

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΡΑΦ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

Περιμετρικά τοιχώματα υπογείου

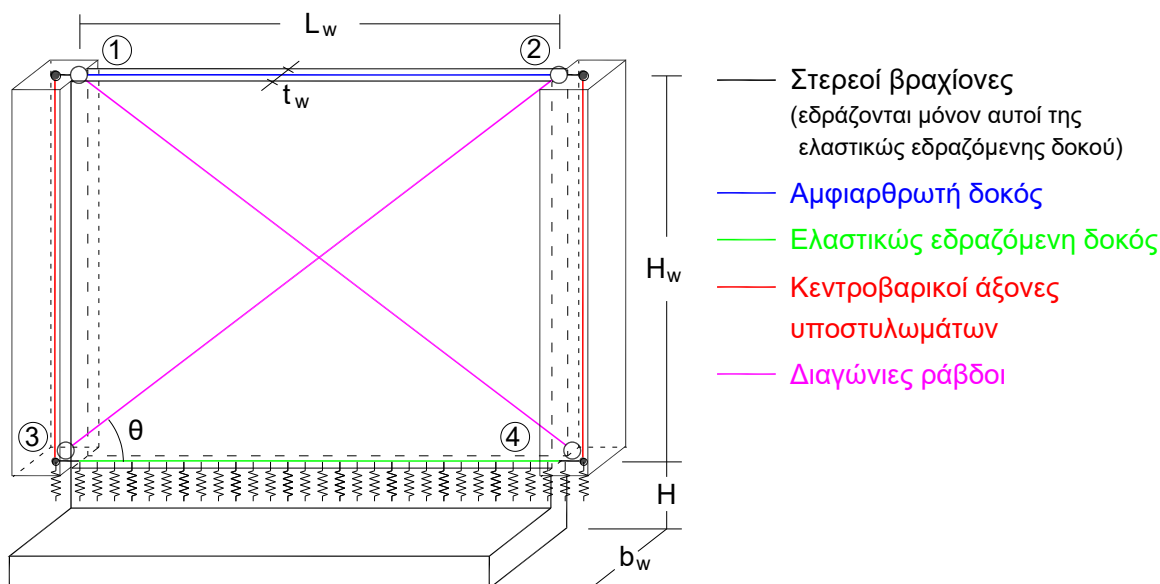
Τα περιμετρικά τοιχώματα υπογείου χρησιμοποιούνται αφενός για την κάλυψη κατασκευαστικών αναγκών των υπόγειων ορόφων ενός κτιρίου και αφετέρου για τη δημιουργία ενός άκαμπτου κλειστού ή ημιανοικτού κιβωτίου με ευεργετική δράση επί της αντισεισμικής του συμπεριφοράς. Η λειτουργία των τοιχωμάτων υπογείου συμβάλλει:

- (α) στην παραλαβή των φορτίων των πλακών των υπογείων ορόφων,
- (β) στην παραλαβή των ωθήσεων των γαιών που περιβάλουν τα υπόγεια και
- (γ) στη μεταφορά των σεισμικών δυνάμεων της ανωδομής στη θεμελίωση.

Λόγω της γεωμετρίας τους τα περιμετρικά τοιχώματα υπογείου κατατάσσονται κατά κανόνα στα «κοντά» τοιχώματα με λόγο μήκους προς ύψος μικρότερο του 2. Αυτό σημαίνει ότι η επιρροή των διατμητικών παραμορφώσεων στη μηχανική τους συμπεριφορά είναι πολύ σημαντική. Όπως είναι φυσικό, η πλέον ακριβής προσομοίωση στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η προσομοίωση με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία. Ωστόσο, για να διατηρηθεί η συμβατότητα με τις διαδικασίες ελέγχου αντοχής που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια εφαρμογής των κανονισμών, το ΡΑΦ εφαρμόζει ένα προσομοίωμα που συντίθεται από ραβδωτά στοιχεία δοκού. Το προσομοίωμα αυτό στηρίζεται στις βασικές αρχές των μοντέλων Stafford-Smith (βλ. π.χ. [35], [47]), αλλά είναι προσαρμοσμένο κατάλληλα ώστε να καλύπτει ειδικά τις ανάγκες προσομοίωσης των τοιχωμάτων υπογείου.

