

ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

**ΠΑΠΑΣΤΕΡΓΙΟΥ ΠΑΝΟΣ
ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ**

Περίληψη

Στην εργασία που παρουσιάζουμε γίνεται μία προσπάθεια προσέγγισης του αντικειμένου της ενίσχυσης και της επισκευής των τοιχωμάτων σε θεωρητική αλλά και πρακτική βάση. Με την αριθμητική εφαρμογή που παραθέτουμε, ευελπιστούμε να δώσουμε ένα βοήθημα χρήσιμο σε κάθε μηχανικό που ασχολείται με τις επισκευές.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στις κατασκευές, σαν κύριο μέσο αντίστασης έναντι του σεισμού, αλλά και των φορτίων του ανέμου. Τα τοιχώματα συνεργάζονται με το πλαίσιακό σύστημα δοκών –υποστυλωμάτων (δυαδικό σύστημα), καθώς η αξονική δυσκαμψία των πατωμάτων επιβάλλει κοινές οριζόντιες μετακινήσεις στο σύστημα στις στάθμες των ορόφων.

Όλες οι αναλύσεις για την σωστή τοποθέτηση και σωστή κατασκευή των τοιχωμάτων, έγιναν στην προσπάθεια των μηχανικών να επισκευάσουν τα υπάρχοντα βλαβέντα τοιχώματα, ώστε να λειτουργούν σωστά στην ανάληψη των σεισμικών δράσεων.

Παρόλη την αναγκαιότητα της επισκευής και ενίσχυσης των υπαρχόντων τοιχωμάτων ενός κτιρίου, η παρεχόμενη βιβλιογραφία για τον ανασχεδιασμό τους, είναι ελάχιστη σε σύγκριση με τις πληροφορίες που δίνονται για τον ανασχεδιασμό των άλλων φερόντων στοιχείων του κτιρίου. Στην σύλληψη και τη μεθοδολογία της αναδιαστασιολόγησης ενός βλαβέντος τοιχώματος, μπορεί να συμβάλλει η εφαρμογή που παρατίθεται στο τελευταίο κεφάλαιο.

2. ΑΝΑΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Όσον αφορά τον επαναυπολογισμό του φέροντος οργανισμού μετά την επέμβαση απαιτείται η γνώση της ακαμψίας και της πλαστιμότητας των επισκευασμένων, καθώς και των νέων πρόσθετων στοιχείων για τον καθορισμό του συντελεστή συμπεριφοράς αφενός και την εισαγωγή των ακαμψιών ως δεδομένων για την ανάλυση, αφετέρου. Εξάλλου, για την διαστασιολόγηση απαιτείται η γνώση της φέρουσας ικανότητας των επισκευασμένων στοιχείων. Τα τρία αυτά μεγέθη, φέρουσα ικανότητα, ακαμψία και πλαστιμότητα στα επισκευασμένα στοιχεία, προσδιορίζονται κατά τρόπο όχι ιδιαίτερα αξιόπιστο και τούτο γιατί:

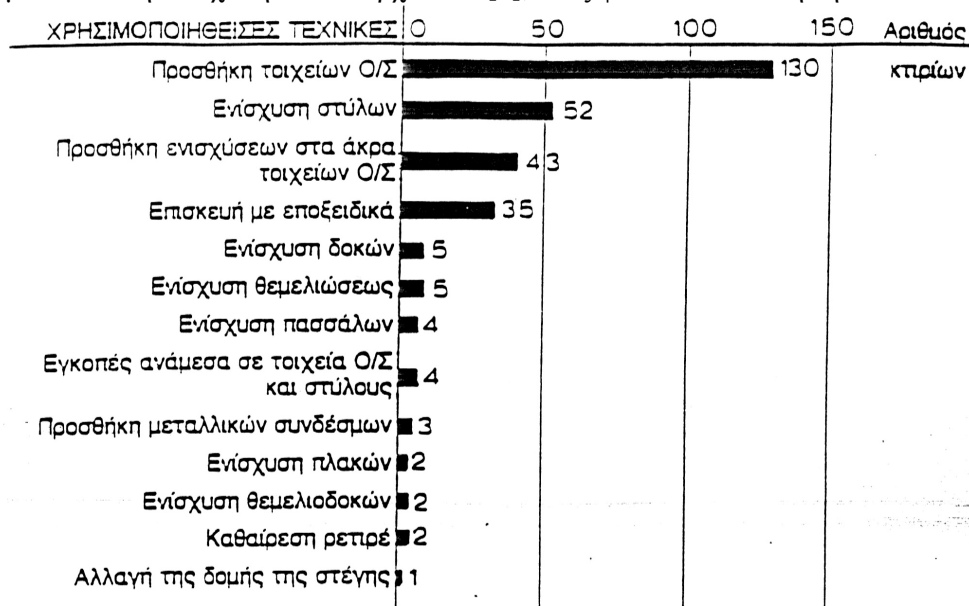
(α) Δεν υπάρχει επαρκής πειραματική αλλά και θεωρητική τεκμηρίωση για τη μηχανική συμπεριφορά στις διεπιφάνειες παλιού και νέου υλικού και της επιρροής της στην αντοχή, ακαμψία και πλαστιμότητα του επισκευασμένου στοιχείου ως σύνολο.

(β) Είναι προβληματική η αξιόπιστη εκτίμηση ανακατανομής της εντάσεως στο παλιό στοιχείο και στην ενίσχυσή του, δοθέντος ότι το παλιό στοιχείο είναι ήδη προφορτομένο από τα φορτία βαρύτητας.

