

ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΒΑΓΕΝΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Π.Π. , civ7488@upnet.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε, στα πλαίσια του μαθήματος Ενισχύσεις και Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος. Στόχος της είναι η παρουσίαση των διαφορών που προκύπτουν στην ενίσχυση κατακόρυφων στοιχείων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.2017[1] ανάλογα τη διατομή και το ύψος των υφιστάμενων στοιχείων, αλλά και το πάχος και την κατηγορία σκυροδέματος του προστιθέμενου υλικού. Η σύγκριση γίνεται σε όρους απαιτούμενων ποσοτήτων υλικών προκειμένου να επιτευχθεί σταθερή αύξηση της αντοχής σε κάμψη. Στην συνέχεια υπολογίζεται το απαιτούμενο κόστος διεκπεραίωσης της ενίσχυσης χρησιμοποιώντας περιγραφικά τιμολόγια που παρέχονται από το ΥΠΕΧΩΔΕ[4]. Για τον έλεγχο της επάρκειας της ενίσχυσης με χρήση μανδύων για κάθε μια από τις τέσσερις παραμέτρους απαιτείται προφανώς έλεγχος σε κάμψη και σε διάτμηση, αλλά και έλεγχος της διεπιφάνειας μανδύα-κατακόρυφου στοιχείου. Για την διερεύνηση των παραπάνω συντάχθηκε κώδικας σε Matlab.

1. Εισαγωγή

Η ανεπάρκεια των υποστυλωμάτων να παραλάβουν τα πιθανά εντατικά μεγέθη που θα αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια ενός σεισμού είναι ένα συχνό φαινόμενο που συναντάται στις κατασκευές που έχουν σχεδιαστεί με προηγούμενους κανονισμούς. Η σοβαρότητα αυτού του προβλήματος είναι πασιφανής, αφού τα υποστυλώματα είναι το δομικό στοιχείο που προβλέπεται να αστοχεί τελευταίο βάσει του ικανοτικού σχεδιασμού. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ για την επίλυση αυτού του προβλήματος προτείνει την ενίσχυση των υποστυλωμάτων με τη χρήση μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος. Είναι η μοναδική μέθοδος που επιτρέπεται για την αύξηση της αντοχής των υποστυλωμάτων. Στο πλαίσιο λοιπόν της παρούσας εργασίας εξετάζεται η επιρροή των διάφορων παραμέτρων στην ικανοποίηση των ελέγχων της ενίσχυσης. Οι έλεγχοι περιλαμβάνουν τόσο τον έλεγχο σε κάμψη και διάτμηση, όσο και τον έλεγχο της διεπιφάνειας της υφιστάμενης κατασκευής με τον προστιθέμενο μανδύα. Αρχικά εξετάζεται η επιρροή της κατηγορίας σκυροδέματος και του πάχους του μανδύα. Έτσι αποκτά κανείς μια αίσθηση των ποσοτήτων που είναι βέλτιστο να αυξήσει, λαμβάνοντας υπόψιν του το κόστος τους, προκειμένου να πετύχει τον στόχο της αύξησης της αντοχής. Στην συνέχεια εξετάζεται το πως επηρεάζει την ενίσχυση το υφιστάμενο ύψος και η διατομή των υποστυλωμάτων. Με αυτό τον τρόπο εξάγονται συμπεράσματα για τα υποστυλώματα στα οποία είναι βέλτιστο να επέμβουμε. Η σύγκριση των παραμέτρων γίνεται σε όρους ποσοτήτων υλικών και συνεπώς σε κόστος που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθεί τριπλασιασμός την αντοχής των υποστυλωμάτων σε κάμψη.

2.Εφαρμογή

Δίνεται: Υποστύλωμα ΚΠΜ πρώτου ορόφου, τριώροφου κτιρίου (που θεωρείται κανονικό καθ' ύψος) με πολύστυλο πλαισιακό φορέα και ιδιοπερίοδο $T_1 = 0,5 \text{ sec}$. Το έδαφος είναι κατηγορίας Β και ο σχεδιασμός γίνεται για υψηλή κατηγορία πλαστιμότητας σύμφωνα με τον ΕΚ8.

Διαστάσεις υποστυλώματος: $b=450\text{mm}$, $h=450\text{mm}$

Καθαρό ύψος ορόφου $h_{\text{ορόφου}} = 3\text{m}$

Διαμήκης οπλισμός: 8Φ16 με διάταξη όπως φαίνεται στο σχήμα 1

Συνδετήρες: Φ8/200

Η επικάλυψη των συνδετήρων προσδιορίστηκε $c=25\text{mm}$

Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού:

Αρχική ροπή: $M_{\text{αρχ}}=100 \text{ kNm}$

Ροπή σεισμού: $M_E=440 \text{ kNm}$

Αρχική τέμνουσα: $V_{\text{αρχ}}=257\text{kN}$

Τέμνουσα λόγω σεισμού: $V_E=115 \text{ kN}$

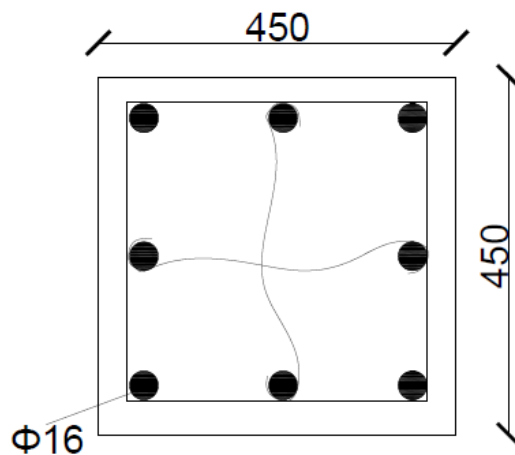
Αρχικό αξονικό φορτίο: $N_{\text{αρχ}}=-750 \text{ kN}$

Αξονικό φορτίο λόγω σεισμού: $N_E=-270 \text{ kN}$

Αξονικό φορτίο λόγω αφαίρεσης της υποστυλώσεως: $N_V=-225 \text{ kN}$ ($=30\% N_{\text{αρχ}}$)

Ζητείται:

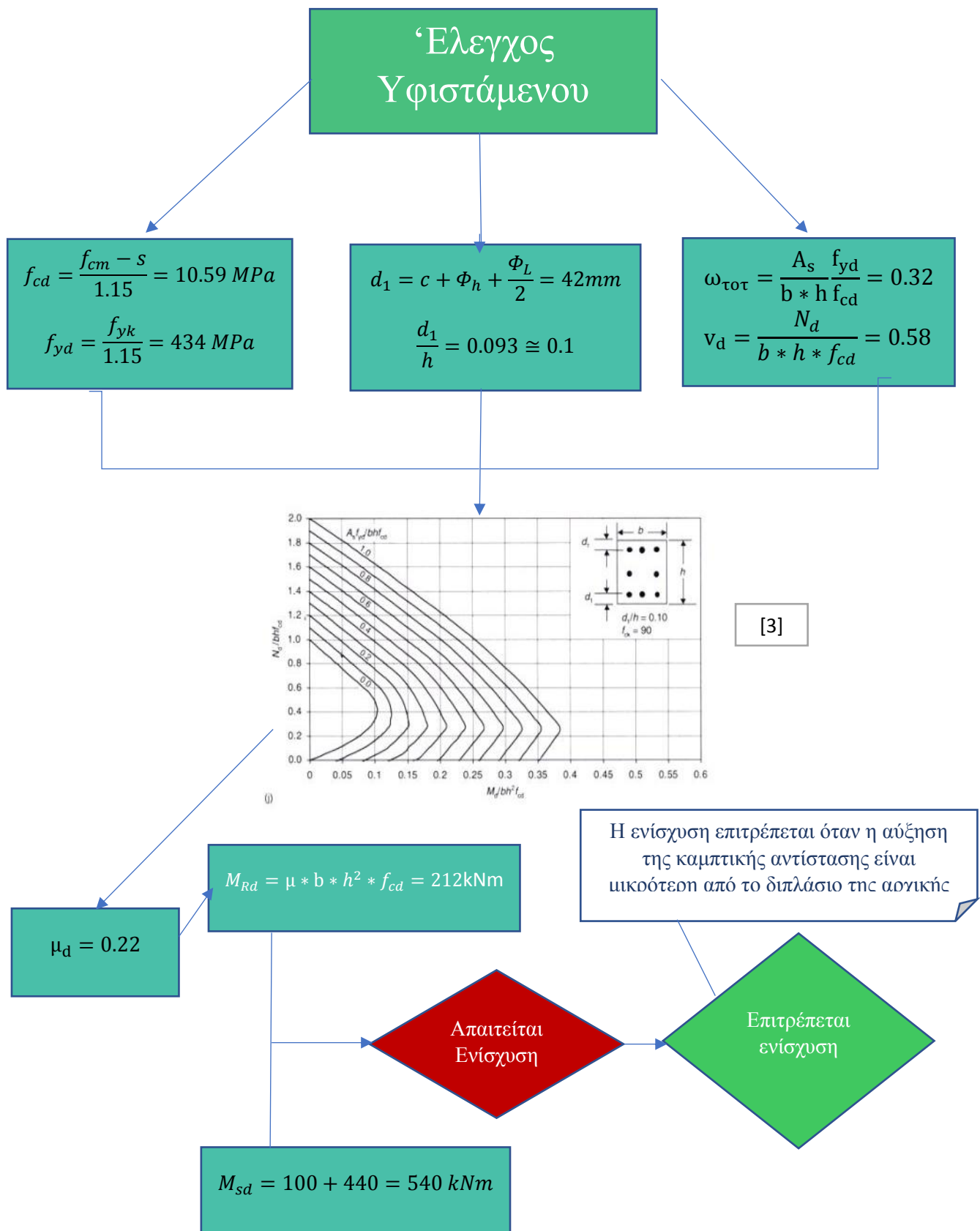
Η ενίσχυση του υποστυλώματος με ολόσωμα μανδύα για την περίπτωση καμπτικής ανεπάρκειας του.



