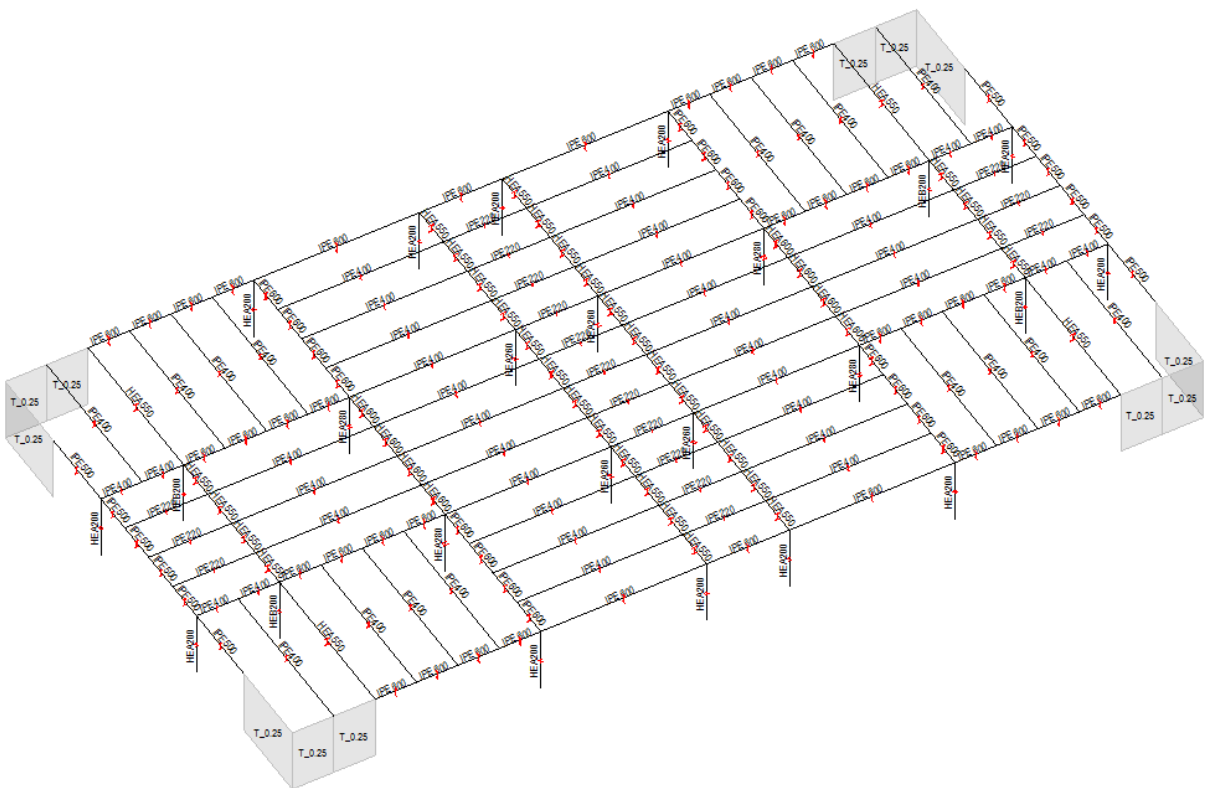
Σχήμα 11: Μελέτη περίπτωσης n°3 (σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ του FeNO για ένα διώροφο Εμπορικό Κτίριο).