(γ) Ο βαθμός καλότεχνης εφαρμογής στο έργο επηρεάζει δραστικά τα αποτελέσματα.

Προς μερική κάλυψη των παραπάνω αβεβαιοτήτων, ο EC 8-part 4 συστήνει την εισαγωγή αυξημένων τιμών στους μερικούς συντελεστές ασφαλείας g_m των υλικών επισκευής. Σύμφωνα με στατιστικές μελέτες που έγιναν στην Ιαπωνία και το Μεξικό, η

κύρια χρησιμοποιηθείσα τεχνική ενίσχυσης κτιρίων από Ο.Σ., ήταν η προσθήκη τοιχωμάτων και η ενίσχυση των υπαρχόντων [2], όπως φαίνεται σε αυτή την σελίδα.



Τεχνικές ενισχύσεως που χρησιμοποιήθηκαν σε 157 κτίρια από Ο/Σ στην Ιαπωνία

Τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης εφαρμοσθείσες σε 114 κτίρια από Ο/Σ στο Μεξικό, αναλόγως του αριθμού ορόφων

Τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης	Αριθμός Ορόφων			
	<5	6-8	9-12	>12
Σφράγιση ρωγμών	1	1	0	0
Εποξειδικές ρητίνες	2	2	3	2
Αντικατάσταση	7	8	5	6
Υδραυλικοί γρύλοι	1	1	1	0
Μανδύες Ο/Σ σε στύλους	11	18	26	5
Μανδύες χάλυβα σε στύλους	2	7	10	2
Μανδύες Ο/Σ σε δοκούς	4	7	14	2
Μανδύες χάλυβα σε δοκούς	1	0	3	1
Τοιχεία Ο/Σ	8	12	16	9
Τοιχεία πληρώσεως πλαισίων	4	9	2	2
Χαλύβδινοι διαγώνιοι	0	7	7	2
Πλαίσια Ο/Σ	1	3	3	3
Πρόσθετα στοιχεία	3	3	4	2
Αποκατάσταση αποκλίσεων	0	1	2	2
Νέοι πάσσαλοι	2	4	8	3

3. ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

Συνοπτικές οδηγίες για επισκευή του φέροντος οργανισμού κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, με βλάβες από σεισμό. [4]

(α) Απλή ρηγματώση

Στην περίπτωση αυτή οι ρωγμές συγκολλώνται με χρήση εποξειδικής ρητίνης. Τα στοιχεία σε κτίρια που μελετήθηκαν με παλαιότερους κανονισμούς, έχουν μειωμένους οπλισμούς, το οποίο οφείλεται στις παραδοχές ανάλυσης που εφαρμόζονταν παλαιότερα. Η σφράγιση λοιπόν των ρωγμών με ρητίνες, τις περισσότερες φορές δεν είναι αρκετή και γι' αυτό συνίσταται η ενίσχυση των τοιχείων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος, ή με χρήση σύνθετων υλικών.

(β) Αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

- Τρόπος Α
 - Υποστύλωση
 - Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος
 - Αντικατάσταση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος όπου έχει καθαιρεθεί, με έγχυτο σκυρόδεμα ή με έτοιμο κονίαμα .
 - Τοποθέτηση, ως ελάχιστου οπλισμού από κάθε πλευρά του τοιχώματος , δομικού πλέγματος 100 ×100×4,5.Συνίσταται η συγκέντρωση του οπλισμού στα άκρα του τοιχώματος .
 - Σύνδεση των δομικών πλεγμάτων με εγκάρσιους συνδέσμους Φ12 έναν ανά δύο τετραγωνικά μέτρα .
 - Διάστρωση έγχυτου ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή έτοιμου κονιάματος για τη δημιουργία του διπλού μανδύα .
- Τρόπος Β
 - Υποστύλωση
 - Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος ,όσο είναι δυνατή .
 - Αντικατάσταση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος όπου έχει καθαιρεθεί, με έγχυτο σκυρόδεμα ή με έτοιμο κονίαμα
 - Τοποθέτηση στρώσεων σύνθετου υλικού στις δύο παρειές του στοιχείου.

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

Για την ενίσχυση των τοιχωμάτων μπορούν να εφαρμοστούν οι τεχνικές που εφαρμόζονται και στα υποστυλώματα, δηλαδή η τεχνική της περίσφιγξης και η τεχνική των μανδύων Ο.Σ. με κατάλληλες αναπροσαρμογές.

(α) Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιγξη

Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και σε τοιχώματα με τις ίδιες διαδικασίες που έχουν αναφερθεί για τα υποστυλώματα. Όμως ο μεγάλος λόγος πλευρών τους δεν επιτρέπει αξιόλογη απόδοση της περίσφιγξης και για αυτό το λόγο δεν συνίσταται εν γένει. Από όλες τις εφικτές διαδικασίες της τεχνικής θα μπορούσαμε να ξεχωρίσουμε αυτή του μεταλλικού κλωβού η οποία μπορεί να φανεί χρήσιμη για τους εξής λόγους:

