

3.1.4 Διαφραγματική λειτουργία

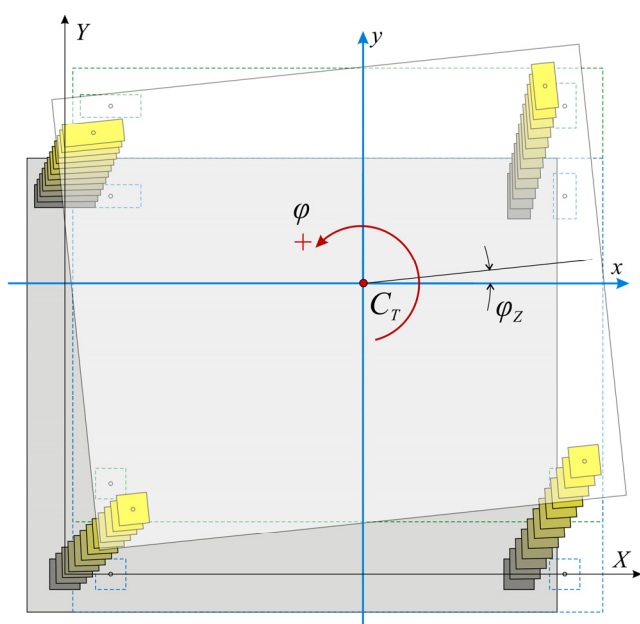
Γενικά, αν υπάρχει εκκεντρότητα της φόρτισης ενός ορόφου, π.χ. από την οριζόντια ώθηση σεισμού, λόγω της ύπαρξης της πλάκας που στο επίπεδό της είναι πρακτικά άκαμπτη, όλα τα σημεία (άρα και οι κεφαλές των κολονών¹ επί της πλάκας) θα κινηθούν με τον ίδιο κανόνα.

Οι 3 μετακινήσεις $\delta_z, \varphi_x, \varphi_y$ κάθε κόμβου που ανήκουν στο διάφραγμα είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, ενώ οι άλλες 3 $\delta_x, \delta_y, \varphi_z$ είναι εξαρτημένες από τις 3 μετακινήσεις του σημείου C_T που ονομάζεται Κέντρο Ελαστικής Στροφής του διαφράγματος. Σε ένα σημείο i του οριζώντιου διαφράγματος οι $\delta_{xi}, \delta_{yi}, \varphi_{zi}$ δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις.

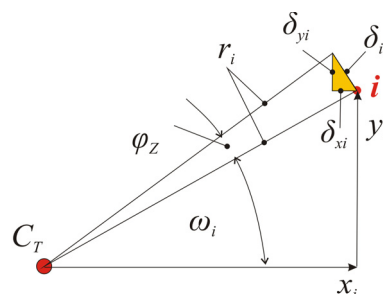
$$\varphi_{zi} = \varphi_z$$

$$\delta_{xi} = \delta_{xCT} - y_i \cdot \varphi_z$$

$$\delta_{yi} = \delta_{yCT} + x_i \cdot \varphi_z$$



Εικόνα 3.1.4-1: Διαφραγματική λειτουργία ορόφου



$$\begin{aligned} \delta_i &= r_i \cdot \varphi_z \\ \delta_{xi} &= -\delta_i \cdot \sin \omega_i \\ \sin \omega_i &= y_i / r_i \\ \delta_{xi} &= -r_i \cdot \varphi_z \cdot y_i / r_i = -y_i \cdot \varphi_z \\ \delta_{yi} &= x_i \cdot \varphi_z \end{aligned}$$

Εικόνα 3.1.4-2: Οι παραμορφώσεις τυχόντος σημείου i του διαφράγματος λόγω φ_z

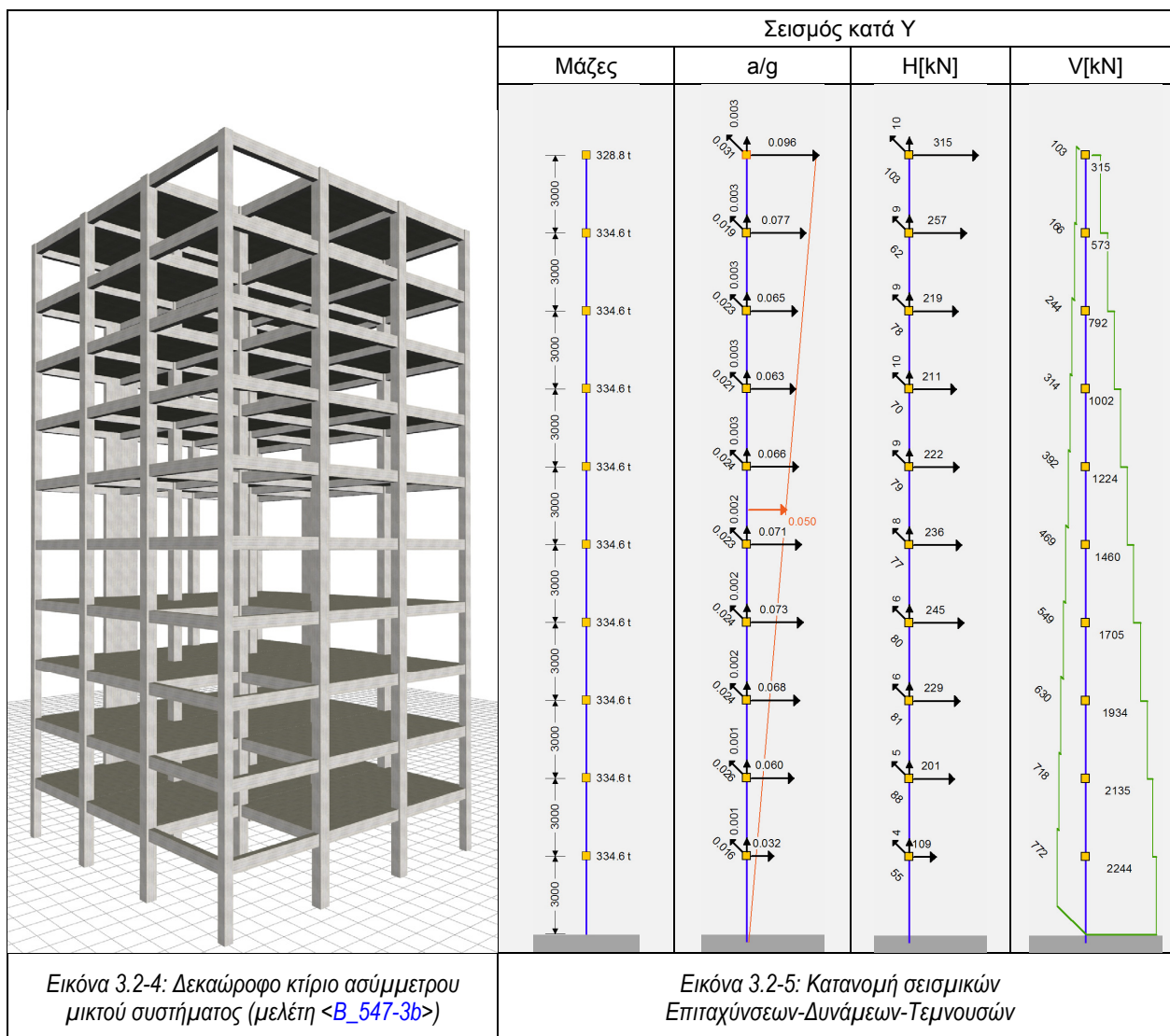
Σε ένα διαφραγματικό όροφο με 20 κύριους και 14 εξαρτώμενους κόμβους, ο αριθμός των αγνώστων μετακινήσεων (βαθμών ελευθερίας) ισούται με $20 \times 3 + 3 = 63$.