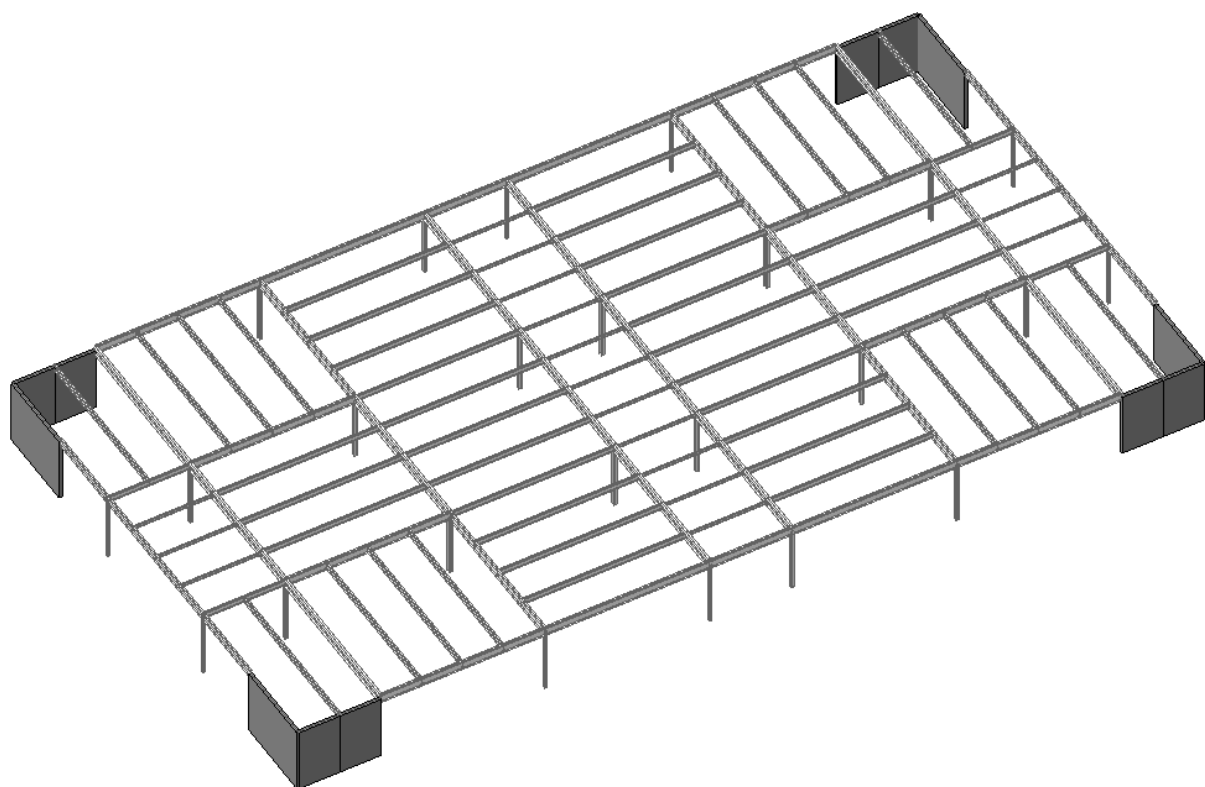
Σχήμα 12: Μελέτη περίπτωσης n°3 (σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ του FeNO – Πρώτος όροφος).



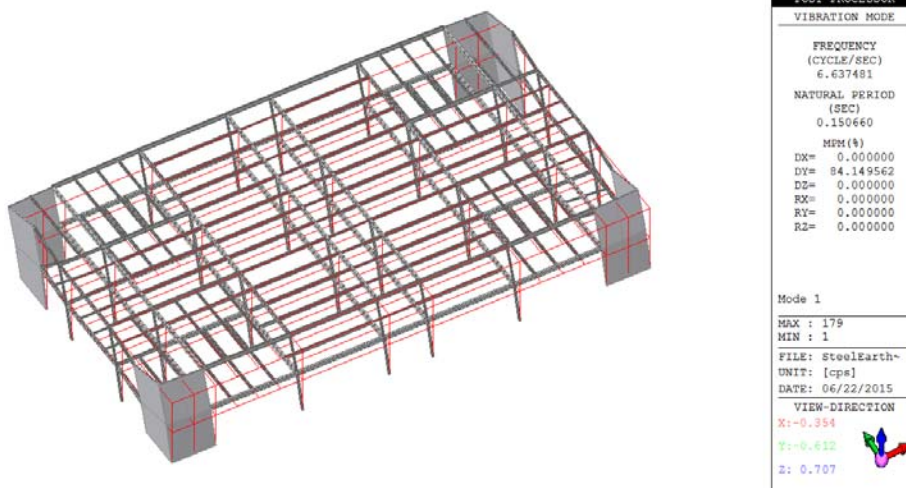
Σχήμα 13: Μελέτη περίπτωσης $n^{\circ}3$ (σύστημα τοιχωμάτων O/Σ του $FeNO$ – Πρώτος όροφος).