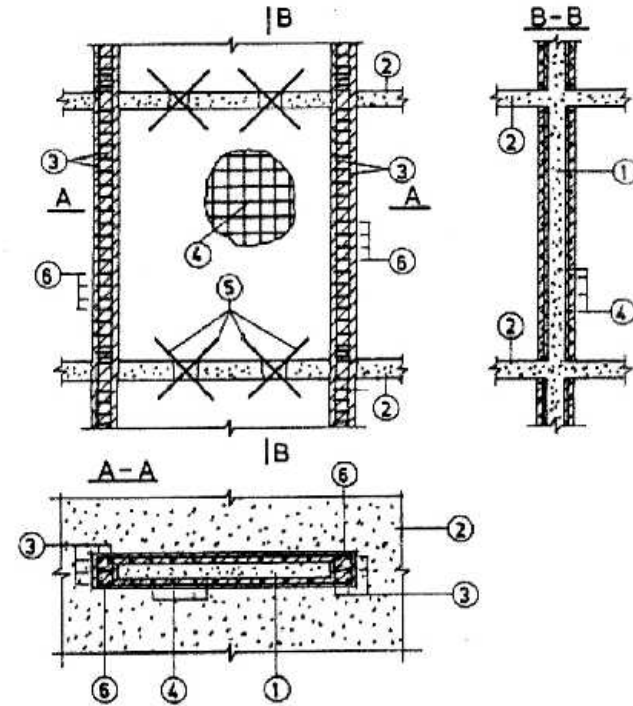
i Η μικρή απόδοση της περίσφιγξης μπορεί να αυξηθεί με την παρεμβολή διαμπερών μεταλλικών συνδέσμων σχήματος Z ή Π , που ηλεκτροσυγκολλούνται στα απέναντι μεταλλικά ελάσματα των κλωβών. Η απόσταση των μεταλλικών συνδέσμων είναι της τάξης των 300 mm και το κενό των οπών ,μεταξύ των συνδέσμων και των τοιχωμάτων , συμπληρώνεται με εποξειδική ρητίνη.

ii Η τεχνική προσφέρει στην ανάληψη τεμνουσών δυνάμεων.

iii Η τεχνική εξακολουθεί να αποτελεί αποτελεσματική λύση προσωρινής άμεσης ανάληψης κατακόρυφων φορτίων σε τοιχώματα ,που λόγω της σοβαρής βλάβης τους αδυνατούν να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία.

(β) Ενίσχυση τοιχωμάτων με μανδύες Ο.Σ.

Η τεχνική των μανδύων είναι η περισσότερο διαδεδομένη και πλέον αποτελεσματική για την ενίσχυση των τοιχωμάτων. Όμως λόγω του μεγάλου μήκους της μιας διάστασης , συχνά ο μανδύας δεν έχει κλειστή μορφή και ουσιαστικά πρόκειται για μονόπλευρη ή δίπλευρη αύξηση του πάχους του τοιχώματος ή για ενίσχυση των άκρων τους. Η προτιμότερη μορφή μανδύα είναι αυτή που ο μανδύας περιβάλλει το παλιό τοίχωμα , γιατί έτσι μπορούν να ικανοποιηθούν οι περισσότερες από τις απαιτήσεις των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών. Η εφαρμογή της τεχνικής για την προετοιμασία της επιφάνειας και την τοποθέτηση των νέων οπλισμών είναι ακριβώς ίδια με αυτήν των υποστυλωμάτων. Επίσης το νέο σκυρόδεμα μπορεί να είναι είτε έγχυτο επί τόπου, είτε εκτοξευόμενο.



Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα.

1. Παλιό τοίχωμα
2. Παλιά πλάκα
3. Πρόσθετος διαμήκης οπλισμός
4. Πρόσθετο πλέγμα
5. Διαγώνιοι σύνδεσμοι
6. Πρόσθετοι συνδετήρες

Παρατηρούμε ότι για την εξασφάλιση της συνέχειας του τοιχώματος στις στάθμες των ορόφων διανοίγονται οπές στις πλάκες και τοποθετούνται διαγώνιοι σύνδεσμοι μορφής X.[5]

5. Διαστασιολογηση

Στον Ευρωκώδικα 8 δεν προτείνονται συντελεστές μονολιθικότητας για την περίπτωση ενίσχυσης

των τοιχωμάτων. Διατηρώντας την αντιμετώπιση των ενισχυμένων τοιχωμάτων ως μονολιθικών στοιχείων, με χρήση διορθωτικών συντελεστών για την αντοχή και την δυσκαμψία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές που ισχύουν για τους μανδύες υποστυλωμάτων. Δηλαδή :

$$K_r = 0,80 \quad K_k = 0,70 - 1,00$$

Υπό την προϋπόθεση ότι :

(α) Έχει αποκατασταθεί η συνέχεια του τοιχώματος στην περιοχή της βλάβης, πριν από την κατασκευή του μανδύα.

(β) Όλες οι νέες ράβδοι είναι καλά αγκυρωμένες στον αρχικό φορέα.

(γ) Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν ξεπερνά το διπλάσιο της διατομής του αρχικού τοιχώματος.

Σε κάθε περίπτωση, ένας συντηρητικός σχεδιασμός των φερόντων στοιχείων της κατασκευής μπορεί να γίνει με βάση τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από δύο αναλύσεις. Στην πρώτη ανάλυση η δυσκαμψία των ενισχυμένων τοιχωμάτων εκτιμάται θεωρώντας $K_k = 0,70$. Στην δεύτερη ανάλυση η δυσκαμψία των τοιχωμάτων εκτιμάται με παραδοχή μονολιθικής σύνδεσης μανδύα και αρχικού τοιχώματος, δηλαδή η τελική διατομή θεωρείται ενιαία και επομένως λαμβάνεται $K_k = 1,00$.