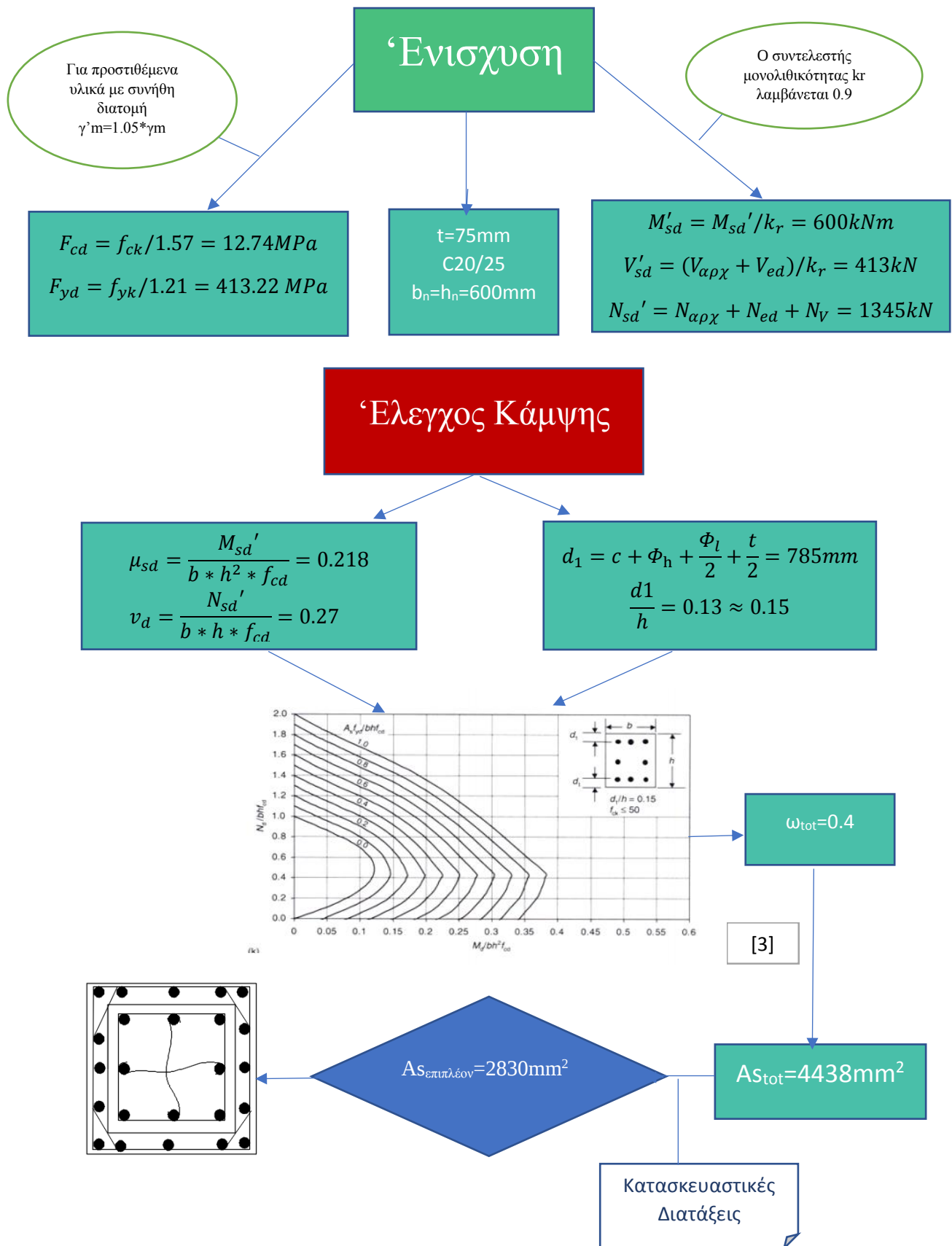
Σχήμα 1: Διατομή Τετραγωνικού Υποστυλώματος

Επίλυση:

Με βάση τη διαδικασία που παρουσιάζεται συνοπτικά διάγραμμα ροής και την αναλυτική λύση που έχει προγραμματισθεί στο Malab και βρίσκεται στο παράρτημα, προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα. Τα παραπάνω έχουν βασιστεί στην αντίστοιχη λυμένη άσκηση του βιβλίου του μαθήματος [2]. Καταρχάς απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός 2830mm^2 . Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν Φ8/180, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται Φ8/96 στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη 191kN . Έτσι τοποθετούνται 37 βλήτρα Φ12 στην κορυφή και άλλα τόσα στη βάση. Για να ικανοποιηθεί η ανάληψη των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα απαιτούνται συνδετήρες Φ8/130 και τους εφαρμόζουμε στην μη κρίσιμη περιοχή, ενώ στην κρίσιμη αφήνουμε Φ8/96 όπως προέκυψε από τη διάτμηση.



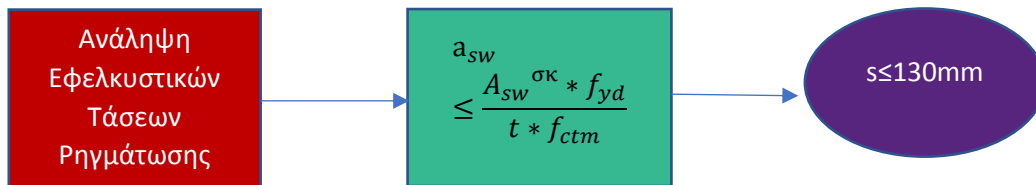
Σχήμα 2: Διάγραμμα Ροής Ελέγχου και Ενίσχυσης Υποστυλώματος με Μανδύα



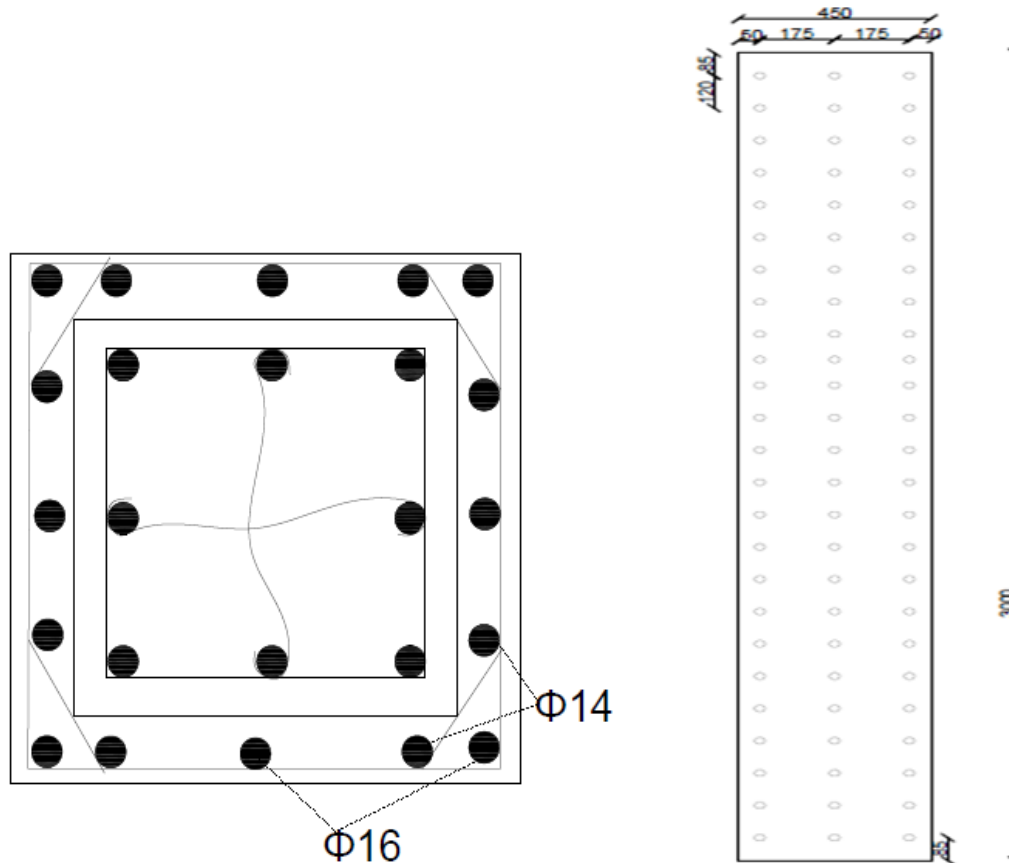
Σχήμα 2 Συνέχεια: Διάγραμμα Ροής Ελέγχου και Ενίσχυσης Υποστυλώματος με Μανδύα



Σχήμα 2 Συνέχεια: Διάγραμμα Ροής Ελέγχου και Ενίσχυσης Υποστυλώματος με Μανδύα



Σχήμα 2 συνέχεια: Διάγραμμα Ροής Ελέγχου και Ενίσχυσης Υποστυλώματος με Μανδύα



Σχήμα 3: Κάτοψη και Όψη Υποστυλώματος Μετά την Ενίσχυση

3. Ανάλυση κόστους εργασιών

Από τα περιγραφικά τιμολόγια του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων λαμβάνουμε τα ακόλουθα δεδομένα :

Μανδύες εκτοξευόμενου σκυροδέματος οποιουδήποτε πάχους

Κωδικός Αναθεώρησης ΟΙΚ-3214

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε οποιοδήποτε ύψος από το δάπεδο, σε κάθε είδους επιφάνεια.