¹ Ο όρος 'κολόνα' περιλαμβάνει τους όρους υποστύλωμα και τοιχίο.

προκειμένου ο μηχανικός να είναι σε θέση να ελέγξει την τάξη μεγέθους της κατανομής των σεισμικών επιταχύνσεων. Επίσης, με τη συγκεκριμένη μέθοδο δεν απαιτούνται επιπλέον δυναμικές φασματικές επιλύσεις.

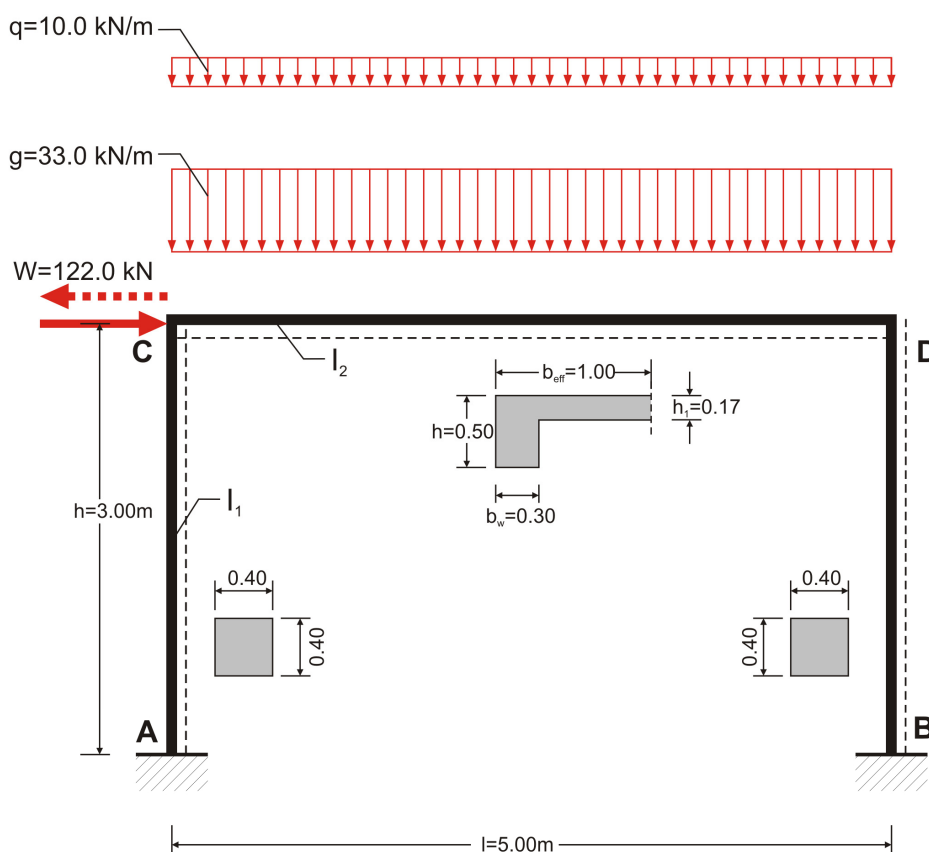
Παρατηρήσεις

- Η κύρια σύγκριση πραγματοποιείται με τις σεισμικές επιταχύνσεις. Αυτό συμβαίνει διότι οι σεισμικές δυνάμεις παρέχουν το ίδιο ταχύ οπτικό αποτέλεσμα ως προς την καθ' ύψος κατανομή τους, μόνο στην περίπτωση που οι μάζες των ορόφων είναι ίδιες.
- Όταν το κύριο σύστημα είναι υπό κλίση, για σεισμό μόνο κατά x, οι σεισμικές επιταχύνσεις αναπτύσσονται και προς τις δύο διευθύνσεις x, y. Το ίδιο ισχύει και για σεισμό μόνο κατά y.
- Ο σεισμός κατά x δίνει συνιστώσες μόνο κατά x όταν η κατασκευή είναι συμμετρική, διαφορετικά δίνει συνιστώσες και κατά την άλλη διεύθυνση, όπως στο επόμενο παράδειγμα, που υπάρχει απόκλιση κέντρου ελαστικής στροφής και κέντρου μάζας.



Εικόνα 3.2-4: Δεκαώροφο κτίριο ασύμμετρου μικτού συστήματος (μελέτη <B_547-3b>)

Εικόνα 3.2-5: Κατανομή σεισμικών Επιταχύνσεων-Δυνάμεων-Τεμνουσών



Εικόνα 3.3.3-1: Το στατικό προσομοίωμα του πλαισίου με τις φορτίσεις: g και q και τη σεισμική W

Η γενική επίλυση του πλαισίου με κατακόρυφο ομοιόμορφο φορτίο w , από τον πίνακα 1 είναι:

$$k = \frac{I_2 \cdot h}{I_1 \cdot l} = \frac{52.125 \cdot 3.0}{21.33 \cdot 5.0} = 1.47$$

$$H = H_A = -H_B = \frac{l^2}{4h \cdot (k + 2)} \cdot w = \frac{(5.0m)^2}{4 \cdot 3.0m \cdot (1.47 + 2)} \cdot w = 0.60m \cdot w,$$

$$V_A = V_B = \frac{l}{2} \cdot w = \frac{5.0m}{2} \cdot w = 2.50m \cdot w$$

$$M_A = -M_B = \frac{h}{3} \cdot H = \frac{3.0m}{3} \cdot 0.60m \cdot w = 0.60m^2 \cdot w$$

$$M_{CA} = M_{CD} = M_{DC} = -M_{DB} = -\frac{2}{3} h \cdot H = -\frac{2}{3} \cdot 3.0m \cdot 0.60m \cdot w = -1.20m^2 \cdot w$$