Από τα αποτελέσματα της δεύτερης ανάλυσης προκύπτουν οι δυσμενέστερες τιμές για τις τέμνουσες σχεδιασμού των ενισχυμένων τοιχωμάτων. Γι' αυτό και οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται συντηρητικά για τον σχεδιασμό τους. Στην εκτίμηση της διατμητικής αντοχής του τοιχώματος λαμβάνεται υπ' όψιν και η συνεισφορά του αρχικού τοιχώματος, υπό την προϋπόθεση ότι οι συνδετήρες είναι κλειστοί και καλά αγκυρωμένοι. Θεωρώντας

ότι ο συντελεστής μονολιθικότητας για την αντοχή είναι ίσος με 0,8 η τέμνουσα

σχεδιασμού του μανδύα προκύπτει από την σχέση : $V_{jd} = \frac{1}{K_k} (V_d - V_{res}) = \frac{V_d}{0,8} - V_R$

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Πέρα από τις γνωστές κατασκευαστικές διατάξεις για το πάχος του μανδύα και τους ελάχιστους οπλισμούς, παρατίθενται και οι ακόλουθες, οι οποίες χρησιμοποιούνται και στην εφαρμογή που ακολουθεί.

(α) Η αντοχή σκυροδέματος του μανδύα πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά μία κατηγορία από αυτή του αρχικού τοιχώματος.

(β) Σε μονόπλευρους μανδύες είναι προτιμότερο να τοποθετούνται δίδυμα βλήτρα μορφής Π. Σε αμφίπλευρους μανδύες τα βλήτρα πρέπει να είναι διαμπερή και να μορφώνονται σε σχήμα Ζ. Οι αποστάσεις μεταξύ των βλήτρων πρέπει να είναι το πολύ έως 60 cm και στις δύο διευθύνσεις.

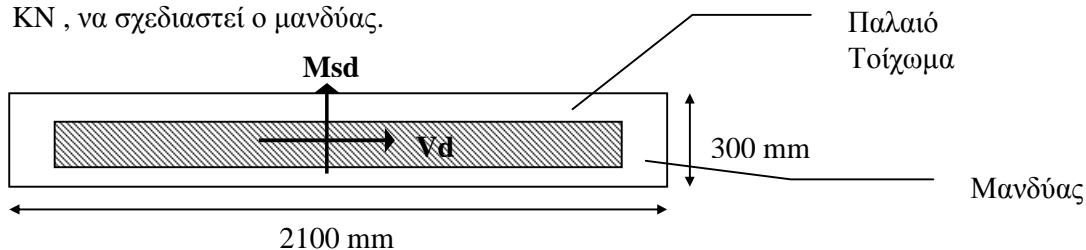
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από πρακτικής πλευράς ο προσδιορισμός της διαθέσιμης και της απομένουσας σεισμικής ικανότητας εμπεριέχει πάντα υψηλό βαθμό αβεβαιότητας, λόγω της υποκειμενικότητας που υπεισέρχεται στην εκτίμηση σεισμικής αντοχής των δομικών στοιχείων του φορέα, προ και μετά το σεισμό.

Από τεχνολογικής πλευράς οι διάφορες εναλλακτικές λύσεις επεμβάσεως δεν είναι πάντα υλοποιήσιμες. Έτσι κατασκευές που κτίστηκαν χωρίς προβλέψεις πλαστιμότητας απαιτούν μεγάλη αύξηση αντοχής, με πρόσθετα στοιχεία, που οδηγεί συνήθως σε προβλήματα θεμελιώσεως, αλλά πολύ συχνά και σε προβλήματα λειτουργικά του κτιρίου.

8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ

Σε τοίχωμα από σκυρόδεμα C16/20, πάχους 200 mm, μήκους 1200 mm και ύψους 2500 mm, με οριζόντιους συνδετήρες κλειστούς Φ8/200 S220 αποφασίζεται ενίσχυσή του με κλειστό μανδύα πάχους 5 cm στην μεγάλη διάσταση και δημιουργία κρυφών υποστυλωμάτων στα άκρα του τοιχώματος. Η ροπή σχεδιασμού M_{sd} είναι 1500 KNm και η αξονική θλιπτική δύναμη N_d που παραλαμβάνει το τοίχωμα είναι 500 KN. Αν η τέμνουσα ανασχεδιασμού του τοιχώματος V_d έχει προκύψει από την ανάλυση ίση με 500 KN, να σχεδιαστεί ο μανδύας.



Η τέμνουσα αντοχής του αρχικού τοιχώματος θα είναι:

$$V_R = \frac{A_{sw}}{S} f_{yd} 0,9d = \frac{2 \cdot p \cdot 0,4^2 \cdot 10^{-4}}{0,2} \cdot \frac{220000}{1,15} \cdot 0,9 \cdot 1,16 = 100,39 \text{ KN}$$

Όπου $d = h - d_1 \Rightarrow d = 1,2 - (0,03 + 0,008 + \frac{f_L}{2}) \Rightarrow d \cong 1,16 \text{ m}$ και $A_{sw} = 2 \cdot \text{εμβαδόν}$

διατομής συνδετήρα, επειδή έχουμε δίμητους συνδετήρες. ($c = 0,03 \text{ m}$)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συντελεστής μονολιθικότητας για την αντοχή έχει θεωρηθεί ίσος με 0,8, η τέμνουσα σχεδιασμού του μανδύα προκύπτει από την σχέση:

$$V_{jd} = \frac{1}{K_K} (V_d - V_{res}) = \frac{V_d}{0,8} - V_R \Rightarrow V_{jd} = \frac{500}{0,8} - 100,39 = 524,61 \text{ KN}$$

Η σχέση που μπορεί να περιγράψει την λογική της επισκευής του τοιχώματος είναι η ακόλουθη:

$$V_{ol} = V_{cd} + V_{wd} \Rightarrow V_{ol} = V_{cd} + V_{wd}^{palaiou} + V_{wd}^{neou} \Rightarrow V_{wd}^{neou} = V_{ol} - V_{cd} - V_{wd}^{palaiou} \Leftrightarrow$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,8l_w f_{ywd} = \frac{V_d}{0,8} - V_{cd} - V_R \Leftrightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{jd} - V_{cd}}{0,8l_w f_{ywd}} \quad (1) \text{ η οποία δίνει τον οριζόντιο}$$

οπλισμό του μανδύα.