Στην τιμή συμπεριλαμβάνονται:

- Α) Δαπάνη προετοιμασίας της επιφάνειας που θα δεχθεί το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

- B) Η δαπάνη εφαρμογής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε οποιοδήποτε ύψος από το δάπεδο εργασίας σε κατακόρυφη ή οριζόντια επιφάνεια
 Γ) Η δαπάνη προμήθειας αδρανών, τσιμέντου, νερού, προσθέτων και χαλύβδινων ινών ή ινών πολυπροπυλενίου.
 Δ) Η δαπάνη ανάμιξης και εκτόξευσης με χρήση κατάλληλου εξοπλισμού
 Ε) Η δαπάνη ικριωμάτων, μέσων προστασίας του προσωπικού και των πέριξ της επιφάνειας εφαρμογής της αμμοβολής επιφανειών.
 Ζ) Η δαπάνη αποκομιδής των υλικών αναπήδησης (rebounders)
 Η) Η δαπάνη των μελετών σύνθεσης κατασκευής δοκιμαστικού τμήματος, δειγματοληψιών και εργαστηριακών δοκιμών

Κατηγορία Σκυροδέματος	C16/20	C20/25	C25/30
Τιμή ανά m ³	1090	1120	1150

Πίνακα 1: Τιμές Σκυροδέματος

Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή του μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι τελείως διαφορετική, σχεδόν δεκαπλάσια, από την τιμή της διάστρωσης σκυροδέματος με χρήση αντλίας. Η διαφορά αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στην ποσότητα σκυροδέματος που παράγεται.

Βλήτρα

Αγκύρωση νέων μεμονωμένων ράβδων οπλισμού σε υφιστάμενα στοιχεία από σκυρόδεμα. Διάμετρος Φ10 έως Φ14 συνολικού μήκους ως 25cm διαμορφωμένος με τις οδηγίες της επίβλεψης. Στην τιμή συμπεριλαμβάνεται το άνοιγμα των οπών, το καθάρισμα αυτών και η τοποθέτηση των τμημάτων του χάλυβα με τη ρητίνη δυο συστατικών σύμφωνα με τις οδηγίες της επίβλεψης. Προδιαγραφές σύμφωνα με ΕΛΟΤ ΤΟ 1501-14-01-11-00 2009.

Τιμή ανά τεμάχιο σιδηρού οπλισμού τοποθετούμενου σύμφωνα με τα παραπάνω 4,2 ΕΥΡΩ (τέσσερα ευρώ και είκοσι λεπτά).

Χαλύβδινι οπλισμοί κατηγορίας B500C

Πέρα από τη προμήθεια, μεταφορά επί τόπου, διαμόρφωσης και τοποθέτησης του οπλισμού, περιλαμβάνονται ανηγμένα τα ακόλουθα:

- A) Η σύνδεση των ράβδων κατά τρόπο στερεό σε σύρμα σε όλες ανεξάρτητα τις διασταυρώσεις και όχι εναλλάξ
 B) Η προμήθεια του σύρματος πρόσδεσης
 Γ) Οι πλάγιες μεταφορές και η διακίνηση του οπλισμού σε οποιοδήποτε ύψος από το δάπεδο εργασίας.
 Δ) Η τοποθέτηση υποστηριγμάτων (καβίλιες, αναβολείς) και ειδικών τεμαχίων ανάρτησης που τυχόν θα απαιτηθούν (εργασία και υλικά)
 Ε) Η απομείωση και φθορά του οπλισμού κατά την κοπή και κατεργασία

Τιμή ανά χιλιόγραμμα (kg) σιδηρού οπλισμού υδραυλικών έργων τοποθετημένου σύμφωνα με την μελέτη.

Κωδικός Αναθεώρησης ΟΙΚ-3873

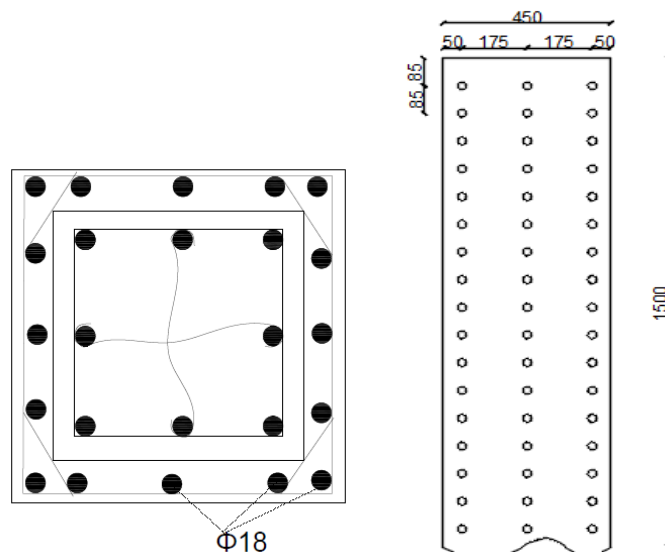
(1,07) ΕΥΡΩ (ένα ευρώ και επτά λεπτά)

3. Επιρροή κατηγοριών σκυροδέματος του μανδύα

Στην συνέχεια επιλύεται άλλες δυο φορές η ίδια εφαρμογή που επιλύθηκε παραπάνω, αλλά με μοναδική διαφορά ότι για κατηγορία σκυροδέματος του προστιθέμενου υλικού χρησιμοποιείται μία φορά $f_{ck}=16$ MPa και την άλλη $f_{ck}=25$ MPa σε σχέση με το $f_{ck}=20$ MPa που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω. Δηλαδή εξετάζεται η απαίτηση σε οπλισμό για τριπλάσια αντοχή σε κάμψη μετά την ενίσχυση σε σχέση με την αρχική και για σταθερό πάχος μανδύα ίσο με 7,5cm ανάλογα την κατηγορία σκυροδέματος(από 16 ως και 25 MPa) του μανδύα.

Αποτελέσματα για $f_{ck}=16$ MPa

Προκύπτει ότι απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός 4000mm^2 . Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν $\Phi 8/215$, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται $\Phi 8/97$ στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη 250kN. Έτσι τοποθετούνται 55 βλήτρα $\Phi 12$ στην κορυφή και άλλα τόσα στη βάση. Από τον έλεγχο για τη ικανοποίηση της ανάληψης των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα που εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του ισχυρότερου σκυροδέματος προκύπτει να απαιτούνται συνδετήρες $\Phi 8/150$ οπότε αφήνουμε αυτούς που είχαν προκύψει από τη διάτμηση.