Η γενική επίλυση του πλαισίου με οριζόντιο φορτίο W , από τον πίνακα 39 είναι:

$$H_A = H_B = -\frac{W}{2} = -0.50W$$

$$V_A = -V_B = -\frac{3 \cdot h \cdot k}{l \cdot (6k + 1)} \cdot W = -\frac{3 \cdot 3.0m \cdot 1.47}{5.0m \cdot (6 \cdot 1.47 + 1)} \cdot W = -0.27 \cdot W$$

1^{ος} συνδυασμός: $w=1.35g+1.50q=1.35 \times 33+1.50 \times 10.0=59.55 \text{ kN/m}$

$$M_A=-M_B=1.35M_{A,g}+1.50M_{A,q}=1.35 \times 19.8+1.50 \times 6.0=35.7 \text{ kNm}$$

$$M_{CA}=M_{CD}=M_{DC}=-M_{DB}=1.35M_{CA,g}+1.50M_{CA,q}=-1.35 \times 39.6-1.50 \times 12.0=-71.5 \text{ kNm},$$

$$H_A=-H_B=1.35H_{A,g}+1.50H_{A,q}=1.35 \times 19.8+1.50 \times 6.0=35.7 \text{ kN},$$

$$V_A=V_B=1.35H_{A,g}+1.50H_{A,q}=1.35 \times 82.5+1.50 \times 25.0=148.9 \text{ kN}$$

$$V_{CD}=w \cdot l/2+(M_{DC}-M_{CD})/l=59.55 \times 5.0/2+(-71.5+71.5)/5.0=148.9 \text{ kN},$$

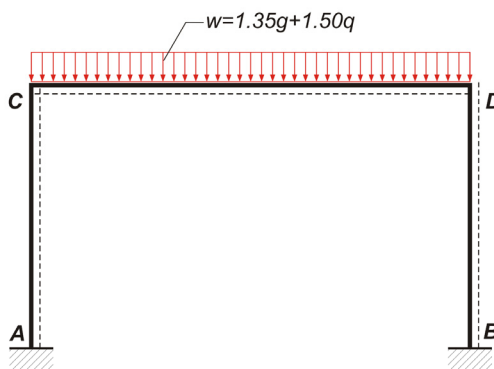
$$V_{DC}=V_{CD}-w \cdot l=148.9-59.55 \times 5.0=-148.9 \text{ kN}^9$$

$$N_A=-V_{CD}-1.35 \cdot (\text{ίδιο βάρος κολόνας})=-148.9-1.35 \times 12.0=-165.1 \text{ kN}$$

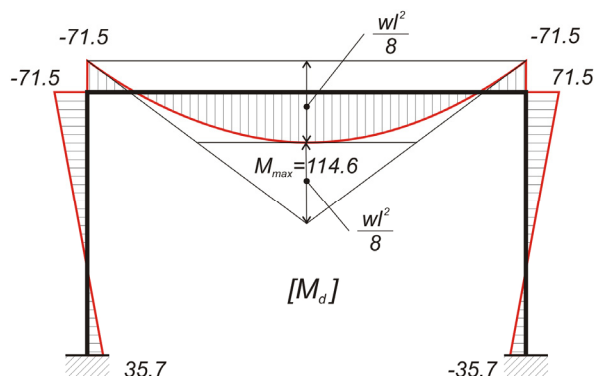
$$N_B=V_{DC}-1.35 \cdot (\text{ίδιο βάρος κολόνας})=-148.9-1.35 \times 12.0=-165.1 \text{ kN}$$

$$x=V_{CD}/w=148.9/59.55=2.50 \text{ m}^{10}, M_{max}=M_{CD}+(V_{CD} \cdot x)/2=-71.5+(148.9 \times 2.50)/2=114.6 \text{ kNm}^{11},$$

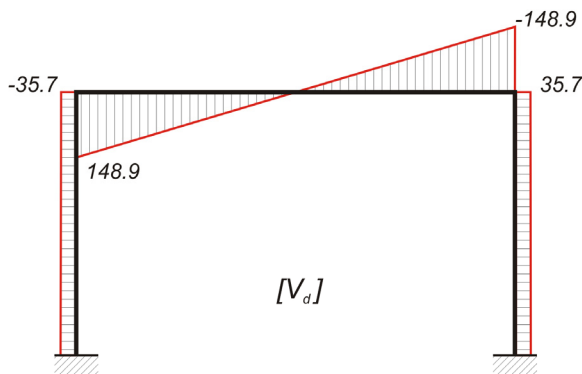
$$w \cdot l^2/8=59.55 \times 5.0^2/8=186.1 \text{ kNm}$$



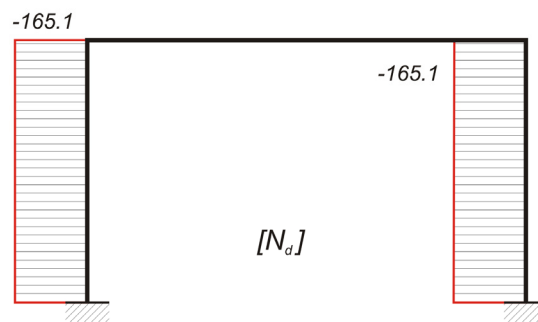
Εικόνα 3.3.3-2



Εικόνα 3.3.3-3



Εικόνα 3.3.3-4



Εικόνα 3.3.3-5

⁹ Το μέγεθος αυτό όπως και τα περισσότερα από τα επόμενα, μπορούσε να υπολογισθεί από την απλή παρατήρηση της συμμετρίας του φορέα και της φόρτισης, αλλά ακολουθείται αυτή η διαδικασία ως γενική περίπτωση, γιατί στη 2^η φόρτιση για παράδειγμα, που δεν είναι συμμετρική, έχει σημασία.

¹⁰ x είναι το σημείο μηδενισμού της τέμνουσας που αντιστοιχεί στη θέση της μέγιστης ροπής κάμψης.

¹¹ Από τη στατική είναι γνωστό ότι η μέγιστη ροπή M_{max} σε ένα άνοιγμα i,j βρίσκεται στο σημείο m που απέχει απόσταση x από την αρχή i , εκεί, όπου μηδενίζονται οι τέμνουσες δυνάμεις. Η ροπή s' εκείνο το σημείο δίνεται από τη σχέση $M_{max}=M_{i,j}+A_v$ όπου A_v είναι το εμβαδόν των τεμνουσών δυνάμεων από το σημείο i έως το σημείο m . Στο συγκεκριμένο παράδειγμα που υπάρχει μόνο ομοιόμορφο φορτίο, είναι $A_v=(V_{i,j} \cdot x)/2$.