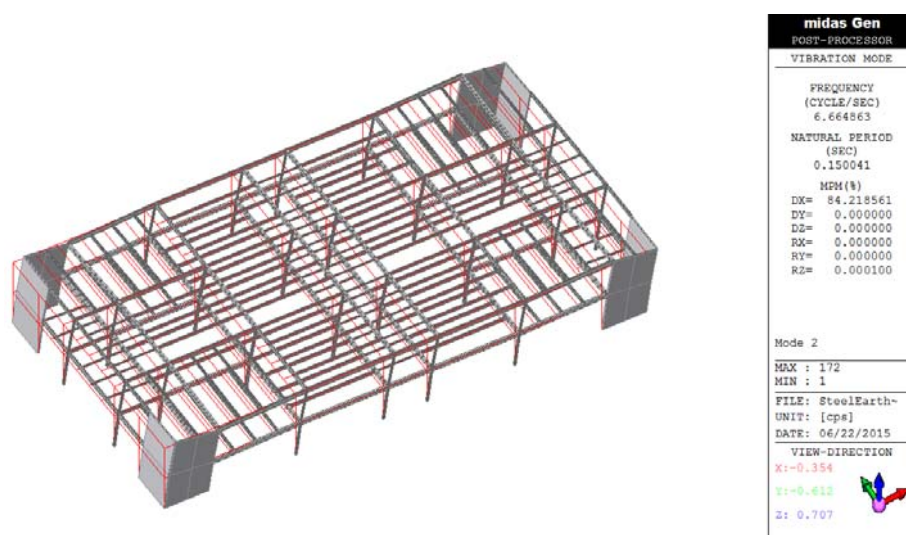
Σχήμα 14: Μελέτη περίπτωσης n°3 (σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ του FeNO – Δεύτερος όροφος).



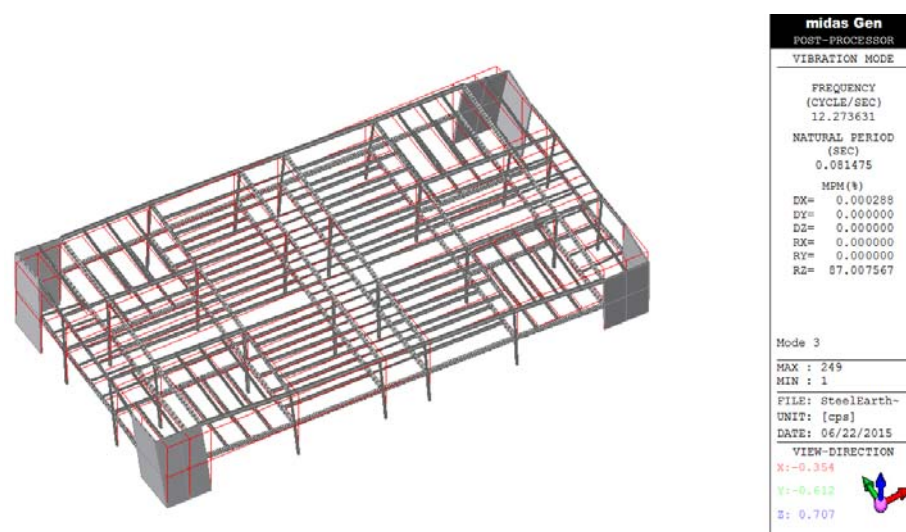
Σχήμα 15: Μελέτη περίπτωσης n°3 (σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ του FeNO – Δεύτερος όροφος).



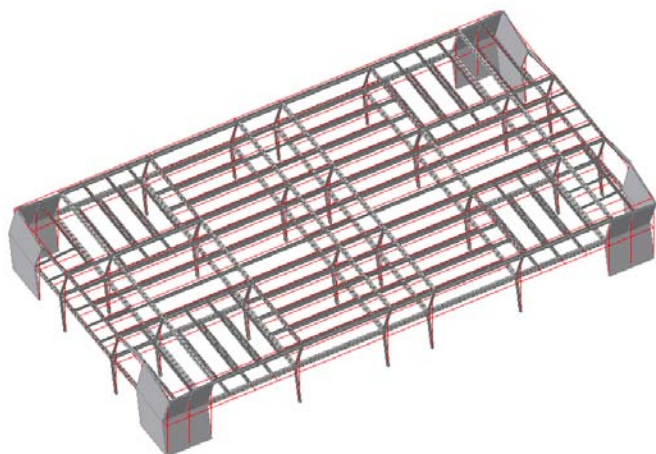
Σχήμα 16: Πρώτη ιδιομορφή ταλάντωσης (μεταφορική Y-διεύθυνση).