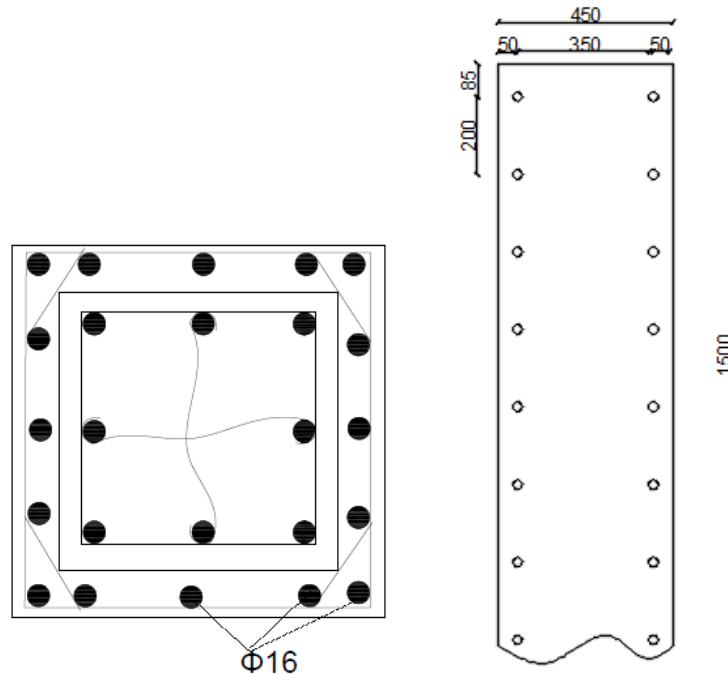


Σχήμα 4: Κάτοψη και όψη του πάνω μισού υποστυλώματος μετά την ενίσχυση

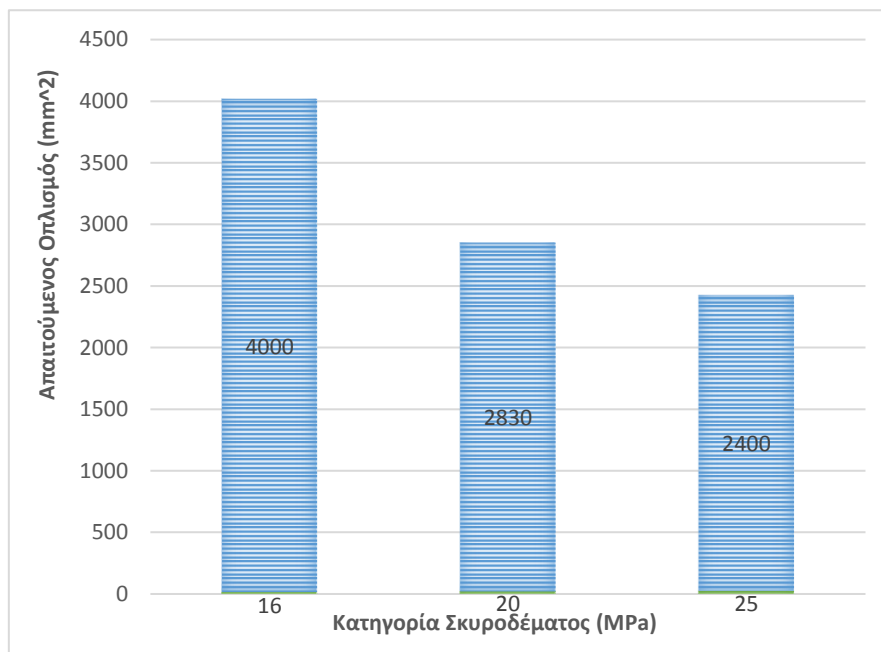
Αποτελέσματα για $f_{ck}=25$ MPa

Προκύπτει ότι απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός 2400mm^2 . Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν $\Phi 8/180$, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται $\Phi 8/96$ στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη 30kN. Έτσι τοποθετούνται 16 βλήτρα $\Phi 12$ στην κορυφή και άλλα τόσα στη βάση, που είναι τα ελάχιστα. Από τον έλεγχο για τη

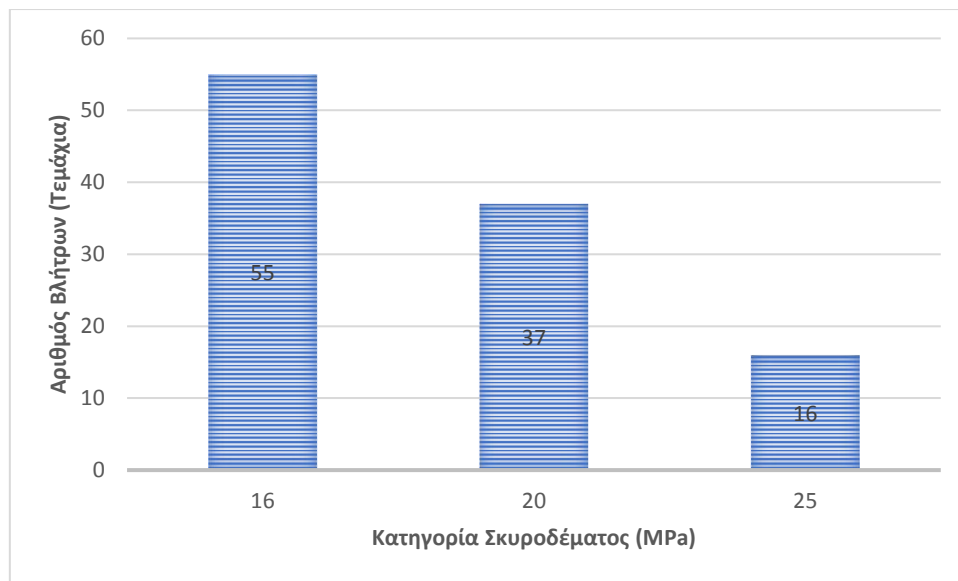
ικανοποίηση της ανάληψης των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα που εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του ισχυρότερου σκυροδέματος προκύπτει να απαιτούνται συνδετήρες $\Phi 8/113$ και τους τοποθετούμε στην μη κρίσιμη περιοχή και αφήνουμε αυτούς που είχαν προκύψει από τη διάτμηση στην κρίσιμη περιοχή.



Σχήμα 5: Κάτοψη και όψη του πάνω μισού υποστυλιδώματος μετά την ενίσχυση



Σχήμα 6: Διάγραμμα Απαίτησης Οπλισμού-Κατηγορίας Σκυροδέματος



Σχήμα 7: Διάγραμμα Αριθμού Βλήτρων -Κατηγορίας Σκυροδέματος

Θα εξετάσουμε τώρα λοιπόν το κόστος κάθε περίπτωσης.

Ο όγκος του απαιτούμενου σκυροδέματος υπολογίζεται ως εξής:
 $[(600*600)-(450*450)]*10^{-6}*3=0.22\text{m}^3$

Για τον υπολογισμό των κιλών του οπλισμού θεωρούμε πυκνότητα 7850kg/m^3 . Ένδεικτικά:

$$(4000*10^{-6}*3*7850)=94.2 \text{ kg}$$

Υλικό	fck=16		fck=20		fck=25	
	Ποσότητα	Κόστος	Ποσότητα	Κόστος	Ποσότητα	Κόστος
Εκτοξευόμενος Μανδύας	0.47m ³	512	0.47m ³	526.4	0.47m ³	540.5
Βλήτρα	55 Τεμάχια	231	37 Τεμάχια	155.4	16 Τεμάχια	67.2
Οπλισμός	94.2(kg)	100.794	67.92(kg)	74.71	57.6(Kg)	63.36
Συνολο Κόστους	844 €		757		671	

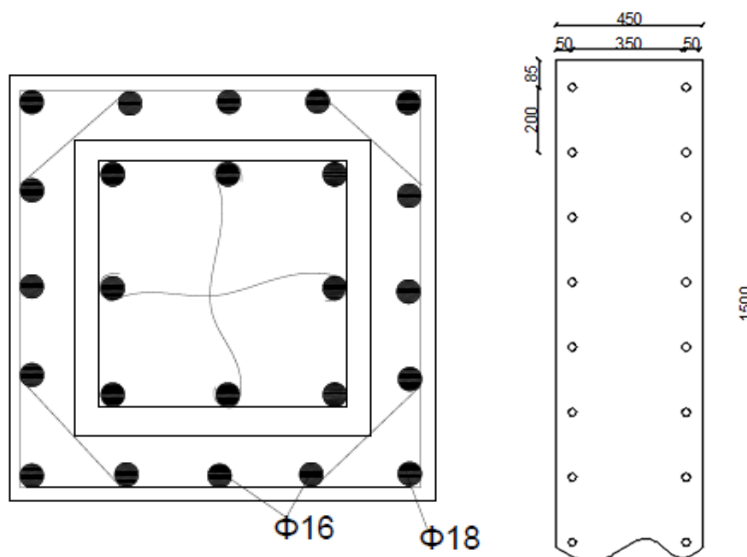
Πίνακας 2: Κόστος Ενίσχυσης Ανάλογα την Κατηγορία Σκυροδέματος

4, Επιρροή παχών του μανδύα

Στην συνέχεια επιλύεται άλλες δυο φορές η αρχική εφαρμογή που επιλύθηκε παραπάνω, αλλά με μοναδική διαφορά ότι για πάχος σκυροδέματος του προστιθέμενου υλικού χρησιμοποιείται μία φορά $t=10\text{cm}$ και την άλλη $t=12.5\text{cm}$ σε σχέση με το $t=7.5\text{cm}$ που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω. Δηλαδή εξετάζεται η απαίτηση σε οπλισμό για τριπλάσια αντοχή σε κάμψη μετά την ενίσχυση σε σχέση με την αρχική και για σταθερή κατηγορία σκυροδέματος ίσο με 20MPa ανάλογα την κατηγορία σκυροδέματος(20 MPa) του μανδύα.

Αποτελέσματα για t=10cm

Προκύπτει ότι απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός 2615mm^2 , που είναι ο ελάχιστος, αφού η διατομή πλέον έχει μεγαλώσει πολύ και τα ελάχιστα ισούνται με το 1% του εμβαδού της διατομής. Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν $\Phi 8/210$, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται $\Phi 8/96$ στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται τα ελάχιστα βλήτρα. Έτσι τοποθετούνται 16 βλήτρα $\Phi 12$ στην κορυφή και άλλα τόσα στη βάση. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω του μεγαλύτερου διαθέσιμου μήκους αγκύρωσης εντός του μανδύα η αντοχή του κάθε βλήτρου είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη εφαρμογή. Από τον έλεγχο για τη ικανοποίηση της ανάληψης των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα που εξαρτάται από το πάχος του μανδύα προκύπτει να απαιτούνται συνδετήρες $\Phi 8/95$ και τους τοποθετούμε και στην κρίσιμη και την μη κρίσιμη περιοχή.