2^{ος} συνδυασμός: $w=g + 0.30 \cdot q + "E_x" = 33.0 + 0.30 \times 10.0 + "E_x" = 36.0 \text{ kN/m} + "E_x"$

$$M_A = M_{A,g} + 0.30 M_{A,q} + M_{A,W} = 19.8 + 0.30 \times 6.0 - 100.8 = -79.2 \text{ kNm}, M_B = -19.8 - 0.30 \times 6.0 - 100.8 = -122.4 \text{ kNm}$$

$$M_{CA} = M_{CD} = -39.6 - 0.30 \times 12.0 + 82.2 = 39.0 \text{ kNm},$$

$$M_{DC} = -39.6 - 0.30 \times 12.0 - 82.2 = -125.4 \text{ kNm}, M_{DB} = 39.6 + 0.30 \times 12.0 + 82.2 = 125.4 \text{ kNm},$$

$$H_A = H_{A,g} + 0.30 H_{A,q} + H_{A,W} = 19.8 + 0.30 \times 6.0 - 61.0 = -39.4 \text{ kN}, H_B = -19.8 - 0.30 \times 6.0 - 61.0 = -82.6 \text{ kN},$$

$$V_A = V_{A,g} + 0.30 V_{A,q} + V_{A,W} = 82.5 + 0.30 \times 25.0 - 32.9 = 57.1 \text{ kN}, V_B = 82.5 + 0.30 \times 25.0 + 32.9 = 122.9 \text{ kN}$$

$$V_{CD} = w \cdot l / 2 + (M_{DC} - M_{CD}) / l = 36.0 \times 5.0 / 2 + (-125.4 - 39.0) / 5.0 = 90.0 - 33.0 = 57.0 \text{ kN},$$

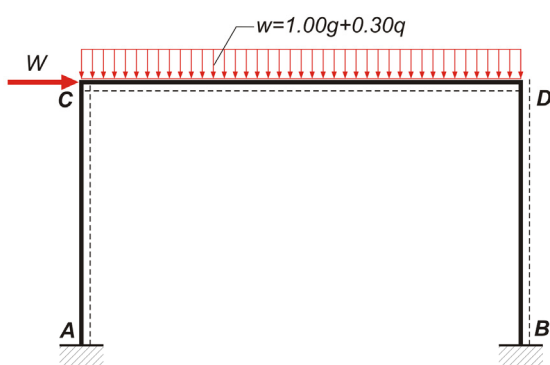
$$V_{DC} = V_{CD} - w \cdot l = 57.0 - 36.0 \times 5.0 = -123.0 \text{ kN}$$

$$N_A = -V_{CD} - \text{ίδιο βάρος κολόνας} = -57.0 - 12.0 = -69.0 \text{ kN}$$

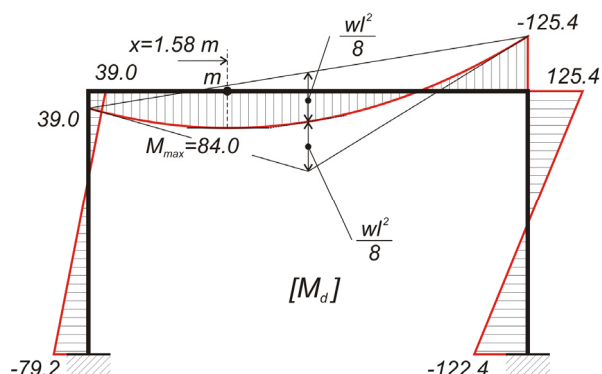
$$N_B = V_{DC} - \text{ίδιο βάρος κολόνας} = -123.0 - 12.0 = -135.0 \text{ kN}$$

$$x = V_{CD} / w = 57.0 / 36.0 = 1.58 \text{ m}, M_{\max} = M_{CD} + (V_{CD} \cdot x) / 2 = 39.0 + (57.0 \times 1.58) / 2 = 84.0 \text{ kNm},$$

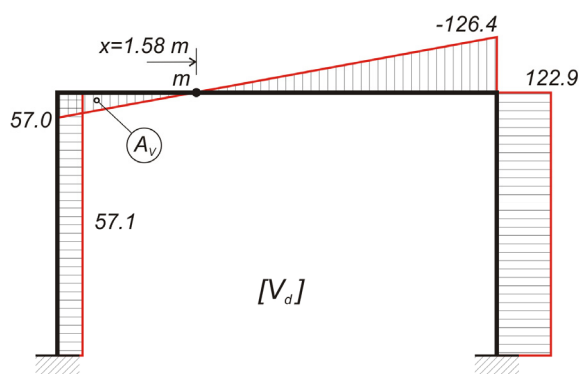
$$w \cdot l^2 / 8 = 36.0 \times 5.0^2 / 8 = 112.5 \text{ kNm}$$