Έλεγχος μανδύα σε κάμψη

Οι ελάχιστες διαστάσεις κρυφών υποστυλωμάτων είναι : Πλάτος $b \geq 0,25 \text{ m}$, Μήκος $h =$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5b = 0,45m \\ 0,15l_w = 0,225m \end{array} \right\} = 0,45m . \text{ Άρα οι τελικές διαστάσεις είναι } b = 0,3m \text{ και } h = 0,45m$$

$$\text{Οπότε } l_w = 1,2 + 2 \cdot 0,45 = 2,1m$$

Θεωρούμε σαν ελάχιστο κατακόρυφο οπλισμό κορμού (κρίσιμη περιοχή)

$$\max \left\{ \begin{array}{l} A_{sv/s} = 0,0025 \cdot b = 0,0025 \cdot 0,3 \cdot 10^6 = 750mm^2 / m \\ \Phi 10 / 200 \rightarrow 785mm^2 / m \end{array} \right. , \text{ άρα } A_{sv/s} = 785mm^2 / m$$

Όπου b το πλάτος του κορμού του τοιχώματος.

Τα $\Phi 10/200$ τοποθετούνται σε κάθε παρειά δηλ. $A_{sv/s} = 2 \cdot p \cdot 5^2 / 0,2 = 785mm^2 / m$ και αντιστοιχούν σε συνολική διατομή μεταξύ των κέντρων των δύο ακραίων ενισχυμένων περιοχών : $A_{sv} = 785mm^2 / m \cdot (2,1 - 2 \cdot 0,45 \cdot 0,5)m = 1295mm^2$, δηλαδή 16 $\Phi 10$ και στις δύο παρειές .

Το βάθος της θλιβόμενης ζώνης x , ισούται με:

$$x = l \frac{A_{sv} f_{yd} - N_d}{2A_{sv} f_{yd} + 0,68b f_{cd}} \Rightarrow x = 1,65 \cdot \frac{\frac{1295 \cdot 0,5}{1,15} - (-500)}{\frac{2 \cdot 1295 \cdot 0,5}{1,15} + \frac{0,68 \cdot 0,3 \cdot 1,65 \cdot 20000}{1,5}} = 0,31m$$

Όπου $l = (2,1 - 2 \cdot 0,45 \cdot 0,5) = 1,65m$ και $b =$ πλάτος κρυφού υποστυλώματος

$$M_{Rd} = 0,5(A_{sv} f_{yd} - N_d)(l_w - x) \Rightarrow M_{Rd} = 0,5 \cdot \left(1295 \cdot \frac{0,5}{1,15} + 500 \right) \cdot (2,1 - 0,31) = 951,52KNm$$

$M_{Rd} \leq M_{sd} = 1500KNm$, επομένως υπολογίζεται ο οπλισμός στα άκρα ικανός να παραλάβει την διαφορά $M_{sd} - M_{Rd}$ με $N_d = 0$. Σε κάθε άκρο τοποθετούνται :

$$A_{s1} = \frac{M_{sd} - M_{Rd}}{f_{yd}(l_w - 2d_1)} + A_{sv/s} \frac{h_{kryfou}}{2} \Rightarrow A_{s1} = \frac{1,15 \cdot (1500 - 951,52)}{0,5 \cdot (2,1 - 2 \cdot 0,45 \cdot 0,5)} + 785 \cdot \frac{0,45}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{s1} = 941mm^2$$

Οι κατακόρυφοι οπλισμοί άκρου πρέπει να ικανοποιούν τις αντίστοιχες κατασκευαστικές διατάξεις των υποστυλωμάτων , δηλαδή $0,01A_c \leq A_{s1} \leq 0,04A_c \Rightarrow$

$$0,01 \cdot 300 \cdot 450 \leq A_{s1} \leq 0,04 \cdot 300 \cdot 450 \Rightarrow 1350mm^2 \leq A_{s1} \leq 5400mm^2$$

Επομένως τοποθετούνται τα ελάχιστα. $A_{s1} = 1350mm^2 \Rightarrow 9\Phi 14$ σε κάθε κρυφό.

Έλεγχος μανδύα σε διάτμηση με βάση την V_{jd}

Λόγω κατασκευαστικών διατάξεων η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα πρέπει είναι υψηλότερη κατά μία κατηγορία από αυτήν του αρχικού τοιχώματος. Δηλαδή C 20/25.