Σχήμα 17: Δεύτερη ιδιομορφή ταλάντωσης (μεταφορική X-διεύθυνση).

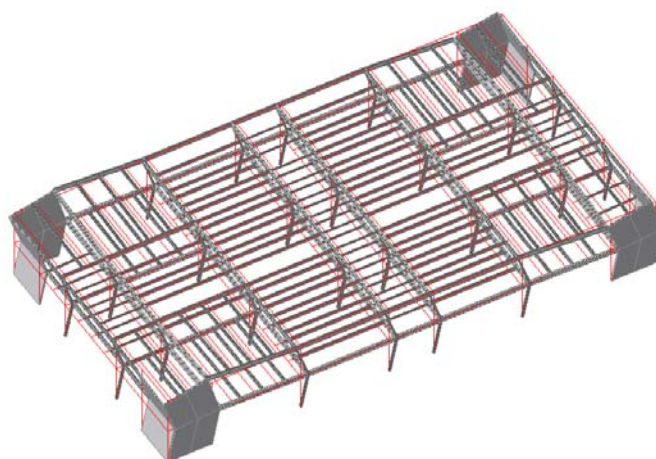


Σχήμα 18: Τρίτη ιδιομορφή ταλάντωσης (στροφική Z-διεύθυνση).



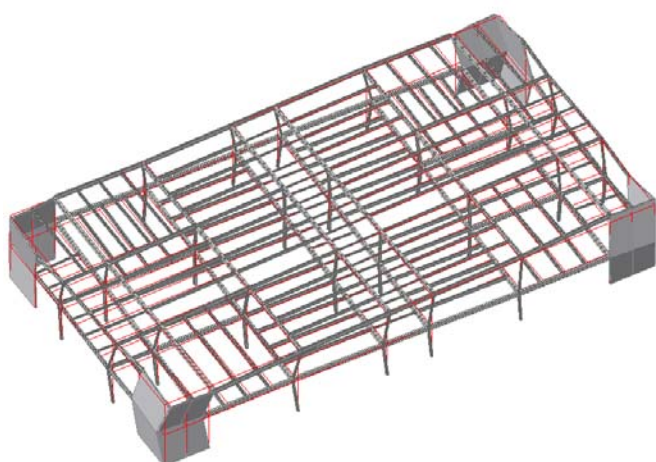
midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY	(CYCLE/SEC)
21.239045	
NATURAL PERIOD	(SEC)
0.047083	
MPH(%)	
DX=	0.000000
DY=	15.850438
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	0.000000
Mode 4	
MAX :	179
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:-0.354	
Y:-0.612	
Z: 0.707	

Σχήμα 19: Τέταρτη ιδιομορφή ταλάντωσης (μεταφορική Y-διεύθυνση).