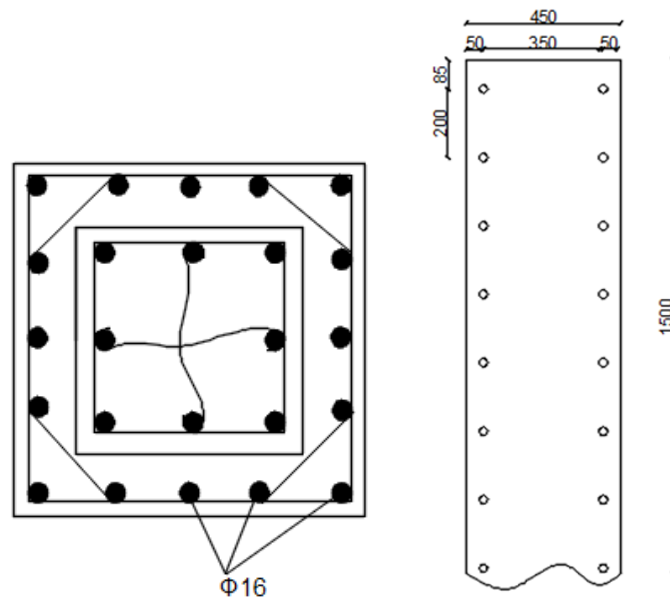


Σχήμα 8: Κάτοψη και όψη του πάνω μισού υποστυλώματος μετά την ενίσχυση

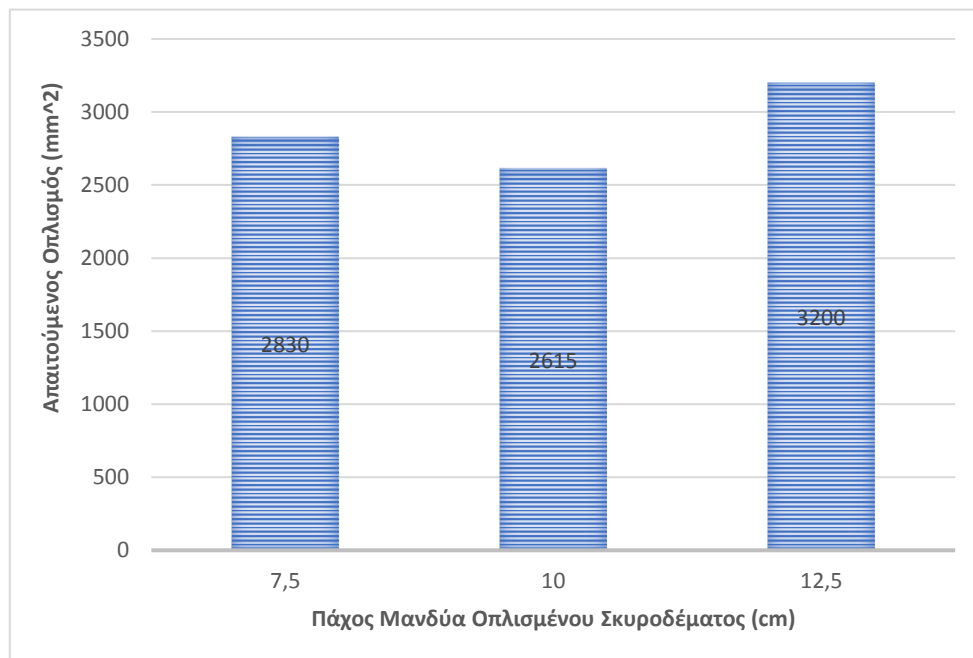
Αποτελέσματα για t=12.5cm

Προκύπτει ότι απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός 3200mm^2 , που είναι ο ελάχιστος, αφού η διατομή πλέον έχει μεγαλώσει πολύ και τα ελάχιστα ισούνται με το 1% του εμβαδού της διατομής. Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν $\Phi 8/240$, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται $\Phi 8/96$ στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται τα ελάχιστα βλήτρα. Έτσι τοποθετούνται 16 βλήτρα $\Phi 12$. Από τον έλεγχο για τη ικανοποίηση της ανάληψης των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα που εξαρτάται από το πάχος του μανδύα προκύπτει να απαιτούνται συνδετήρες $\Phi 8/75$ και τους τοποθετούμε και στην κρίσιμη και την μη κρίσιμη περιοχή.

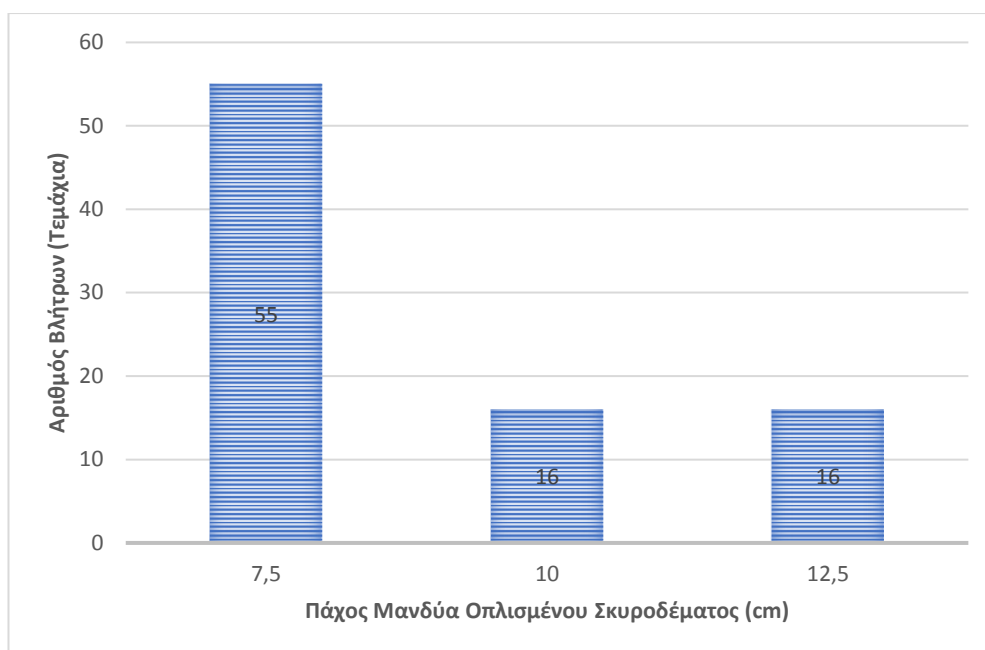
Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι ενώ όσο αυξάνεται το πάχος του μανδύα μειώνεται η απαίτηση για οπλισμό και σε βλήτρα. Πρέπει να είμαστε προσεκτικοί με το πόσο αυξάνουμε το πάχος του μανδύα, γιατί όπως φαίνεται από το συγκεκριμένο παράδειγμα μπορεί να αυξάνεται η ποσότητα των υλικών χωρίς να έχουμε όφελος στην αντοχή. Δεν επιχειρήθηκε μικρότερο πάχος μανδύα λόγω του πολύ μικρού μήκους αγκύρωσης που θα προέκυπτε.



Σχήμα 9: Κάτοψη και όψη του πάνω μισού υποστυλώματος μετά την ενίσχυση



Σχήμα 10: Διάγραμμα Απαιτούμενου Οπλισμού-Πάχους Μανδύα



Σχήμα 11: Διάγραμμα Αριθμού Βλήτρων -Πάχους Μανδύα

Υλικό	t=7.5		t=10		t=12.5	
	Ποσότητα	Κόστος	Ποσότητα	Κόστος	Ποσότητα	Κόστος
Εκτοξευόμενος Μανδύας	0.47m ³	616	0.66m ³	739.2	0.86m ³	963
Βλήτρα	37 Τεμάχια	155.4	16 Τεμάχια	67.2	16 Τεμάχια	67.2
Οπλισμός	67.92(kg)	74.71	61.23(kg)	65.5	75.36(Kg)	80.6
Συνολο Κόστους	846		872		1111	

Πίνακας 3: Κόστος Ενίσχυσης Ανάλογα το Πάχος Μανδύα

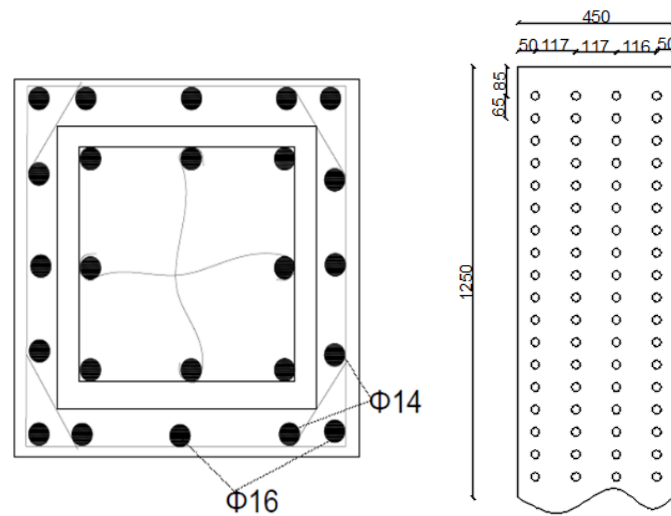
4, Επιρροή των υψών του υποστυλώματος

Στην συνέχεια επιλύεται άλλες δυο φορές η αρχική εφαρμογή, αλλά με μοναδική διαφορά ότι το υφιστάμενο υποστύλωμα θεωρείται να ήταν 2.5m και 3.5m. Δηλαδή εξετάζεται η απαίτηση σε οπλισμό για τριπλάσια αντοχή σε κάμψη μετά την ενίσχυση σε σχέση με την αρχική και για σταθερό πάχος μανδύα ίσο με 7,5cm και σταθερή κατηγορία σκυροδέματος(20 MPa) του μανδύα