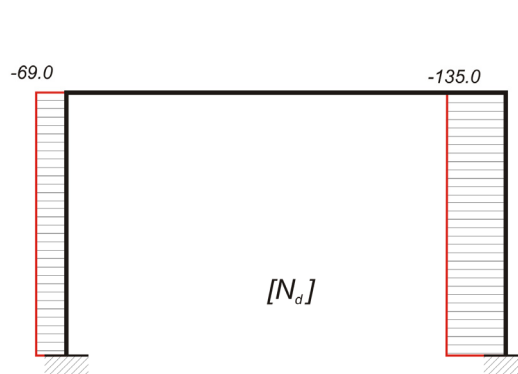
Εικόνα 3.3.3-6



Εικόνα 3.3.3-7

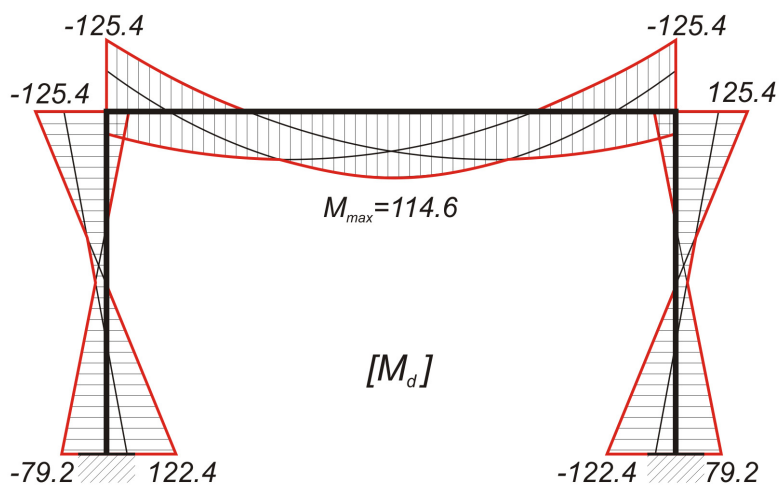


Εικόνα 3.3.3-8

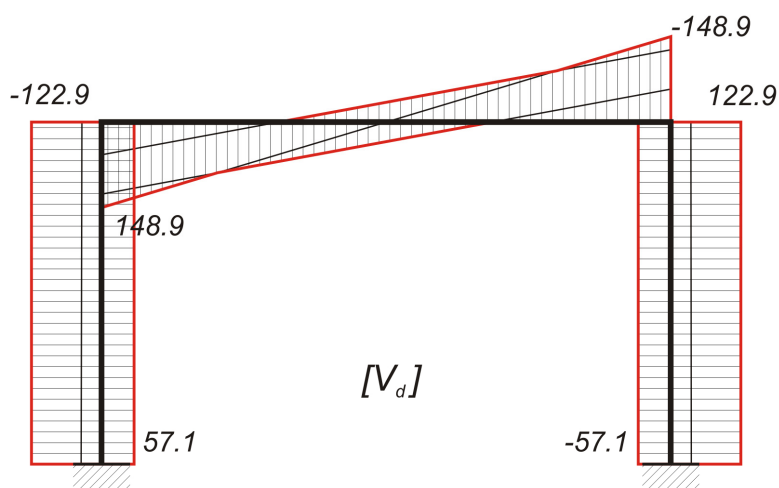


Εικόνα 3.3.3-9

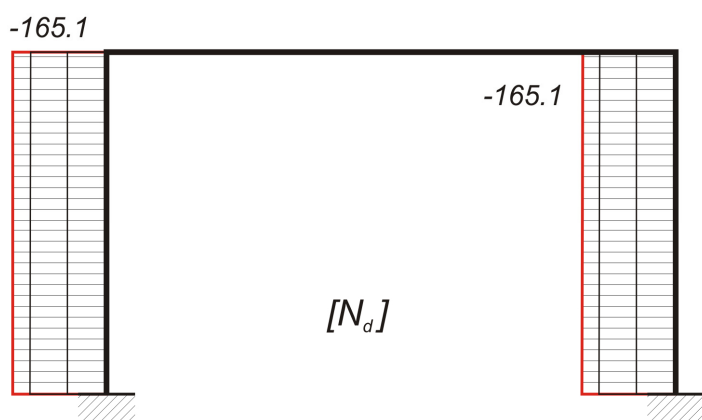
Συνδυασμοί και Περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών



Εικόνα 3.3.3-14

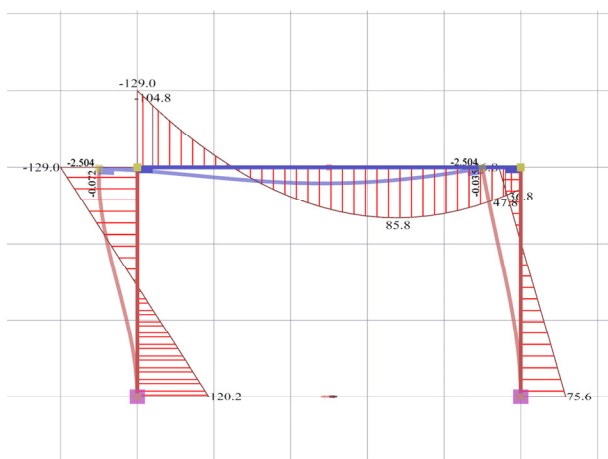


Εικόνα 3.3.3-15

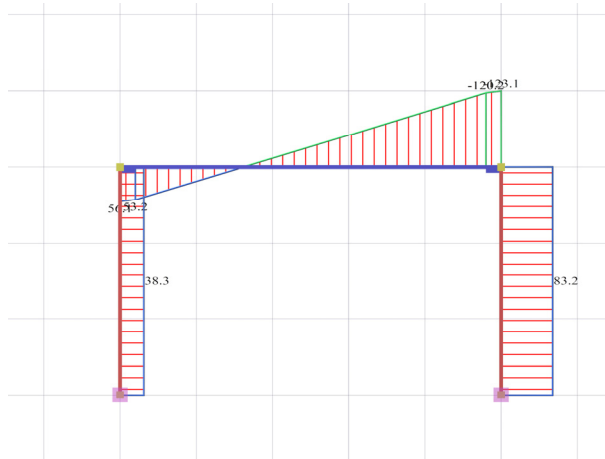


Εικόνα 3.3.3-16

3^{ος} συνδυασμός: $g+0.30q-E_X$ (πρόσθετος συνδυασμός U2)

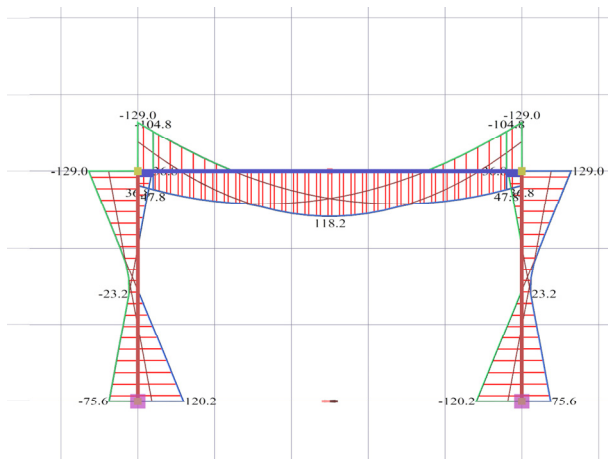


Εικόνα 3.3.3-22: Διάγραμμα ροπών και ελαστική γραμμή

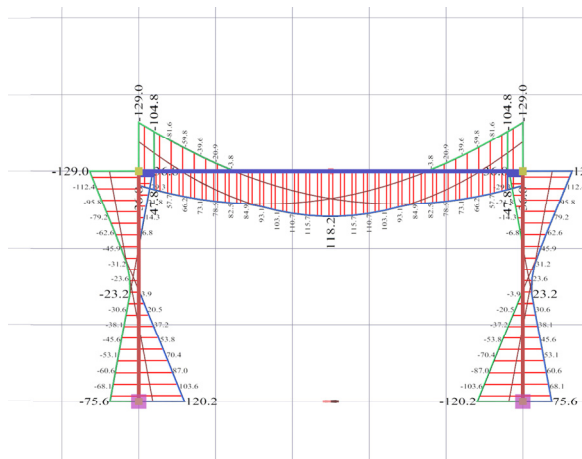


Εικόνα 3.3.3-23: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων

Συνδυασμοί και Περιβάλλουσες Ροπών Κάμψης



Εικόνα 3.3.3-24: Οι τρεις συνδυασμοί των ροπών κάμψης



Εικόνα 3.3.3-25: Η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης με τις τιμές ανά 0.20 m, τις οποίες χρειαζόμαστε για τη διαστασιολόγηση των διατομών και τα αναπτύγματα οπλισμών