α) Έλεγχος αντοχής του κορμού του μανδύα σε λοξή θλίψη

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \\ 0,7 - \frac{f_{ck}}{200} \end{array} \right\} f_{cd} b_w (0,8l_w) , \text{ άρα}$$

$$V_{Rd2 \min} = K_r V_{Rd2} \Rightarrow V_{Rd2 \min} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \\ 0,7 - \frac{20}{200} = 0,6 \end{array} \right\} \cdot \frac{20000}{1,5} \cdot 0,3 \cdot 0,8 \cdot 2,1 \Leftrightarrow$$

$$V_{Rd2}^{\min} = 1612,8 \text{ KN}$$

$$\text{Πρέπει } V_{jd} \leq V_{Rd2} \Rightarrow 524,61 \leq 1612,8 \text{ O.K.}$$

β) Οι απαιτούμενοι οριζόντιοι οπλισμοί κορμού του μανδύα , για χάλυβα S500 , θα είναι:

$$\text{Λόγος διάτμησης: } a_s = \frac{M_{sd}}{V_{sd} l_w} \Rightarrow a_s = \frac{1500}{500 \cdot 2,1} = 1,4 \text{ δηλαδή } 1,3 \leq a_s < 2,0 \text{ οπότε εκτός από}$$

τη διαστασιολόγηση των οριζόντιων οπλισμών κατά τη σχέση (1), χρειάζεται να υπολογιστεί και η απαιτούμενη διατομή των κατακόρυφων οπλισμών του κορμού,

$$\frac{A_{sv}}{s} \geq \frac{V_{sd} - V_{cd} - N_{sd}}{f_{ywd} \cdot 0,8l_w} \quad (2), \text{ με } N_{sd} \text{ θετική για θλίψη. Η σχέση (1) δίνει:}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{jd} - V_{cd, \text{monol}}}{0,8l_w f_{ywd}} \Rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{524,61 - 0,8 \cdot 45,76}{0,8 \cdot 2,1 \cdot \frac{500000}{1,15}} = 6,68 \cdot 10^{-4} \Rightarrow s = \frac{A_{sw}}{6,68 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow$$

$$s = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{6,68 \cdot 10^{-4}} = 0,15 \text{ m. Επομένως θα έχω } \Phi 8/150, \{350 \text{ mm}^2 / \text{ m}\}$$

Οι κατασκευαστικές απαιτήσεις για την κρίσιμη περιοχή είναι : ελάχιστο ποσοστό οπλισμού $0,25\% \quad 375 \text{ mm}^2 / \text{ m} < 350 \text{ mm}^2 / \text{ m}$ (τοποθετούνται τα ελάχιστα) και μέγιστη απόσταση $200 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$ O.K. Η σχέση (2) δίνει :

$$\frac{A_{sv}}{s} \geq \frac{524,61 - 0,8 \cdot 45,76 - 500}{f_{ywd} \cdot 0,8l_w} < 0 \text{ άρα αρκεί ο ελάχιστος κατακόρυφος οπλισμός}$$

κορμού των $\Phi 10/200$.

γ) Συνδετήρες περίσφιξης των κρυφών υποστυλωμάτων στην κρίσιμη περιοχή

Η διάμετρος των συνδετήρων f_h επιλέχθηκε ίση με 10 mm. (Ελάχιστη διάμετρος 8 mm)

$$A_o = h_o b_o = (h - 2c - 2f_h)(b - 2c - 2f_h) =$$

$$= (0,45 - 2 \cdot 0,03 - 2 \cdot 0,012) \cdot (0,3 - 2 \cdot 0,03 - 2 \cdot 0,012) = 0,084 \text{ m}^2$$

$$A_c = bh = 0,3 \cdot 0,45 = 0,135 \text{ m}^2$$

$$v_d = \left[0,5 \left(0,5 N_{sd} + \frac{M_{sd}}{l_w - 2d_1} \right) \right] \cdot \frac{1}{A_c f_{cd}} = \left[0,5 \cdot \left(500 \cdot 0,5 + \frac{1500}{2,1 - 2 \cdot 0,225} \right) \right] \cdot \left(0,135 \cdot \frac{20000}{1,5} \right)^{-1} = 0,322$$

$$\text{όπου } d_1 = h/2 \Rightarrow d_1 = 0,225 \text{ m}$$

$$a_n = 1 - \frac{2(b_o + h_o)^2}{3b_o h_o n} = 1 - \frac{2 \cdot (0,216 + 0,366)^2}{3 \cdot 0,216 \cdot 0,366 \cdot 9} = 0,683$$

$n = 9$ κατακόρυφα σίδερα του κρυφού υποστυλώματος.

$$a_s = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,56 \\ \left(1 - \frac{0,5 \cdot s}{\min(b_o, h_o)} \right)^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{έστω ότι το μεγαλύτερο είναι το } 0,56, \text{ υποθέτοντας ότι}$$

η απόσταση των συνδετήρων θα προκύψει μικρότερη από $0,5 \min(b_o, h_o) = 0,5 \cdot 0,216 = 0,108m$

$$w_{wd} \geq \left[0,85 \left(0,35 \frac{A_c}{A_o} + 0,15 \right) v_d - 0,035 \right] \cdot \frac{1}{a_n a_s} \Rightarrow$$

$$w_{wd} \geq \left[0,85 \left(0,35 \cdot \frac{0,135}{0,084} + 0,15 \right) 0,322 - 0,035 \right] \cdot \frac{1}{0,683 \cdot 0,56} \Leftrightarrow w_{wd} \geq 0,41$$

Πρέπει να έχω ογκομετρικό ποσοστό $w_{wd} \geq 0,1 < 0,41$ Ο.Κ.