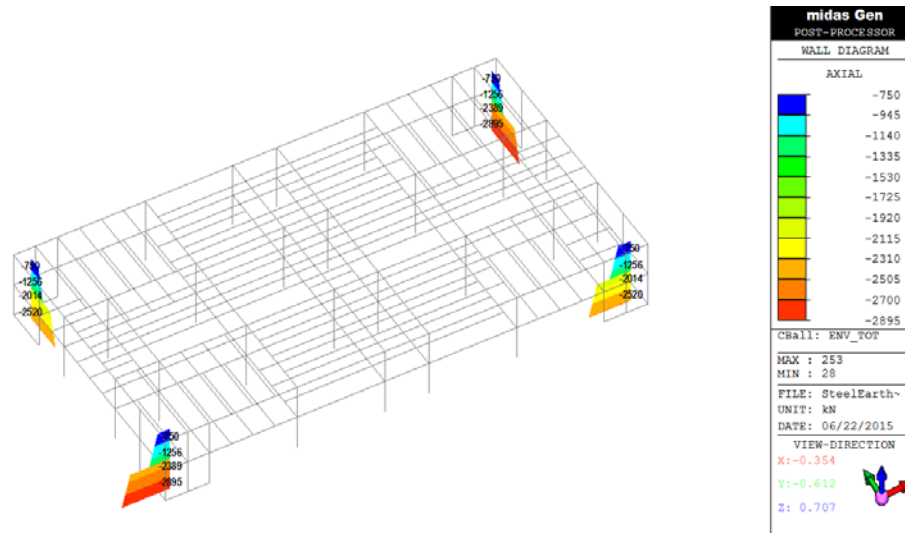
midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY	(CYCLE/SEC)
21.257765	
NATURAL PERIOD	(SEC)
0.047042	
MPH(%)	
DX=	15.780820
DY=	0.000000
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	0.000000
Mode 5	
MAX :	172
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:-0.354	
Y:-0.612	
Z: 0.707	

Σχήμα 20: Πέμπτη ιδιομορφή ταλάντωσης (μεταφορική X-διεύθυνση).

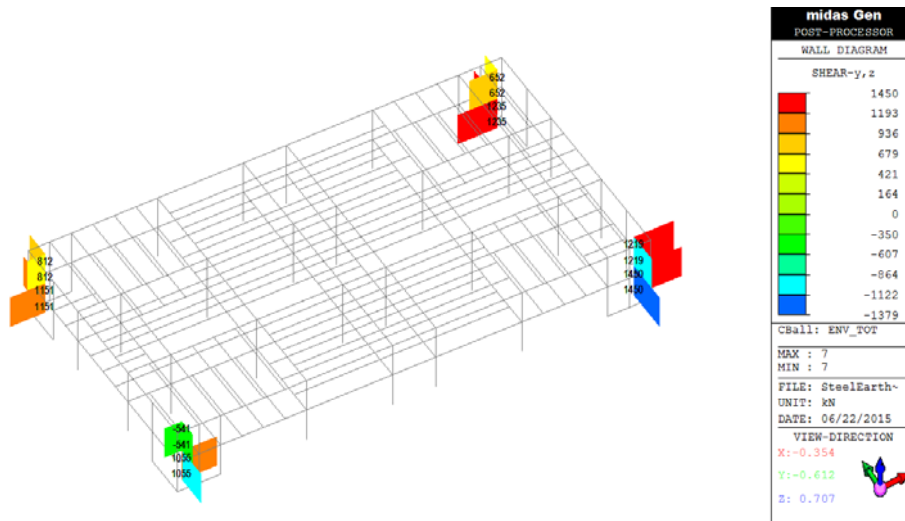


midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY	(CYCLE/SEC)
35.200346	
NATURAL PERIOD	(SEC)
0.028409	
MPH(%)	
DX=	0.000331
DY=	0.000000
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	12.992333
Mode 6	
MAX :	254
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:-0.354	
Y:-0.612	
Z: 0.707	

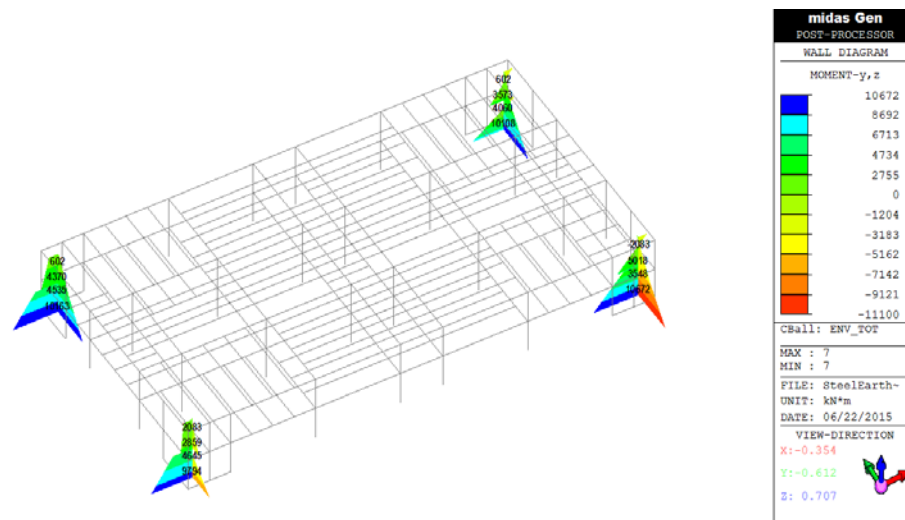
Σχήμα 21: Έκτη ιδιομορφή ταλάντωσης (στροφική Z-διεύθυνση).