3.3.6 Προσομοίωση πλακών με μέλη και επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία

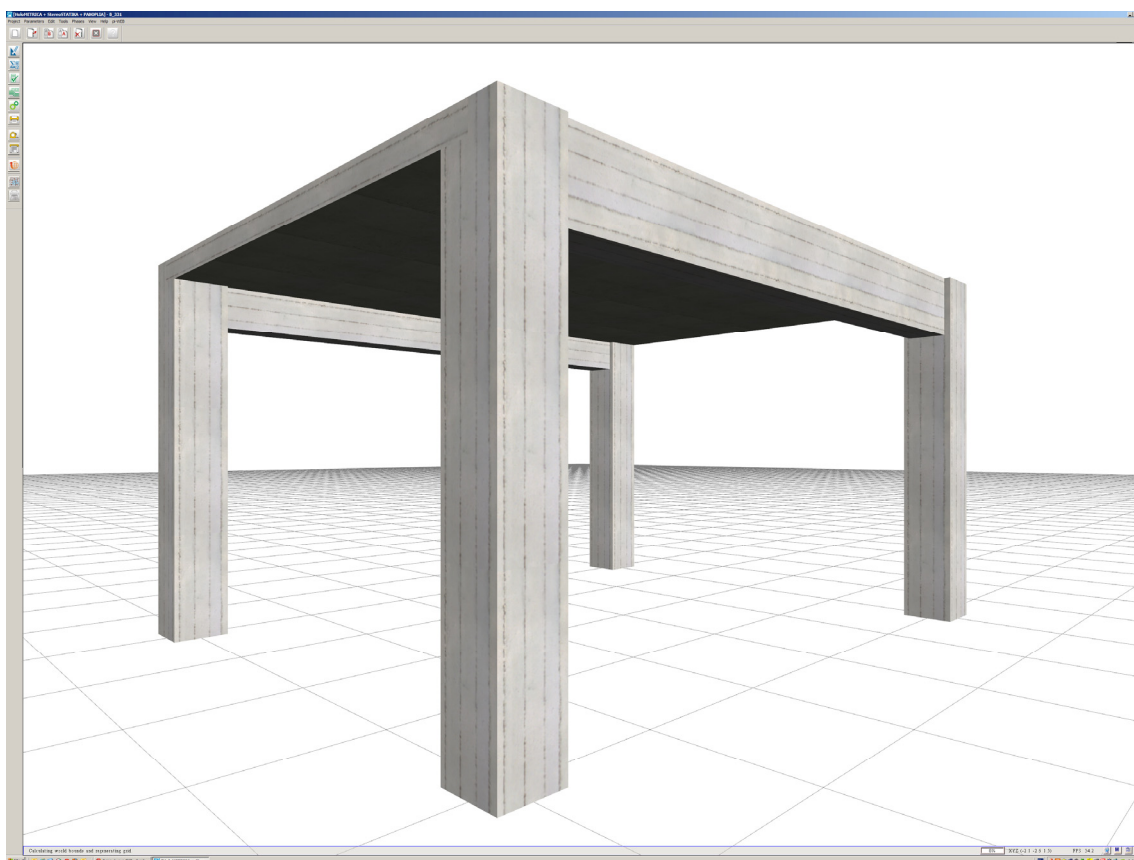
Με τη βοήθεια των πεπερασμένων στοιχείων έχουμε τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε με σημαντική ακρίβεια τη λειτουργία των πλακών. Ωστόσο, για να αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα την πραγματικότητα, θα πρέπει να υιοθετηθούν οι κατάλληλες παραδοχές. Στο παράρτημα Α εξετάζονται αναλυτικά οι επιρροές των ακόλουθων παραγόντων:

- 1) η πλαισιακή λειτουργία των πλακών στις περιοχές των κολονών
- 2) η κατακόρυφη παραμόρφωση των δοκών
- 3) η δυστρεψία των δοκών

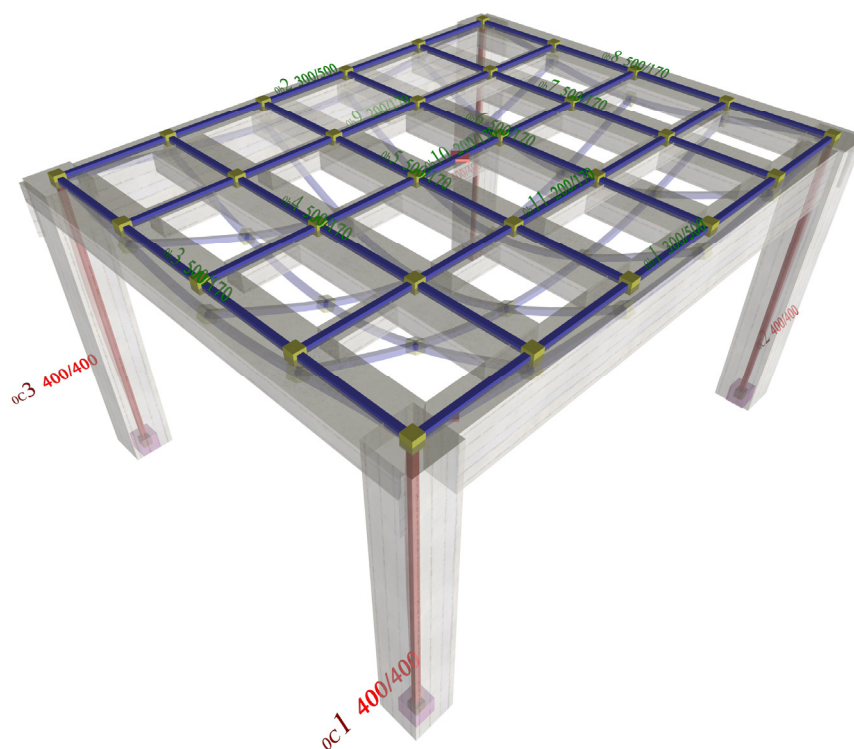
Τόσο η πλαισιακή λειτουργία στις περιοχές των κολονών (όπου δεν υπάρχουν δοκοί), όσο και η κατακόρυφη παραμόρφωση και η στρεπτική δυσκαμψία των δοκών, επιδρούν στη συμπεριφορά της πλάκας. Προκειμένου να διερευνήσουμε την επίδραση αυτή, προσομοιώνουμε μία απλή κατασκευή με δύο τρόπους:

- (i) με μέλη, σύμφωνα με τον οποίο η πλάκα προσομοιώνεται ως εσχάρα κύριων και δευτερευουσών δοκίδων, χωρίς τη θεώρηση στερεών σωμάτων.
- (ii) με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία, σύμφωνα με τον οποίο η πλάκα προσομοιώνεται ως δισδιάστατος φορέας, με τριγωνικά επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία.