Αποτελέσματα για h=2.5m

Προκύπτει ότι απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός 2830mm². Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν Φ8/220, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται Φ8/96 στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη 356kN. Έτσι τοποθετούνται 70 βλήτρα Φ12 στην κορυφή και άλλα τόσα στη βάση. Για να ικανοποιηθεί η ανάληψη των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα απαιτούνται συνδετήρες

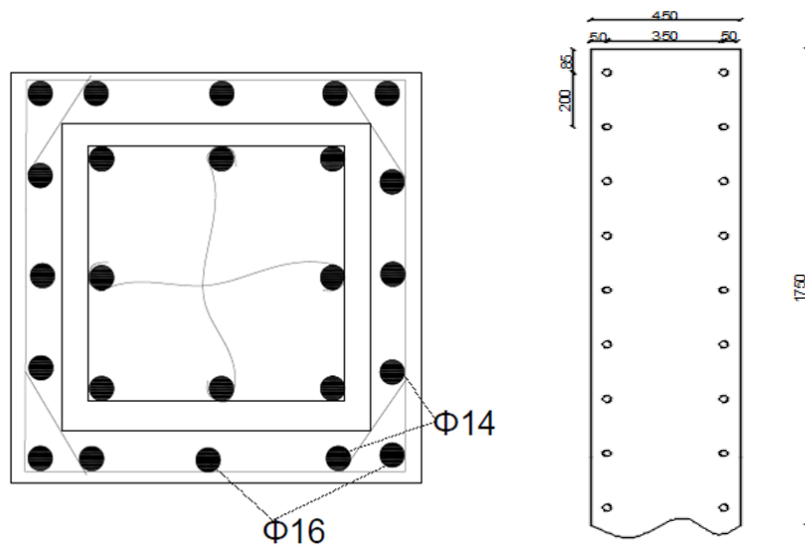
Φ8/131 και τους εφαρμόζουμε στην μη κρίσιμη περιοχή, ενώ στην κρίσιμη αφήνουμε Φ8/96 όπως προέκυψε από τη διάτμηση.



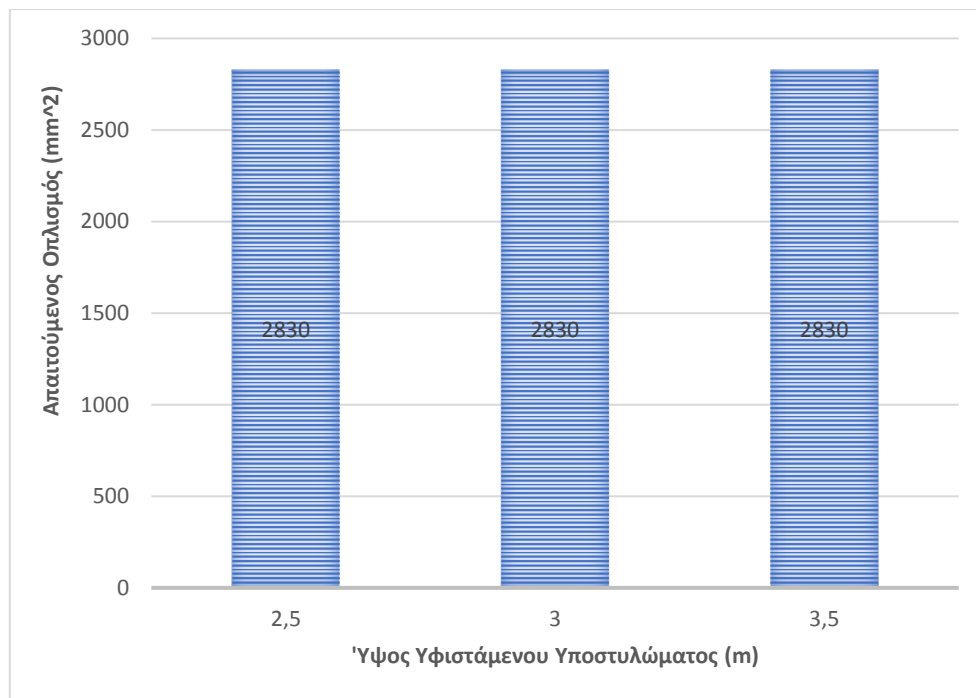
Σχήμα 12: Κάτοψη και όψη του πάνω μισού υποστυλώματος μετά την ενίσχυση

Αποτελέσματα για $h=3.5m$

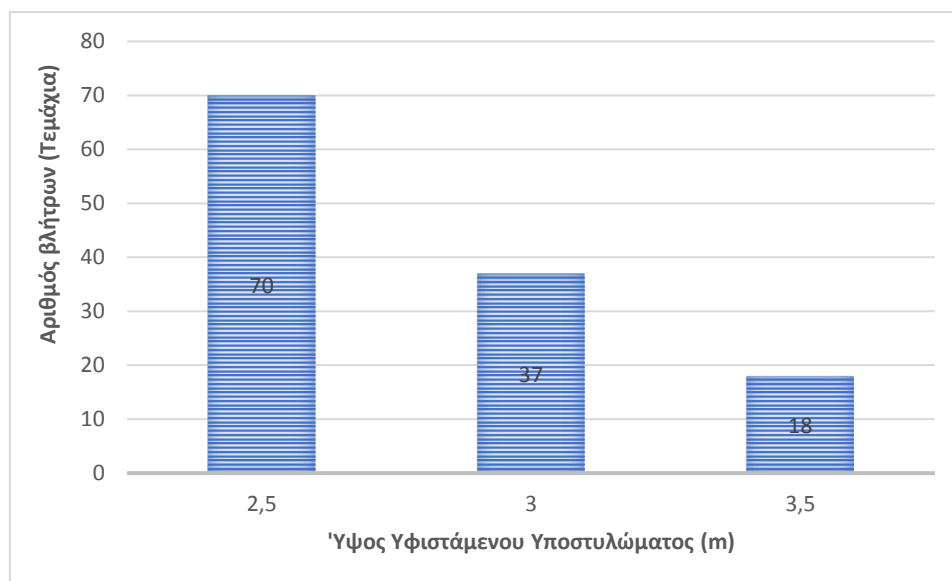
Προκύπτει ότι απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός $2830mm^2$. Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν Φ8/160, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται Φ8/96 στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη 25kN. Έτσι τοποθετούνται 18 βλήτρα Φ12 στην κορυφή και άλλα τόσα στη βάση, που είναι τα ελάχιστα. Για να ικανοποιηθεί η ανάληψη των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα απαιτούνται συνδετήρες Φ8/131 και τους εφαρμόζουμε στην μη κρίσιμη περιοχή, ενώ στην κρίσιμη αφήνουμε Φ8/96 όπως προέκυψε από τη διάτμηση.



Σχήμα 13: Κάτοψη και όψη του πάνω μισού υποστυλώματος μετά την ενίσχυση



Σχήμα 14: Διάγραμμα Απαιτούμενου Οπλισμού-Ύψους Υποστυλώματος



Σχήμα 15: Διάγραμμα Αριθμού Βλήτρων -Ύψους Υποστυλώματος

Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι ο απαιτούμενος οπλισμός είναι ανεξάρτητος του ύψους υποστυλώματος. Όσοτιςο όςο αυξάνεται το ύψος του υποστυλώματος μειώνεται η απαίτηση σε βλήτρα. Μάλιστα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί με το πόσο κοντό είναι το υποστυλώμα, γιατί στην περίπτωση που είναι πολύ κοντό θα απαιτεί πάρα πολλά βλήτρα και δεν θα ικανοποιούνται οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ τους και θα απαιτούνται αναρτήσεις.

Ανάλυση Κόστους

Υλικό	h=2.5		h=3		h=3.5	
	Ποσότητα	Κόστος	Ποσότητα	Κόστος	Ποσότητα	Κόστος
Εκτοξευόμενος Μανδύας	0.4m ³	448 €	0.47m ³	526.4	0.55m ³	616.0
Βλήτρα	70 Τεμάχια	294	37 Τεμάχια	155.4	16 Τεμάχια	67.2
Οπλισμός	55.6(kg)	59.49	67.92(kg)	74.71	77.75(Kg)	83.2
Συν Κόστος	801 €		757		766	

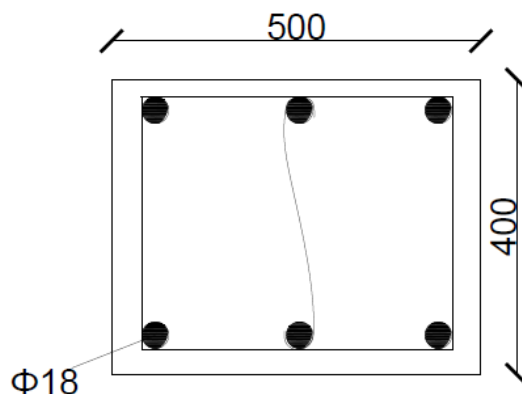
Πίνακας 4: Κόστος Ενίσχυσης Ανάλογα το Ύψος Υποστυλώματος

5. Επιρροή της υφιστάμενης διατομής του υποστυλώματος

Τέλος θα εξετάσουμε αν είναι πιο εύκολο να τριπλασιαστεί η αντοχή τετραγωνικών ή ορθογωνικών διατομών τα οποία είχαν εξ αρχής παρόμοιο μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού (περίπου $\rho = 0.008$).