Το w_{wd} ισούται με:

$$w_{wd} = 2 \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{n_b}{b} \\ \frac{n_h}{h} \end{array} \right\} \cdot \frac{\rho f_h^2}{4s} \cdot \frac{f_{ywd}}{f_{cd}} \geq 1,8 \Rightarrow s \leq 2 \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \\ 0,30 \\ 2 \\ 0,45 \end{array} \right\} \cdot \frac{\rho \cdot 0,010^2}{4 \cdot 0,41} \cdot \frac{500 \cdot 1,5}{20 \cdot 1,15} = 0,056m$$

Όπου $n_b = 2$ γιατί έχουμε δύο σκέλη συνδετήρα κάθετα στη πλευρά b

Και $n_h = 2$ γιατί έχουμε δύο σκέλη συνδετήρα κάθετα στη πλευρά h

Οπότε $s \leq 0,056m$

Προσδιορισμός διατμητικών συνδέσμων

Αγνοείται η συνεισφορά της πρόσφυσης και της τριβής και όλο το διατμητικό φορτίο ανατίθεται σε μηχανικά βλήτρα. Επιλέγονται διατμητικοί σύνδεσμοι S500 διαμέτρου Φ14.

Αντοχή βλήτρου: $D_{bd} = 0,65 d_b^2 \sqrt{f_{ck} f_{yk}} \Rightarrow D_{bd} = 0,65 \cdot 0,014^2 \cdot \sqrt{20 \cdot 500 \cdot 10^6} = 12,74 \text{ KN}$

$$D_{bd} = c d_b^2 f_y \Rightarrow D_{bd} = 0,175 \cdot 0,014^2 \cdot 500 \cdot 10^3 = 17,15 \text{ KN}$$

Όπου d_b διάμετρος βλήτρου.

$$\text{Αντοχή βλήτρου } D_{bd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 12,74 \\ 17,15 \end{array} \right\} = 12,74 \text{ KN}$$

Πλήθος απαιτούμενων βλήτρων :

$$n = \frac{V_{jd} g_d}{D_u} \Rightarrow n = \frac{524,61}{12,74} = 41,18 \cong 41, \text{ για αμφίπλευρο μανδύα το εμβαδόν της}$$

επιφάνειας επαφής είναι $A_d = 6m^2$. Οπότε

$$41/6 = 6,8 \cong 7 \text{ blήtra} / m^2 > 1 \text{ blήtro} / m^2 (\text{elácista}) \text{ Ο.Κ.}$$

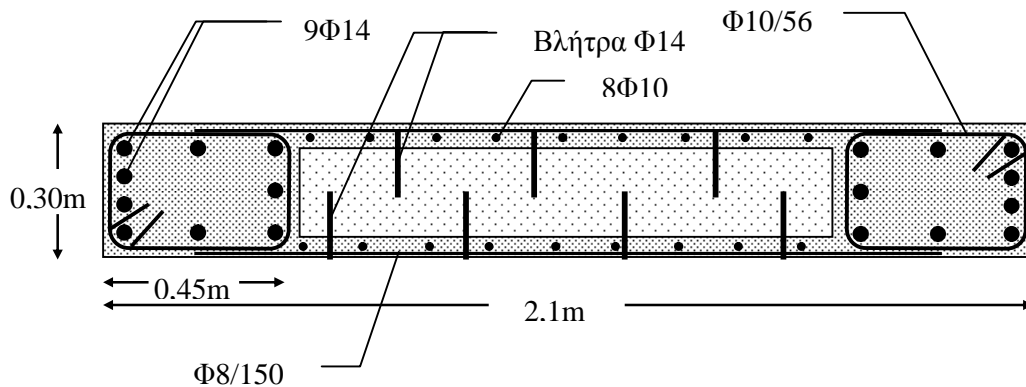
Ακριβέστερα, θεωρώντας ότι η μεταφορά δυνάμεων μεταξύ παλαιού τοιχείου και του μανδύα γίνεται μέσω των μηχανισμών τριβής και της δράσης βλήτρου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον εξής

$$\text{τύπο: } n \geq \left(V_{jd} - A_d \cdot \frac{t_c}{g_c} \right) \cdot \frac{g_d}{D_u} \Rightarrow n \geq \left(524,61 - 6 \cdot \frac{1,7 \cdot 10^3}{2} \right) \cdot \frac{2}{12,74} < 0 \text{ άρα θα}$$

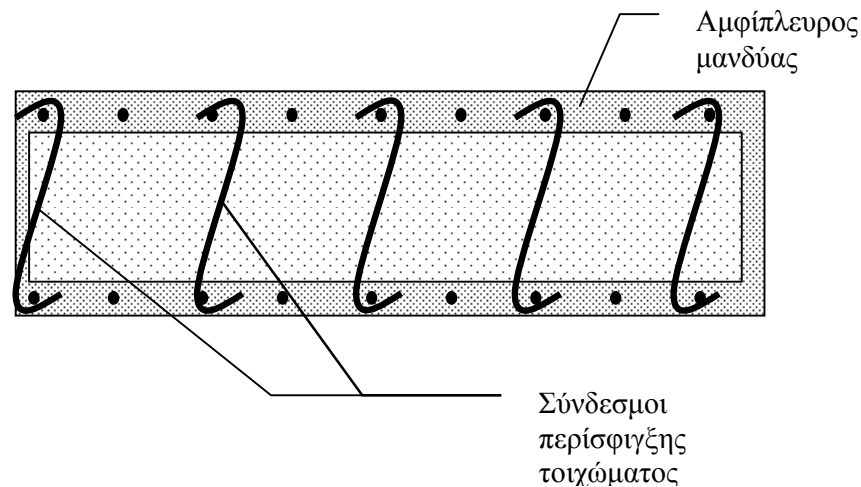
τοποθετηθούν μόνο τα ελάχιστα βλήτρα δηλ. $1\Phi 14/m^2$, ανά 60 cm το πολύ και στις δύο διευθύνσεις (t_c για διεπιφάνεια μετά από αμμοβολή).