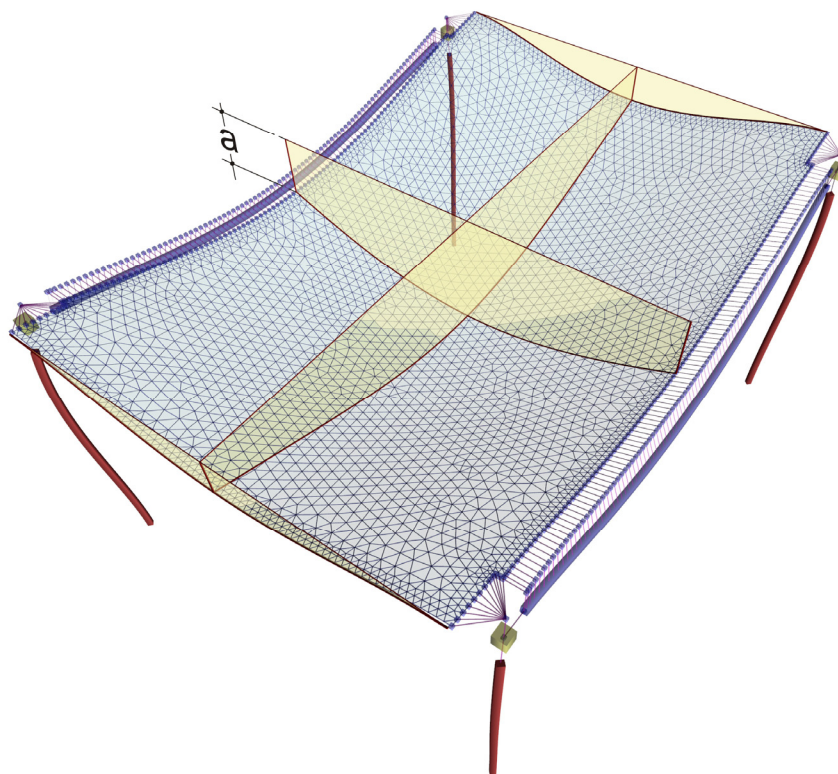
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η περίληψη του παραρτήματος Α:



Εικόνα 3.3.6-1: Ο φορέας της μελέτης <B_331> του συνοδευτικού λογισμικού (διατομή κολονών 400/400, διατομή δοκών 300/500, πάχος πλάκας 170 mm)



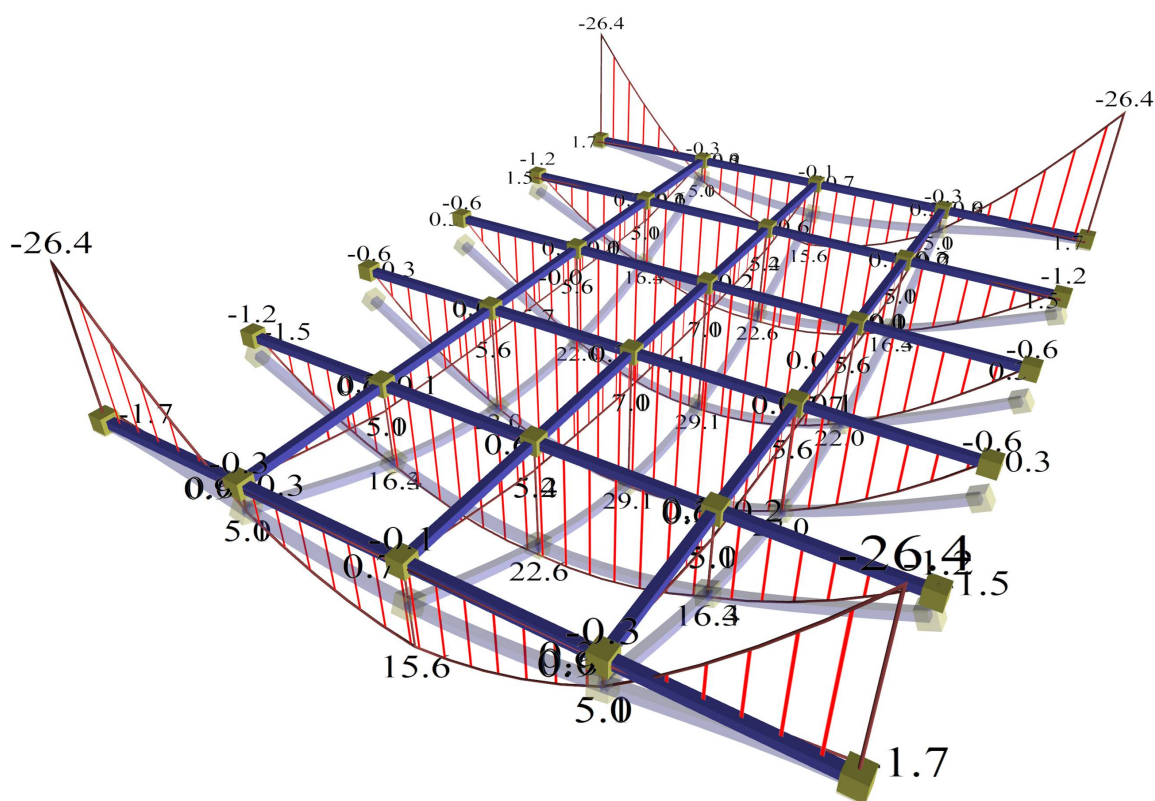
Εικόνα 3.3.6-2: Προσομοίωμα πλάκας με μέλη και παραμορφωμένους φορέας (μελέτη <B_336>)



Εικόνα 3.3.6-3: Προσομοίωμα πλάκας με επιφανειακά τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία (μελέτη <B_331>, ri-FES) (a =κοινό βέλος κάμψης δοκού-πλάκας)