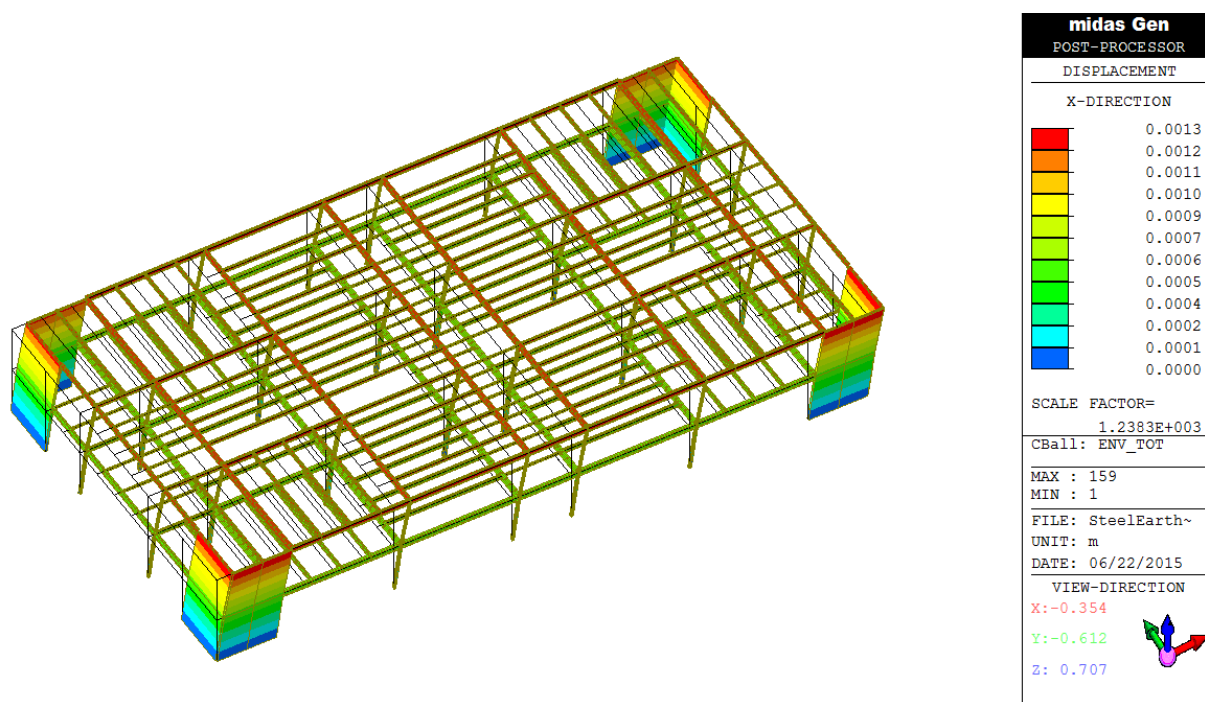
Σχήμα 22: Περιβάλλουσα συνδυασμού φόρτισης για Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (αξονικές δυνάμεις στο σύστημα τοιχωμάτων O/Σ).