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους θα λέγαμε ότι η πρώτη μέθοδος δίνει πιο συντηρητικά αποτελέσματα, ενώ η δεύτερη πιο ακριβή. Όμως στην δεύτερη μέθοδο έχουμε την αβεβαιότητα της ποιότητας της εργασίας εκτράχυνσης των διεπιφανειών.

Η λεπτομερής κάτοψη του μανδύα με τους οπλισμούς που υπολογίστηκαν είναι η εξής:



Ένας τρόπος που θα μπορούσαμε να προτείνουμε για την περίσφιγξη του τοιχώματος είναι ο εξής. Θα κατασκευαστούν σίδερα διατομής $\Phi 14$ και σχήματος S και αφού τρυπηθεί διαμπερώς το παλιό τοίχωμα, θα περαστούν και θα στερεωθούν πάνω στα κατακόρυφα σίδερα του μανδύα όπως φαίνεται καθαρά στο σχήμα.

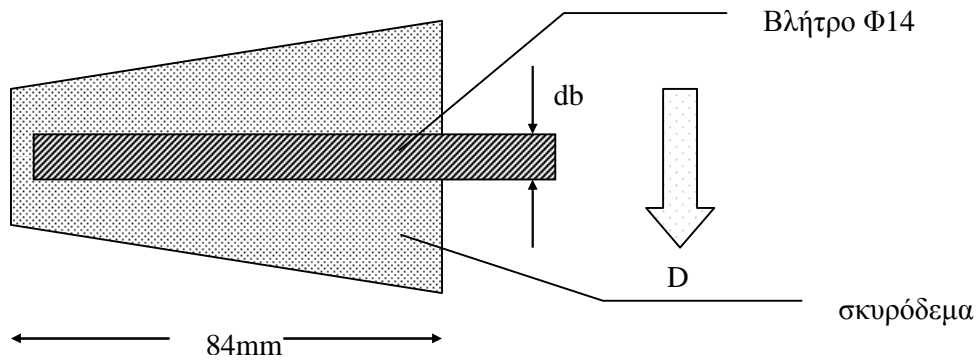


Επειδή τα βλήτρα που θα χρησιμοποιηθούν για το συγκεκριμένο τοίχωμα είναι εμπορίου, [1] θα πρέπει να τηρηθούν αυστηρά οι συστάσεις και οι προδιαγραφές του προμηθευτή, έτσι ώστε να έχουμε σωστή εφαρμογή και εκτίμηση της συμπεριφοράς τους.

Σε περίπτωση κινδύνου πυρκαγιάς επιβάλλεται η προστασία των συνδέσμων και η αύξηση του βάθους εμπήξεως τους. Συνιστάται αύξηση του μήκους κατά 50% του "στατικώς" απαιτούμενου, συνθήκη που μπορεί εύκολα να τηρηθεί με βλήτρα εργοστασίου. Το βάθος αγκύρωσης δίνεται [1] από το τύπο : $l_b = a \cdot d_b$, $a \geq 5$ για

μηχανικά βλήτρα, έστω 6. Οπότε για βλήτρο $\Phi 14$: $l_b = 6 \cdot 14 = 84\text{mm}$, με διάμετρο οπής $d_h = d_b + 2\text{mm} = 14 + 2 = 16\text{mm}$ και ο χάλυβας είναι σκληρός με νευρώσεις.

Μία λεπτομερής απεικόνιση της αγκύρωσης των βλήτρων δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Κάνοντας μια αναφορά στην περίσφιγξη των κρυφών υποστρωμάτων θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι γάντζοι φτιάχνονται εύκολα, η εφαρμογή τους όμως είναι δύσκολη. Πράγματι:

Αν με κάποιο τρόπο τοποθετηθούν οι κλωβοί με τα άγκιστρα, τίθεται σοβαρότατο πρόβλημα ορθής σκυροδέτησης όχι μόνο λόγω της δυσκολίας σωστής δόνησης αλλά και πρόβλημα σωστής περικάλυψης του οπλισμού στα σημεία των άγκιστρων. Σε μία τέτοια περίπτωση όσο καλή προσπάθεια σκυροδέτησης και να γίνει, μετά το ξεκαλούπωμα θα έχουν μείνει φωλιές. Αυτό είναι ένα σημείο που θα έπρεπε να προσεχθεί ιδιαίτερα κατά την διάρκεια κατασκευής.

Αριστερά φαίνεται η κατασκευαστική λεπτομέρεια των κρυφών υποστρωμάτων του τοιχώματος. Όλα τα τσέρκια είναι σωστά γυρισμένα με τα άγκιστρα τους εναλλασσόμενα.[3]

Αξίζει να επισημανθεί η ύπαρξη πλαστικών ροδελών στους κατακόρυφους οπλισμούς για την διασφάλιση του πάχους υλικού που χρειάζεται για την επικάλυψη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΕΕ “Επισκευές και ενισχύσεις – Παραδείγματα Διαστασιολογήσεως” Αθήνα 1987
2. ΤΕΕ 13ο Ελληνικό συνέδριο σκυροδέματος “Ενισχύσεις και επισκευές μετά από σεισμό” Κρήτη 1999
3. Απόστολος Κωνσταντινίδης “Η ποιότητα των αντισεισμικών κατασκευών” Αθήνα 1999
4. ΤΕΕ Τεύχος 2072 – 25 Οκτωβρίου 1999
5. Πενέλης – Κάππος “Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα” Θεσσαλονίκη 1990