3.3.6.1 Η πλαισιακή λειτουργία στις περιοχές των κολονών

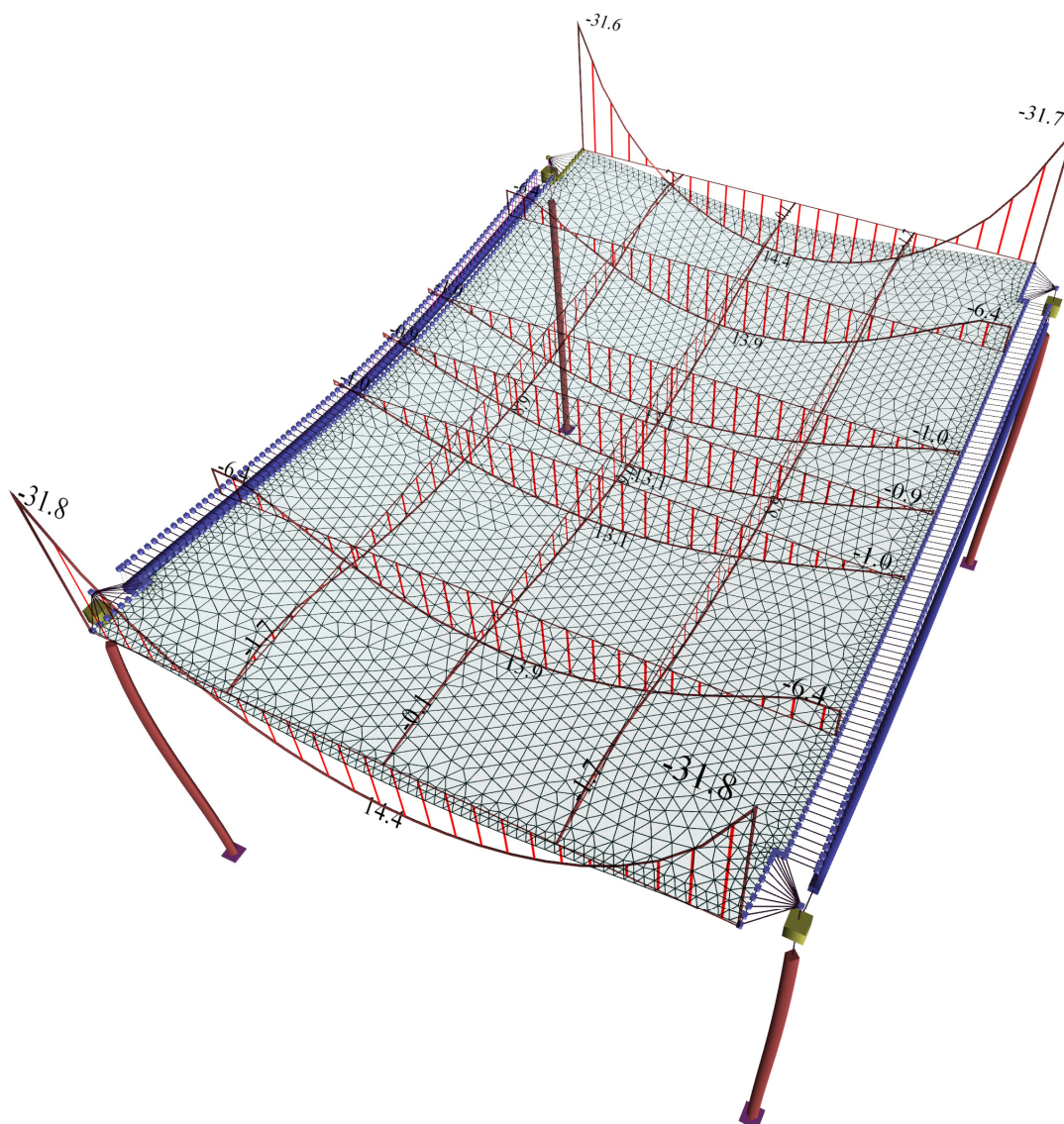
Η προσομοίωση τόσο με μέλη, όσο και με τα ακριβέστερα επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία, λαμβάνει υπόψη την **πλαισιακή λειτουργία της πλάκας στις περιοχές των κολονών**, σε αντίθεση με τη λιγότερο ακριβή θεώρηση αρθρωτής πλάκας σε όλο το μήκος της. Ωστόσο, για να λειτουργήσει πλαισιακά η πλάκα με τα υποστυλώματα στην πραγματική κατασκευή, θα πρέπει να οπλιστεί η περιοχή σύνδεσης πλάκας-κολονών (στην οποία αναπτύσσονται ισχυρές αρνητικές ροπές κάμψης) με ισχυρό, σωστά τοποθετημένο και καλά αγκυρωμένο αρνητικό οπλισμό στις άνω ίνες των πλάκων. Για το λόγο αυτό, η επίλυση με πεπερασμένα στοιχεία των πλάκων σε συνήθη εργοτάξια θα πρέπει να θεωρεί αρθρωτές στηρίξεις επί των υποστυλωμάτων.



Εικόνα 3.3.6.1-1: Διάγραμμα ροπών κάμψης δοκίδων φορέα με μέλη (μελέτη <B_336>)

Στην περίπτωση των μελών, οι δύο ακραίες κύριες δοκίδες (πλάκας) λειτουργούν πλαισιακά με τα υποστυλώματα, έχουν μεγαλύτερη δυσκαμψία από τις σχεδόν αμφιαρθρωτές ενδιάμεσες κύριες δοκίδες και αναλαμβάνουν μεγαλύτερο φορτίο, με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν ισχυρές αρνητικές ροπές κάμψης στις στηρίξεις τους και σχετικά ασθενείς θετικές στο εσωτερικό τους. Οι ενδιάμεσες κύριες δοκίδες αναπτύσσουν ισχυρές θετικές καμπτικές ροπές στο άνοιγμά τους, ενώ στηρίζονται στις ακραίες, μέσω των δευτερευουσών δοκίδων, οι οποίες καταπονούνται από όχι αμελητέες θετικές καμπτικές ροπές ανοίγματος.

Στην ακριβέστερη προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία, οι ακραίες κύριες ζώνες λειτουργούν έντονα πλαισιακά. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με τα αντίστοιχα των μελών με τις ακόλουθες διαφορές: (α) Στις ακραίες κύριες ζώνες (αντίστοιχες των ακραίων κυρίων δοκίδων) η πλαισιακή λειτουργία είναι πιο έντονη, διότι οι ροπές στηρίξεων είναι μεγαλύτερες και οι ροπές ανοιγμάτων μικρότερες. (β) Στις ενδιάμεσες κύριες ζώνες (αντίστοιχες των ενδιάμεσων κυρίων δοκίδων) οι ροπές ανοιγμάτων είναι μικρότερες. (γ) Οι ροπές ανοιγμάτων των δευτερευουσών ζωνών (αντίστοιχες των δευτερευουσών δοκίδων) προκύπτουν μεγαλύτερες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εσωτερική δυστρεψία των στοιχείων της πλάκας (η συστροφή) είναι ισχυρότερη από την αντίστοιχη των μελών.



Εικόνα 3.3.6.1-2: Διάγραμμα ροπών κάμψης ζωνών φορέα με επιφανειακά τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία (μελέτη <B_331>, ρι-FES)