Περιγραφή του μοντέλου

Το μοντέλο προσομοίωσης των περιμετρικών τοιχωμάτων μορφώνεται αυτόματα για κάθε φάτνωμα περιμετρικού πλαισίου ενός κτιρίου στις στάθμες που βρίσκονται κάτω από την οριζόμενη από τον χρήστη στάθμη ισογείου. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το σύνολο των επιμέρους στοιχείων, τα οποία ως σύνολο παράγονται και εισάγονται αυτόματα στο προσομοίωμα του κτιρίου και συνεργαζόμενα μεταξύ τους προσομοιώνουν το καθένα από αυτά μία από τις λειτουργίες του περιμετρικού τοιχώματος.



Σχήμα 8.35 Το τροποποιημένο μοντέλο Stafford – Smith όπως αυτό εφαρμόζεται από το ΡΑΦ σε φατνώματα περιμετρικών πλαισίων ενός κτιρίου στους υπόγειους ορόφους.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, τα στοιχεία τα οποία συνθέτουν το υπολογιστικό προσομοίωμα των φαινομένων των περιμετρικών τοιχωμάτων των υπογείων, είναι 4 τύπων. Τα ιδιαίτερα στοιχεία τους, καθώς και ο λόγος για τον οποίον έχουν τοποθετηθεί δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 8.1 Τα δεδομένα και η χρήση των στοιχείων που συνθέτουν τα προσομοιώματα των τοιχωμάτων υπογείου

Στοιχείο	Χαρακτηριστικά	Λειτουργία που προσομοιώνει
1-2	Αμφιαρθρωτή δοκός (Παρατήρηση 1)	Χρησιμοποιείται μόνο για την παραλαβή των φορτίων των πλακών των υπογείων ορόφων. Το γεγονός ότι είναι αμφιαρθρωτή εξασφαλίζει την μεταφορά των φορτίων των πλακών ως αξονικών δυνάμεων στους στύλους 1-3 και 2-4.
2-3 και 1-4	Διαγώνιες ράβδοι (Παρατήρηση 2)	Χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν την οριζόντια διατμητική λειτουργία του τοιχώματος.
3-4	Ελαστικώς εδραζόμενη δοκός (Παρατήρηση 3)	Χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει την καμπτική λειτουργία του τοιχώματος υπό την επίδραση των φορτίων των πλακών των υπογείων, των φορτίων των υποστυλωμάτων και της ελαστικής έδρασης.
1-3 και 2-4	Υποστυλώματα (Παρατήρηση 4)	Χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν τα περιμετρικά υποστυλώματα τα οποία στους υπόγειους ορόφους είναι ενσωματωμένα στα περιμετρικά τοιχώματα, αλλά και για την προσομοίωση της καπτικής και της αξονικής λειτουργίας του τοιχώματος.

Παρατηρήσεις

1. Στη διατομή της αμφιαρθρωτής δοκού 1-2 δίνονται γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής με τιμή ίση με τη μονάδα. Καθώς η δοκός είναι αμφιαρθρωτή οι τιμές των αντιδράσεων που μεταφέρονται στα εκατέρωθεν υποστυλώματα, και οι οποίες είναι οι μόνες που μας ενδιαφέρουν, είναι ανεξάρτητες από τη διατομή της.

2. Οι δύο διαγώνιες ράβδοι 1-4 και 2-3 καλούνται να προσομοιώσουν τη διατμητική λειτουργία του τοιχώματος [διαστάσεων ($H_w \times L_w$)]. Στις ράβδους αυτές δίνονται μοναδιαία χαρακτηριστικά διατομής με εξαίρεση την επιφάνεια της διατομής τους. Προκειμένου να υπολογιστεί η επιφάνεια αυτή, θεωρείται αμφίπακτο τοίχωμα διαστάσεων ($H_w \times L_w$), το οποίο υποβάλλεται σε μοναδιαία οριζόντια μετακίνηση της κεφαλής του. Σε μια τέτοια περίπτωση η δύναμη που αναπτύσσεται στα άκρα του είναι:

$$F_w = G \cdot A_w \cdot \gamma = G \cdot (t_w \cdot L_w) \cdot (1/H_w) \quad (1)$$