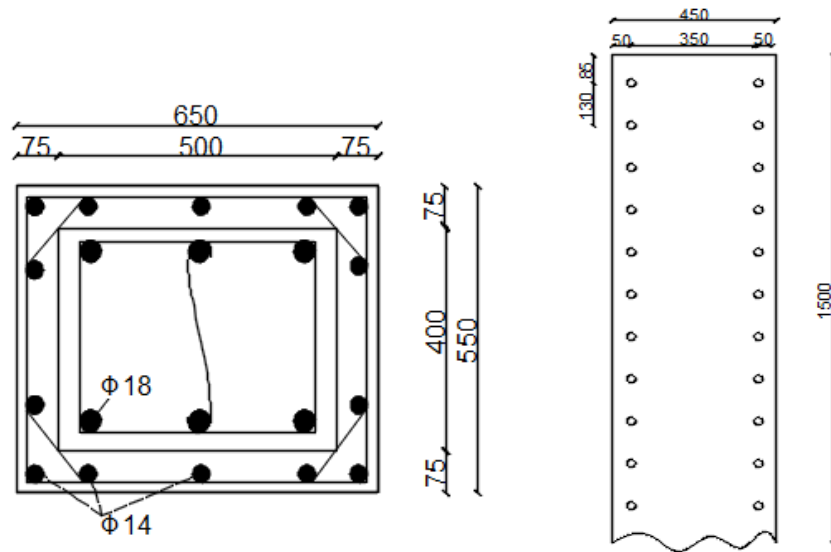
Ορθογωνική Διατομή

Αμα χρησιμοποιήσουμε ορθογωνική διατομή προκειμένου να έχουμε το επιδιωκόμενο ρ , χρησιμοποιούμε υποστύλωμα διαστάσεων $b=400$ και $h=500$ και 6 Φ18.

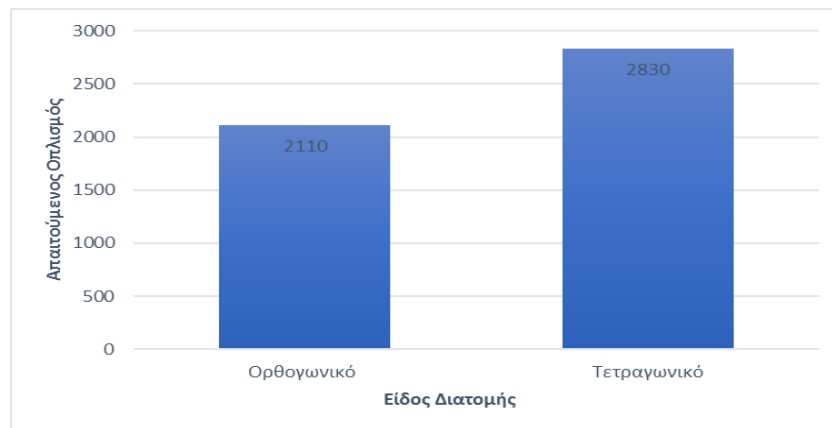


Σχήμα 16: Ορθογωνική Διατομή Υποστυλώματος

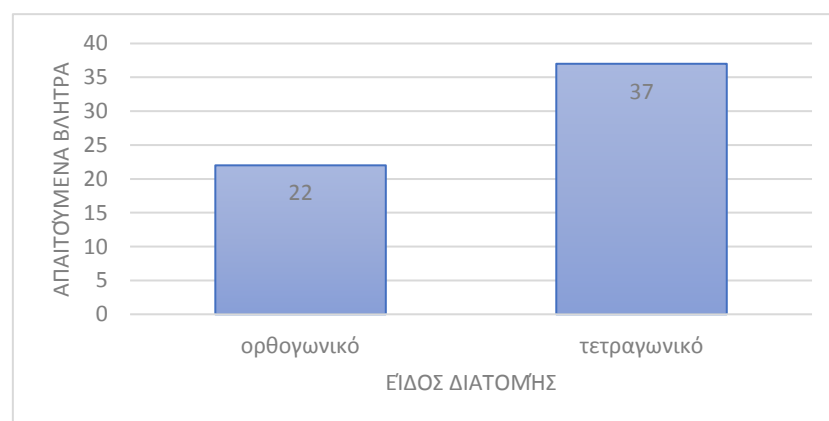
Για διεύθυνση του σεισμού παράλληλα στα 6 σίδερα προκύπτει ότι απαιτείται η ενίσχυση, αλλά και επιτρέπεται. Για την επίτευξη της αύξησης της αντοχής προκύπτει ότι απαιτείται επιπλέον οπλισμός 2050mm^2 , που είναι ο ελάχιστος. Οι απαιτούμενοι συνδετήρες στις μη κρίσιμες περιοχές προκύπτουν Φ8/215, αλλά για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των κατασκευαστικών διατάξεων τοποθετούνται Φ8/108 στην κρίσιμη περιοχή. Από τον έλεγχο της διεπιφάνειας προκύπτει να απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη 110kN . Έτσι τοποθετούνται 22 βλήτρα Φ12 στην κορυφή και άλλα τόσα στη βάση. Για να ικανοποιηθεί η ανάληψη των εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα απαιτούνται συνδετήρες Φ8/130 και τους εφαρμόζουμε στην μη κρίσιμη περιοχή, ενώ στην κρίσιμη αφήνουμε Φ8/108 όπως προέκυψε από τη διάτμηση. Για σεισμό στην άλλη διεύθυνση η μοναδική διαφορά που προκύπτει είναι ότι απαιτείται 2110mm^2 οπλισμού.



Σχήμα 17: Κάτοψη και όψη του πάνω μισού υποστυλώματος μετά την ενίσχυση



Σχήμα 18: Διάγραμμα Απαίτησης Οπλισμού-Είδους Διάτομης



Σχήμα 19: Διάγραμμα Αριθμού Βλήτρων-Είδους Διάτομης

Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι η ενίσχυση ορθογωνικών διατομών απαιτεί μικρότερες ποσότητες υλικών από την ενίσχυση τετραγωνικών διατομών.

Υλικό	Τετραγωνική		Ορθογωνική	
	Ποσότητα	Κόστος	Ποσότητα	Κόστος
Εκτοξευόμενος Μανδύας	0.47m ³	526	0.47m ³	526 €
Βλήτρα	37 Τεμάχια	155.4	22 Τεμάχια	92.4
Οπλισμός	67.92(kg)	74.71	48(kg)	51.36
Συν Κόστος	757		670	

Πίνακας 4: Κόστος Ενίσχυσης Ανάλογα το 'Είδος Διατομής

6. Συμπεράσματα

Το κόστος του εκτοξευόμενου μανδύα ανά κυβικό είναι αρκετά υψηλό, οπότε ακόμα και μικρές μεταβολές στην απαιτούμενη ποσότητα μπορούν να μεταβάλλουν πολύ το συνολικό κόστος. Ωστόσο οι διαφορές στην τιμή που προκύπτουν ανάλογα την κατηγορία σκυροδέματος είναι πολύ μικρές γιατί το συνολικό κόστος του μανδύα οφείλεται στον απαιτούμενο εξοπλισμό και όχι στα υλικά του σκυροδέματος. Φυσική απόρροια αυτών είναι τα συμπεράσματα που εξάγονται από τις εφαρμογές.