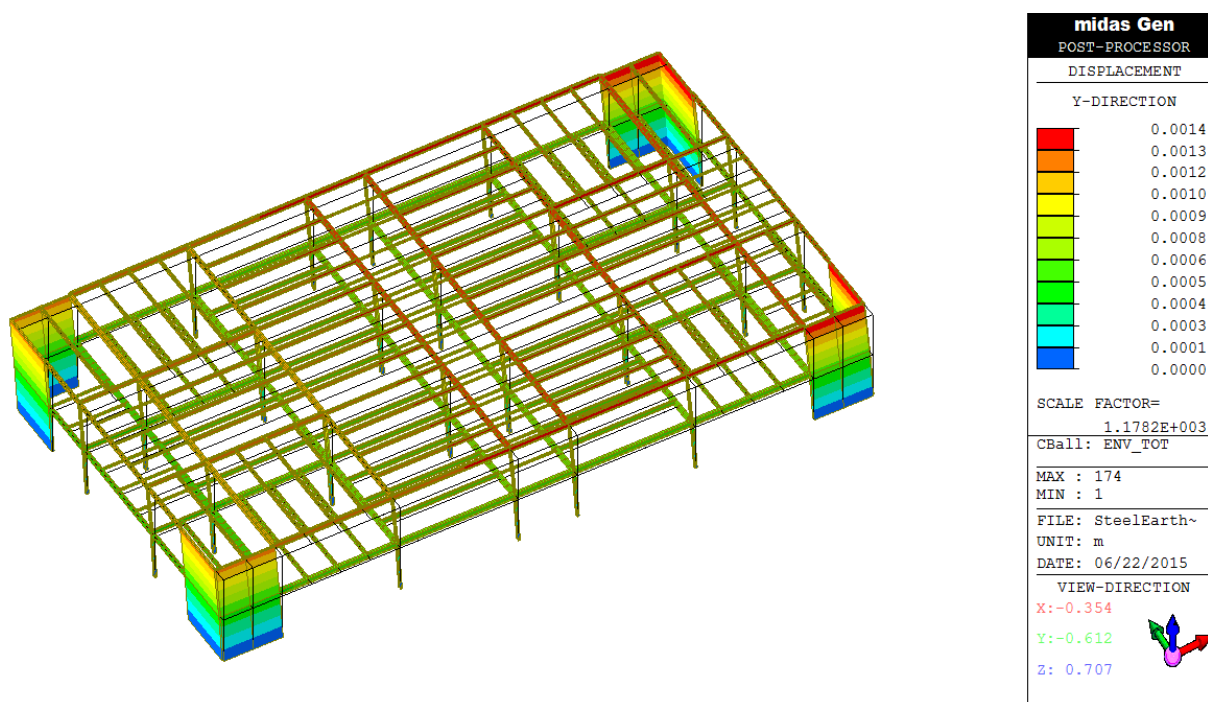
Σχήμα 23: Περιβάλλουσα συνδυασμού φόρτισης για Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (διατμητικές δυνάμεις στο σύστημα τοιχωμάτων O/Σ).



Σχήμα 24 Περιβάλλουσα συνδυασμού φόρτισης για Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ροπή κάμψης στο σύστημα τοιχωμάτων O/Σ)



Σχήμα 25: Περιβάλλουσα συνδυασμού φόρτισης για Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (μετατόπιση στη διεύθυνση X).



Σχήμα 26: Περιβάλλουσα συνδυασμού φόρτισης για Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (μετατόπιση στη διεύθυνση Y).

Παρακάτω παρατίθενται σύντομα, σύμφωνα με τις συστάσεις του *Ευρωκώδικα 2* και του *Ευρωκώδικα 8*, όλες οι κύριες παράμετροι σχεδιασμού και οι προτάσεις επαλήθευσης για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας, των συστημάτων τοιχωμάτων Ο/Σ.

Ιδιότητες υλικών:

σκυρόδεμα C30/37 ($R_{ck}=37$ MPa; $f_{ck}=30$ MPa; $f_{cd}=15.94$ MPa)

χάλυβας B450C ($f_{yk}=450$ MPa; $f_{tk}=540$ MPa; $f_{yd}=391$ MPa)

Γεωμετρικές ιδιότητες:

$s = 0.25$ m (πάχος αντίστασης τοιχώματος Ο/Σ)

$B = 6.00$ m (πλάτος τοιχώματος)

$H = 5.00$ m (ύψος τοιχωμάτων μεταξύ ορόφων)

Δράσεις και επαληθεύσεις (Οριακή Κατάσταση Αστοχίας) για το σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ:

Αξονική δύναμη: $N_{Ed} = 2520$ kN (Σημείωση: η θλιπτική αξονική δύναμη μειώνει έως και 50% το ποσοστό των ράβδων όπλισης σε σχέση με τη διαδικασία προδιαστασιολόγησης του *Precastel*, λόγω της θεώρησης συνδυασμού οριζόντιων και κατακόρυφων δράσεων στο σύστημα τοιχωμάτων Ο/Σ)