Η δύναμη αυτή, στα πλαίσια του χρησιμοποιούμενου προσομοιώματος, καλείται να παραλειφθεί από τις δυο διαγώνιες ράβδους. Για να υπολογιστεί η δύναμη που παραλαμβάνεται από μία διαγώνια ράβδο, θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η επιμήκυνση που αυτή υφίσταται όταν η κορυφή της (που συμπίπτει με την κορυφή του τοιχώματος) υποστεί μοναδιαία μετατόπιση. Η επιμήκυνση αυτή είναι ίση με:

$$\Delta L = \cos \theta \quad (2)$$

Όπου θ είναι η γωνία που σχηματίζει η διαγώνια ράβδος με το οριζόντιο επίπεδο, και δίνεται από την σχέση:

$$\cos \theta = (L_w / \sqrt{L_w^2 + H_w^2}) \quad (3)$$

Η αξονική δύναμη που αναπτύσσεται σε μια ράβδο που υπόκειται σε επιμήκυνση (ή επιβράχυνση) ΔL είναι:

$$N_b = (E F_b / L_b) \cdot \Delta L \quad (4)$$

Όπου F_b είναι η ζητούμενη επιφάνεια της διατομής της ράβδου, και L_b το μήκος της για το οποίο ισχύει:

$$L_b = \sqrt{L_w^2 + H_w^2} \quad (5)$$

Κατά την οριζόντια μετακίνηση της κεφαλής της διαγώνιας ράβδου αναπτύσσεται σε αυτήν αξονική δύναμη που δίνεται από την (4) και έχει την κατεύθυνση της ράβδου. Όμως το ζητούμενο είναι η αναλαμβανόμενη από το σύστημα των δυο διαγωνίων ράβδων, της οριζόντιας δύναμης που δίνεται από την (1). Άρα θα πρέπει:

$$2 \cdot N_b \cdot \cos \theta = F_w \Rightarrow 2 \cdot \left(\frac{E \cdot F_b}{\sqrt{L_w^2 + H_w^2}} \right) \cdot \cos^2 \theta = \frac{E \cdot t_w \cdot L_w}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot H_w} \quad (6)$$

Εκτελώντας τις απαραίτητες πράξεις προκύπτει η επιφάνεια διατομής των διαγωνίων ράβδων:

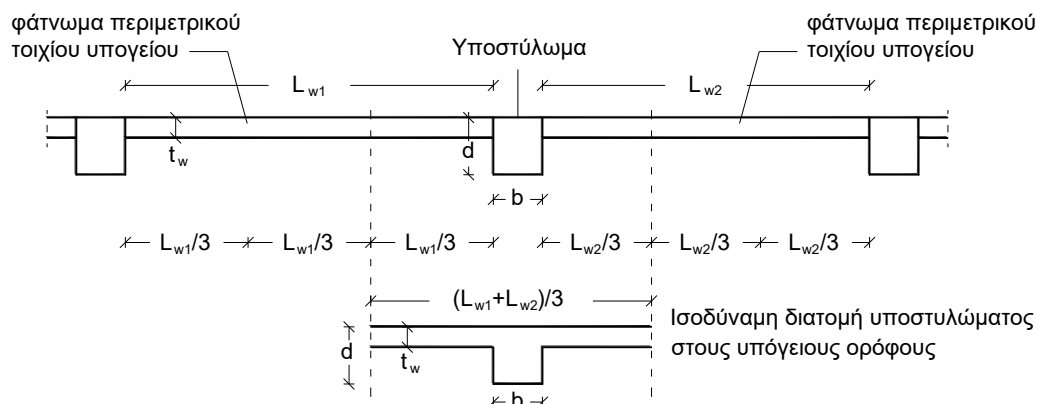
$$F_b = \frac{t_w \cdot L_w \cdot \sqrt{L_w^2 + H_w^2}}{4 \cdot (1 + \nu) \cdot H_w \cdot \cos^2 \theta} \Rightarrow F_b = \frac{t_w \cdot L_w^2}{4 \cdot (1 + \nu) \cdot H_w \cdot \cos^3 \theta} \quad (7)$$

3. Η ελαστικώς εδραζόμενη δοκός 3-4 προσομοιώνει την καμπτική λειτουργία του περιμετρικού τοιχώματος (ως υψίκορμης πεδιλοδοκού) υπό τη δράση των κατακορύφων φορτίων της πλάκας οροφής του υπογείου και των φορτίων των υποστυλωμάτων. Η διατομή που προσδίδεται σε αυτή τη δοκό είναι διατομή αντεστραμμένης πλακοδοκού (μορφής T ή Γ) με τα ανάλογα γεωμετρικά δεδομένα. Τα χαρακτηριστικά της έδρασης της υπολογίζονται όπως και στην περίπτωση μιας οποιασδήποτε ελαστικώς εδραζόμενης δοκού, με δεδομένα τον δείκτη εδάφους K_s και το πλάτος έδρασης b_w .

4. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν την συνέχεια των περιμετρικών υποστυλωμάτων της ανωδομής τα οποία στους υπόγειους ορόφους ενσωματώνονται εντός των τοιχωμάτων. Η διατομή των υποστυλωμάτων αυτών θα πρέπει να αυξηθεί στους υπόγειους ορόφους για δυο λόγους:

- (α) Να προσομοιωθεί ορθότερα η καμπτική λειτουργία του τοιχώματος κατά τη φόρτιση με οριζόντιες δυνάμεις.
- (β) Να επιτευχθούν συνθήκες πάκτωσης των κατακορύφων στοιχείων στο σημείο στο οποίο συνδέονται με το περιμέτρικο τοίχωμα του υπογείου (οροφή υπογείου).

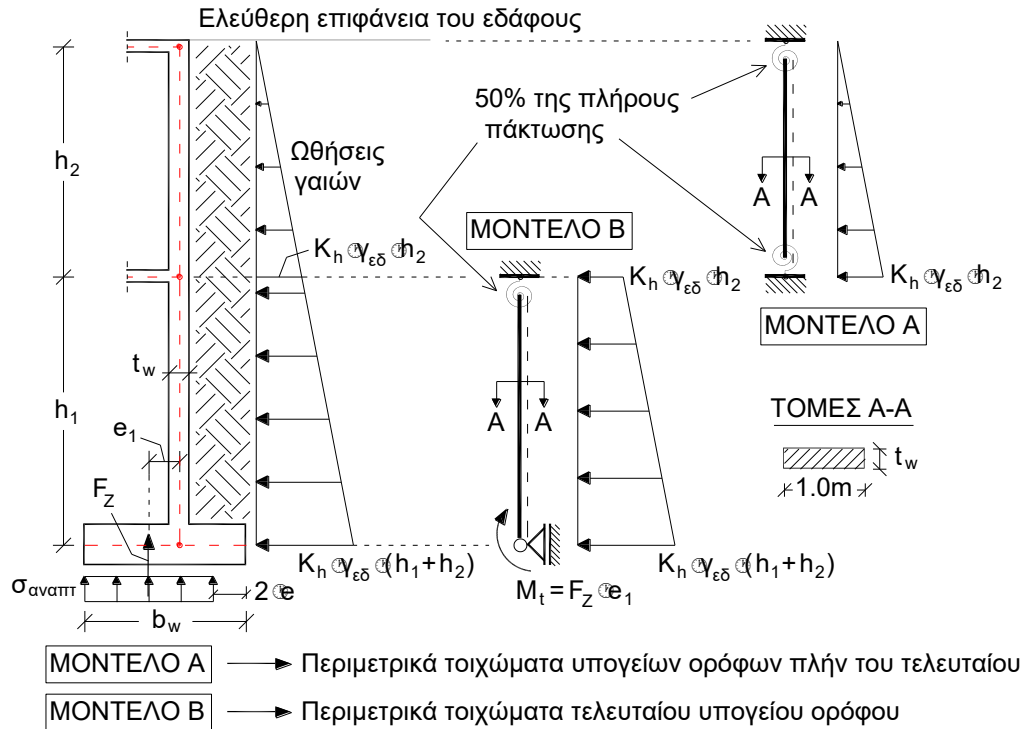
Έτσι στα στοιχεία αυτά προσδίδονται διατομές οι οποίες εντάσσονται στην γενική μορφή των διατομών πλακοδοκού. Η λογική με την οποία τροποποιούνται οι διατομές των περιμετρικών υποστυλωμάτων της ανωδομής στους υπόγειους ορόφους, παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Στο σημείο αυτό όμως θα πρέπει να σημειωθεί το εξής: Ο ένας εκ των δυο λόγων για τους οποίους προσδίδεται στα περιμετρικά υποστυλώματα διατομή πλακοδοκού στους υπόγειους ορόφους, είναι η προσομοίωση της καμπτικής λειτουργίας του περιμετρικού τοιχώματος του υπογείου. Δεν θα πρέπει με τις τροποποιήσεις των διατομών να διαταραχθεί η διατμητική λειτουργία του τοιχώματος για την προσομοίωση της οποίας είναι επιφορτισμένες οι διαγώνιες ράβδοι. Για το σκοπό αυτό προσδίδονται στα περιμετρικά υποστυλώματα των υπογείων διατομές πλακοδοκού, αλλά με την χρήση κατάλληλων μειωτικών συντελεστών επιτυγχάνεται η μείωση των επιφανείων διατμησης των διατομών αυτών προκειμένου αυτές να εξακολουθήσουν να αντιστοιχούν στην αρχική διατομή του στύλου.