- 1) Όσο αυξάνεται η κατηγορία σκυροδέματος μειώνονται σε μεγάλο βαθμό οι απαιτούμενες ποσότητες οπλισμού και βλήτρων. Λόγω των μικρών διαφορών των τιμών ανάλογα την κατηγορία σκυροδέματος, προκύπτει η οικονομικότερη επιλογή να είναι η χρήση της υψηλότερης κατηγορίας σκυροδέματος ($f_{ck}=25\text{MPa}$)
- 2) Μέχρι ένα όριο, όσο αυξάνεται το πάχος του μανδύα μειώνεται η απαίτηση για οπλισμό και βλήτρα. Ωστόσο, παρά την ουσιαστική μείωση των υλικών αυτών, προκύπτει το κόστος να αυξάνεται με την αύξηση του πάχους του μανδύα αφού το κόστος του εκτοξευόμενου μανδύα είναι αναλογικά μεγαλύτερο. Επομένως προέκυψε η βέλτιστη επιλογή να είναι το πάχος 7.5 cm. Παρ' όλα αυτά όπως τονίστηκε δεν ενδείκνυται να μικραίνει πολύ το μήκος του μανδύα, γιατί έτσι μειώνεται και ο μήκος αγκύρωσης μέσα σε αυτόν.
- 3) Ο απαιτούμενος οπλισμός προκύπτει να είναι ανεξάρτητος του ύψους. Η βέλτιστη οικονομικά λύση είναι το ύψος των 3 μέτρων στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Αυτό συνέβη, αφού όσο μειώνεται το ύψος του υποστυλώματος αυξάνεται η απαίτηση σε βλήτρα, γεγονός που πέρα από το υψηλό κόστος των πολλών βλήτρων είναι αρκετά δυσμενές, αφού λόγω των πολλών βλήτρων σε μικρή επιφάνεια μπορεί να καταλήξει στο να απαιτηθούν και αναρτήρες για την ενίσχυση. Από την άλλη άμα αυξηθεί πολύ το ύψος του υποστυλώματος αυξάνεται πολύ η ποσότητα του μανδύα
- 4) Για διατομές με παρόμοιο μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού προκύπτει η ορθογωνική διατομή να αυξάνει με την αντοχή της με μικρότερο κόστος από ότι η ορθογωνική, αφού προκύπτει να απαιτείται παρόμοια ποσότητα εκτοξευόμενου μανδύα, αλλά στην ορθογωνική μικρότερη ποσότητα οπλισμού και βλήτρων. Σημαντικό δεδομένο για την ορθογωνική είναι ότι πρέπει να ελέγχεται για σεισμό και στις 2 διευθύνσεις.

7. Βιβλιογραφία :

- [1] ΚΑΝ.ΕΠΕ (Κανονισμός Επεμβάσεων), ΦΕΚ 2984/Β’/30-08-2017, 2^η Αναθεώρηση 2017
- [2] Στέφανος Η. Δρίτσος , “Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος”, Πάτρα 2018
- [3] Μιχαήλ Ν. Φαρδής : “Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος 1’”, Πάτρα 2016
- [4]https://www.ggde.gr/index.php?option=com_k2&view=item&id=964:%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%84%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CE%BB%CF%8C%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CF%89%CE%BD-%CF%83%CE%B5-%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%AC%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B7-%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%AE-2017&Itemid=326

Περιγραφικά τιμολόγια οικοδομικών εργασιών, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων

Παράρτημα

```

%% Δεδομένα
%γενικά δεδομένα υφιστάμενου
T1=0.5;
horofou=3; %m
fcm=18.18; %MPa
s=6; %Mpa
fck=fcm-s; %MPa
g=1.15;
fcd=fck/g; %MPa
fyk=500; %MPa
fyd=fyk/g; %Mpa
% εντατικά μεγέθη σχεδιασμού
Marx=100; %kNm
ME=440; %kNm
Varx=257; %kN
VE=115; %kN
Narx=-750; %kN
NE=-270; %kN
NV=-225; %kN
Msd=Marx+ME; %kNm
Vsd=Varx+VE; %kN
%% Έλεγχος Υφιστάμενων
% ορθογωνικό υποστύλωμα
b=450; %mm
h=450; %mm
sidera=8;
dsidera=16; %mm
As=sidera*pi*dsidera^2/4; %mm^2
dsundethra=8; %mm
c=25;
d1=c+dsidera/2+dsundethra; %mm
d=h-d1; %mm
d1prosh=d1/h
wd=(As*fyd)/(b*h*fcd)
Nd=(Narx+NE+NV)*10^3 ;
vd=Nd/(b*h*fcd)
dlt1=d1/d;
ec2=0.002;
ecu2=0.0035;
Es=200000;
eyd=fyd/Es;
m=input('Δώσε το μ από το διάγραμμα: ')
Mrd=m*b*(h/1000)^2*fcd;%KNm
if Mrd< Msd
    disp('Απαιτείται ενίσχυση')
else
    disp('Δεν απαιτείται ενίσχυση')
end
if Msd-Mrd<2*Mrd
    disp('Επιτρέπεται ενίσχυση')
else
    disp('Δεν επιτρέπεται ενίσχυση')
end
%% Δεδομένα ενίσχυσης
fcknew=20;
fyknew=500;
gc=1.57;

```

```

gs=1.21;
fcdnew=fcknew/gc;
fydnew=fyknew/gc;
kr=0.9;
%% Ενίσχυση
paxosmandua=75 ;
bnew=b+2*paxosmandua;
hnew=h+2*paxosmandua;
%%Νέα μεγέθη σχεδιασμού
Msdton=Msd/kr;
Vsdton=Vsd/kr;
Nsdton=Narx+NE+NV;
%% Έλεγχος σε κάμψη
msd=Msdton/(bnew*(hnew/1000)^2*fcdnew)
vd=Nd/(bnew*hnew*fcdnew)
d1=c+dsidera/2+dsundethra+paxosmandua/2;
dnew=hnew-d1
d1prosh=d1/hnew
wtot=input('Εισάγετε το wd: ')
Astot=wtot*bnew*hnew*fcdnew/fydnew
%% Κατασκευαστικές διατάξεις
Asmin=0.01*bnew*hnew;
Asmax=0.04*bnew*hnew;
if Asmin> Astot
    Astopo8etoumenos=Asmin
    disp('Τοποθετείται ο ελάχιστος')
elseif Asmin<Astot & Astot<Asmax
    Astopo8etoumenos=Astot
elseif Asmax<Astot
    Astopo8etoumenos=Asmax
    disp('Τοποθετείται ο μέγιστος')
end
Asepipleon=Astopo8etoumenos-As
%% έλεγχος διάτμησης
fywd=500/1.15;
an0=[1+abs(vd),2.5*(1-abs(vd)),1.25];
an=min(an0);
z=0.9*dnew;
fcdl=0.6*(1-min(fck,fcknew)/250)*min(fcd,fcdnew);
Vrdmax=an*fcdl*bnew*z*0.5;
if Vrdmax<Vsdton
    disp('den eparkei den diatmhsh')
end
Asws=(Vsdton+z/(horofou*1000)*Nd/1000)/(z*0.5);
n=3.41;
Asw=n*50;
s=Asw/Asws
%%κατασκευαστικές διατάξεις
x=[1.5*hnew/1000,1.5*bnew/1000,0.6,horofou/5];
lcr=max(x)
%%εντός κρίσιμων περιοχών
dbwmin=max(6,0.4*(sqrt(fywd/fyd))*dsidera)
if dsundethra<dbwmin
    disp('χρειάζονται μεγαλύτεροι συνδετήρες')
end
bo=bnew-2*(c+dsundethra+dsidera/2);
swmaxx=[6*dsidera,bo/3,125];
swmax=min(swmaxx)
if s>swmax
    scr=swmax;

```

```

disp('τοποθετούνται οι ελάχιστοι συνδετήρες στην κρίσιμη περιοχή')
end
%έλεγχος ωwd
disp('εφόσον πρόκειται για ενδιάμεσο όροφο και ΚΠΜ δεν απαιτείται έλεγχος ωwd')
%% 'Έλεγχος διεπιφάνειας
Fcm=abs(NE+NV)/2+ME/(0.9*dnew/1000);
% Έλεγχος αν η τριβή και τα βλήτρα μπορούν να παραλάβουν την δύναμη
fctm=0.3*(fcknew)^(2/3);
Hcl=horofou;
u0=Hcl/2;
u0max=Fcm/(4*fctm*paxosmandua);
u0=min(u0,u0max);
Tf=4*u0*1*fctm*paxosmandua;
if Tf<Fcm
    disp(['Απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη '...
        ,num2str(Fcm-Tf),' kN'])
else disp('Δεν απαιτούνται βλήτρα και τοποθετούνται τα ελάχιστα')
end
dbar=12
if 6*dbar>paxosmandua
    input('Εισάγετε μεγαλύτερη διάμετρο: ')
end
Fudmandua=min(paxosmandua/100*0.65*dbar^2*10^(-
3)*sqrt(fcdnew*fydnew),pi*dbar^2/4*fyd/sqrt(3));
Fudupost=min(0.65*dbar^2*10^(-3)*sqrt(fck*fydnew),pi*dbar^2/4*fyd/sqrt(3));
fud=min(Fudmandua,Fudupost);
nblhtrwn=(Fcm-Tf)/fud
%Τοποθέτηση βλήτρων
%Ελάχιστες επικαλύψεις
apostashapopanwakro=5*dbar
apostashapokatwakro=6*dbar
orizontia=3*dbar
%Μήκος έμπηξης
mhkosemphkshsupost=8*dbar
mhkosemphkshsmandua=6*dbar
smin=5*dbar
smax=min(6*paxosmandua,800)
cmax=min(7*dbar,100)
%Έλεγχος με τα ελάχιστα
rdmin=max(0.2*fctm/fyk,1.2/1000)
nelaxista=rdmin*horofou*1000/2*b/(pi*dsundethra^2/4)
rd=(nblhtrwn*pi*dbar^2/4)/(u0*1000*b)
%Ανάληψη εφελκυστικών τάσεων ρηγμάτωσης κατά μήκος των ακμών του μανδύα
asw=50*fychd/(paxosmandua*0.3*max(fck,fcknew)^(2/3))
if s>asw
    disp('απαιτείται η πυκνωση των συνδετήρων')
end
end

```