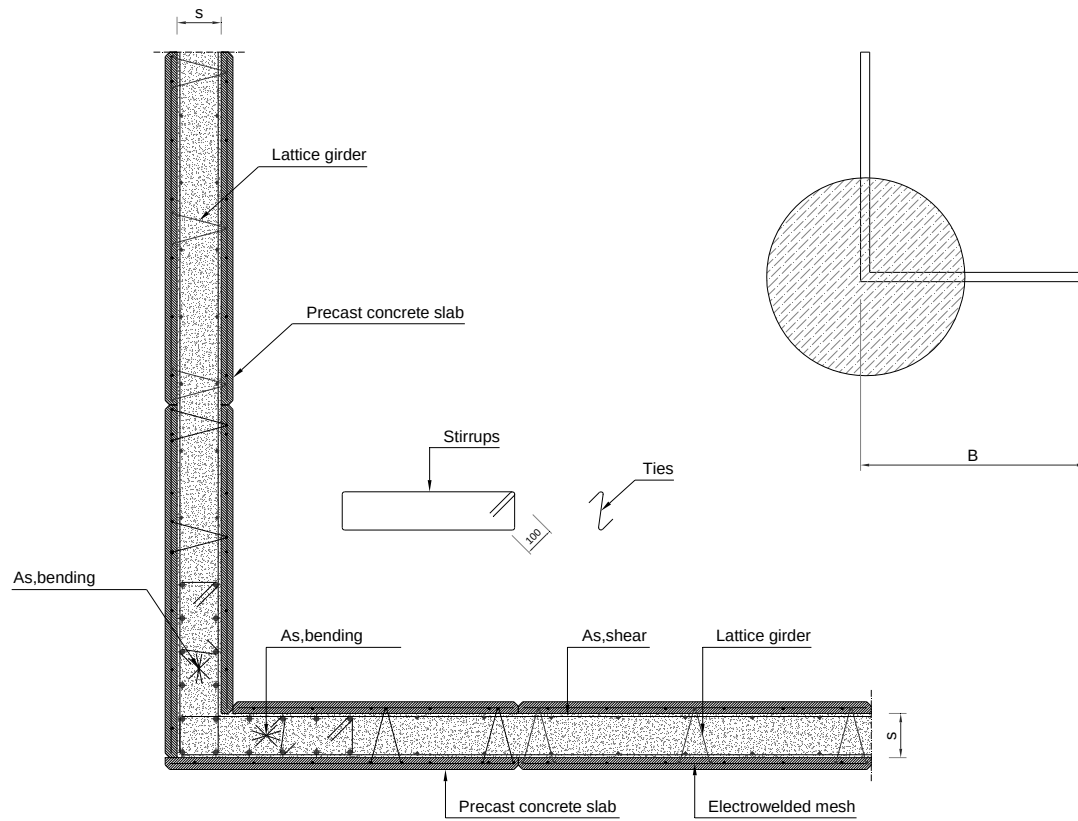
Ροπή κάμψης: $M_{Ed} = 11100$ kNm $\leq M_{Rd} = 12586$ kNm

Διατμητική δύναμη: $V_{Ed} = 1.5 \cdot V_b = 1.5 \cdot 1450 = 2175$ kN $\leq V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 2523$ kN

Οι παραπάνω προτάσεις επαλήθευσης στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας αναφέρονται στις λεπτομέρειες όπλισης και συνδετήρων που παρουσιάζονται στα ακόλουθα τεχνικά σχέδια (βλέπε Σχήμα 27), με:

$A_{s,bending} = 7+7\varnothing 16$ (κρίσιμη περιοχή, περισφιγμένη ζώνη $l_e = 0.15 \cdot B = 0.90$ m)

$A_{s,shear} = 1\varnothing 10/12.5$ cm



Σχήμα 27: Γωνιακή κατασκευαστική λεπτομέρεια για τοίχωμα Ο/Σ ως σύστημα συνδέσεων και συνήθεις διατάξεις σε κάτοψη.