Για την προσομοίωση της λειτουργίας ενός περιμετρικού τοιχώματος υπογείου ως φορέα που παραλαμβάνει τις πλευρικές ωθήσεις των γαιών που περιβάλλουν τα υπόγεια, το ΡΑΦ δημιουργεί αυτομάτως ανεξάρτητα προσομοιώματα, που περιγράφονται συνοπτικά στο σχήμα 8.36.

Όπως βλέπουμε στο συγκεκριμένο σχήμα, μορφώνονται δύο διαφορετικά προσομοιώματα, που χαρακτηρίζονται ως «MONTEΛΟ Α» και «MONTEΛΟ Β». Το πρώτο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της λειτουργίας των περιμετρικών τοιχωμάτων όλων των υπόγειων ορόφων πλην του τελευταίου ο οποίος είναι εν επαφή με το έδαφος. Το μοντέλο αυτό είναι μία δοκός μήκους ίσου με το μήκος του αντίστοιχου υπόγειου ορόφου, τα άκρα της οποίας θεωρούνται μερικώς πακτωμένα (εδώ χρησιμοποιείται η σχετική δυνατότητα του στοιχείου του ΡΑΦ, Παράγραφος 5.5) με βαθμό πάκτωσης 50% (δηλ. οι ροπές που αναπτύσσονται στα άκρα της δοκού θεωρούνται ίσες με το 50% των ροπών πλήρους πάκτωσης). Η παραδοχή μερικής πάκτωσης γίνεται για να προσομοιωθούν οι συνθήκες σύνδεσης μεταξύ του τοιχώματος υπογείου και των πλακών των υπογείων ορόφων. Η διατομή της ισοδύναμης αυτής δοκού είναι ορθογωνική και προκύπτει με τη θεώρηση μίας λωρίδας τοιχώματος μήκους ενός μέτρου. Δηλαδή είναι μία ορθογωνική διατομή $1.00 \times (t_w)$, όπου t_w είναι το πάχος του τοιχώματος. Η φόρτιση της δοκού, συνίσταται από τις ωθήσεις των γαιών οι οποίες υπολογίζονται όπως ακριβώς και στην περίπτωση των τοίχων αντιστήριξης.



Σχήμα 8.36 Τα προσομοιώματα που παράγει αυτόματα το ΡΑΦ για την προσομοίωση των περιμετρικών τοιχωμάτων υπογείου ως φορέων που παραλαμβάνουν τις πλευρικές ωθήσεις γαιών.

Το άλλο μοντέλο (MONTELO B) χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της λειτουργίας των περιμετρικών τοιχωμάτων του τελευταίου υπογείου ορόφου ο οποίος είναι εν επαφή με το έδαφος. Πρόκειται για το προσομοίωμα μίας δοκού η οποία στο ένα της (άνω) άκρο θεωρείται ως μερικώς πακτωμένη (ακριβώς όπως και στην περίπτωση του MONTEΛΟΥ A), ενώ στο άλλο (το κάτω) θεωρείται ως αρθρωτά στηριγμένη (ελεύθερα στρεπτή). Η διατομή της δοκού αυτής προκύπτει με ανάλογο σκεπτικό όπως και στην περίπτωση του MONTEΛΟΥ A. Η φόρτιση της συνίσταται τόσο από τις ωθήσεις των γαιών, όσο και από μία σημειακή ροπή κάμψης η οποία εφαρμόζεται στο ελεύθερα στρεπτό άκρο και υπολογίζεται με τρόπο που παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα. Η θεώρηση της ροπής αυτής έχει ως στόχο την προσομοίωση της έντασης που δέχεται το τοίχωμα από τις τάσεις εδάφους οι οποίες μεταφέρονται σε αυτό λόγω της μονολιθικής του σύνδεσης με το πέλμα επί του οποίου εδράζεται.

Από τα προσομοιώματα που περιγράψαν παραπάνω (τόσο το προσομοίωμα του σχήματος 8.35 όσο και τα δύο προσομοιώματα του σχήματος 8.36) προκύπτουν όλα εκείνα τα μεγέθη έντασης με τα οποία ελέγχεται η επάρκεια των οριζοντίων και των κατακορύφων ράβδων οπλισής που τοποθετούνται σε ένα περιμετρικό τοίχωμα, για να καλύψουν την σύνθετη λειτουργία του.